

REVISTA DO

CENAR

CONGRESSO MINEIRO DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

De 06 a 09 de Novembro de 2018

CENAR
SMART CITIES

VOL. 1 / N. 1 / JUN. 2019



V CONGRESSO MINEIRO DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS DE MINAS

REITOR

Milton Roberto de Castro Teixeira

PRÓ- REITOR DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

Henrique Carivaldo de Miranda Neto

PRÓ-REITOR DE PLANEJAMENTO, ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS

Renato Borges Fernandes

DIRETORA DE GRADUAÇÃO

Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues

COORDENADORA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO

Adriana de Lanna Malta Tredezini

A Revista do CENAR é um periódico acadêmico e científico, editado semestralmente, destinado à publicação de trabalhos apresentados durante o Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura, realizado anualmente pelos cursos de Engenharia Civil, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia Química, Engenharia de Produção, Engenharia Ambiental e Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário de Patos de Minas.

Catálogo na Fonte
Biblioteca Central do UNIPAM

R454 Revista do CENAR [recurso eletrônico] / Centro Universitário de Patos de Minas. – Dados eletrônicos. – v. 1, n. 1 (2018)- . – Patos de Minas : UNIPAM, 2018-

Semestral

Disponível em: < <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/revistadocenar> >

ISSN 2525-6424

Título varia: Revista do CENAR; Revista do Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura.

1. Engenharia - Periódicos. 2. Arquitetura e Urbanismo - Periódicos.
I. Centro Universitário de Patos Minas. II. Título.

CDD 620.05

Editores

Eduardo Pains de Moraes (UNIPAM)

Fábio de Brito Gontijo (UNIPAM)

Conselho Consultivo Interno

Adriane Silvério Neto

Alex de Castro Borges

Aluisio Magrini

Antoniél Silva Oliveira Junior

Cícero Luis Fonseca

Cleicione Cecília Coelho Oliveira

Daniel Oliveira e Silva

Dayene do Carmo Carvalho

Diego Alves de Moro Martins

Eduardo Cardoso de Araújo

Eduardo Pains de Moraes

Elizete Maria da Silva Moreira

Everson Glicério Martins

Fábio de Brito Gontijo

Fernando Dias da Silva

Gustavo Rodrigues Barbosa

Helga Canedo Tavares

Janaína Aparecida Pereira

Janser Queiroz

João Paulo Alves de Faria

João Rodrigo Andrade

José Rodolfo de Oliveira

Marcelle Abrão de Carvalho

Márcio Arvelos Moraes

Nancy Tiemi Isewaki

Patrícia Antunes dos Reis

Paulo Henrique Fernandes Caixeta

Pedro Junior Ashidami

Raul José da Costa

Renata Aparecida Vaz Rodrigues

Renata de Oliveira Melo
Renata Nepomuceno da Cunha
Rodrigo Hiroshi Murofushi
Rogério Borges Vieira
Sheila Pereira Vieira
Thiago Finotti de Moraes
Thiago Vieira da Silva
Tiago Santos e Souza
Valeika Carminati
Vinicius de Moraes Machado
Vinicius Vieira Sousa
Wesley Pereira Marques

Conselho Consultivo Externo

Carlos Antônio Ribeiro Duarte – UFG
Carlos Paula Lemos - IFTM
Divino Gabriel Lima – IFG
Douglas Bezerra de Araújo
Elcides Rodrigues da Silva - UFTM
Elise Saraiva - UFU
Hernani Martins Júnior
José Guilherme Rocha Cunha
Karine Camila Oliveira
Matheus Leoni Martins Nascimento – IESB
Paulo Eduardo Silva Martins – Universidade Tiradentes
Raiane Ribeiro Machado Gomes - UFV

EDITORIAL

A *Revista do CENAR* surge em 2018 a partir de uma iniciativa da comissão organizadora do Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, bem como dos coordenadores dos cursos envolvidos. O objetivo da revista é possibilitar maior divulgação dos trabalhos apresentados durante o evento. Em seu primeiro número, a revista traz parte dos trabalhos apresentados na quinta edição do congresso, ocorrida de 06 a 09 de novembro de 2018. Uma outra leva de trabalhos será publicada no número 2 deste volume.

Há contribuições das mais diversas áreas abrangidas pelo evento, perpassando por temáticas de grande relevância e mostrando o potencial, em especial dos alunos dos variados cursos, para a pesquisa e a construção e disseminação do conhecimento.

Os autores, ao escolherem a *Revista do CENAR* para publicarem seus trabalhos, encontram formas de aprimorarem a construção de seus currículos, ganhando visibilidade frente ao mercado de trabalho e também frente à comunidade acadêmica e científica.

O nosso desejo e de toda a comissão organizadora do congresso é que esta revista alcance cada vez mais pessoas e espaços no meio acadêmico e profissional, possibilitando aos leitores maior aprofundamento nas áreas abordadas.

Gratos, publicamos este primeiro número e desejamos a todos uma proveitosa e enriquecedora leitura!

EDUARDO PAINS DE MORAES
FÁBIO DE BRITO GONTIJO
EDITORES DA REVISTA

SUMÁRIO

EFEITO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE CLORETO DE CÁDMIO NO CRESCIMENTO DO <i>Citharexylum myrianthum</i>.....	08
<i>Willian Geraldo da Silva</i> <i>Vinicius de Moraes Machado</i>	
AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS SOLO-CIMENTO PARA CONSTRUÇÕES DE PEQUENO PORTE.....	19
<i>Lorrany Melo</i> <i>Nágela Mayla</i> <i>Renata Melo</i>	
DIAGNÓSTICO E ANÁLISE PATOLÓGICA NOS BAIROS ALEIXO ARAÚJO E CENTRO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO (MG).....	30
<i>Tatiane Cristina Braga</i> <i>Vinicius Vieira Sousa</i>	
APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO E CERÂMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO.....	41
<i>Frederico Nunes de Castro</i> <i>Jaqueline Aparecida Silveira</i> <i>Sheilla Pereira Vieira</i>	
ANÁLISE PATOLÓGICA DE FACHADAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE COBERTURA.....	54
<i>Noyuke Silva Hamado</i> <i>Nancy Tiemi Isewaki</i>	
COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO.....	67
<i>Jão Marcos Rabelo Teixeira</i> <i>Willian Ferreira Dias</i> <i>Eduardo Pains de Moraes</i>	
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INCLUSÃO DE FIBRAS DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO.....	80
<i>Janone Moreira Braga</i> <i>Rangel de Abreu Moreira da Silva</i> <i>Douglas Ribeiro Oliveira</i> <i>Renata Oliveira Melo</i>	
LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS NA CIDADE DE PATOS DE MINAS - MG.....	93
<i>Ana Flávia Borges</i> <i>Tatiane Tavares Fontes</i> <i>Vinicius Vieira Sousa</i>	
LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO PARA FINS DE LOTEAMENTO UTILIZANDO DIFERENTES INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS.....	106
<i>Allyson Tolentino Mendes</i> <i>Rodrigo Mendes de Oliveira</i>	

ANÁLISE ORÇAMENTARIA E VIABILIDADE CONSTRUTIVA DE UMA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE EM STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL DE VEDAÇÃO.....	120
<i>Alan Getúlio de Ázara</i>	
<i>Denner dos Santos Costa</i>	
<i>Rogério Borges Vieira</i>	
PROJETO E ORÇAMENTO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NOS PADRÕES DO PMCMV VISANDO PARÂMETROS DE SUSTENTABILIDADE.....	134
<i>Luana Patrícia de Moura Araújo</i>	
<i>Mirele Ribeiro de Magalhães</i>	
<i>Nancy Tiemi Isewaki</i>	
ANÁLISE DOS IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 5S EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE UNIFORMES EM MINAS GERAIS.....	147
<i>Júnia Maisa Mota Gonçalves</i>	
<i>Fábio de Brito Gontijo</i>	
PROJETO DE FONTE CHAVEADA TIPO FLYBACK PARA ALIMENTAR UM RASPBERRY PI.....	160
<i>Clésio Eurípedes Ferreira Pacheco</i>	
<i>Pedro Junior Ashidani</i>	
ESTUDO DE ACESSO AO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO MATRIZ ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA.....	171
<i>Douglas Antonio Freitas</i>	
<i>Márcio Arvelos Moraes</i>	
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA TERMOACUMULAÇÃO NO SISTEMA DE AR CONDICIONADO DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS DE MINAS - UNIPAM.....	185
<i>Delduque Garcia Mundim Júnior</i>	
<i>Cícero Luiz Fonseca</i>	
ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO DE EMBALAGEM PRIMÁRIA EM UM LATICÍNIO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE TEMPOS E MOVIMENTOS....	201
<i>Luiza Dias Ferraz Gonçalves</i>	
<i>Paulo Henrique Fernandes Caixeta</i>	
ANÁLISE DO GRAU DE SATISFAÇÃO DOS CLIENTES RELACIONADO AO ATENDIMENTO EM UMA CHINELARIA.....	214
<i>Deise Gomes Soares</i>	
<i>Célio Adriano Lopes</i>	
ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE FASES DA MISTURA ETANO/N-EICOSANE.....	227
<i>Renata Barbosa</i>	
<i>Suellen Cristine Meira</i>	
<i>Ana Caroline Pereira Oliveira</i>	
AVALIAÇÃO DO GIRASSOL (<i>Helianthus annuus L</i>) COMO FITORREMEIADOR QUANTO À REMOÇÃO CHUMBO (Pb) E ZINCO (Zn) EM SOLOS CONTAMINADOS TÍTULO EM CAIXA ALTA.....	241
<i>Anamaria Rocha de Oliveira</i>	
<i>Kérley Cristina Souza Lima</i>	
<i>Mateus Martins Guimarães</i>	
<i>Rafael Máximo Gomes</i>	
<i>Daniel Oliveira e Silva</i>	

EFEITO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE CLORETO DE CÁDMIO NO CRESCIMENTO DO *Citharexylum myrianthum*

Willian Geraldo da Silva

Mestrando em Biotecnologia do Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas
E-mail: williang18@hotmail.com

Vinicius de Moraes Machado

Professor do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM)
E-mail: viniciusmm@unipam.edu.br

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento da espécie arbórea *Citharexylum myrianthum*, em solo contaminado por cádmio. O estudo foi realizado no Instituto Estadual de Florestas de Patos de Minas. O experimento foi monitorado no período de 120 dias, sendo 25 mudas, em cinco tratamentos com cinco repetições. Foram avaliados a altura das plantas, a circunferência caulinar e o número de folhas. Observou-se que a espécie foi tolerante ao contaminante, obtendo 100% de sobrevivência.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de variância. Contaminação. Solo.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the development of the tree species *Citharexylum myrianthum*, in soil contaminated by Cadmium. The study was carried out at the State Forest Institute of Patos de Minas. The experiment was monitored during 120 days, with 25 seedlings in five treatments with five replications. Plant height, stem circumference, and number of leaves were evaluated. It was observed that the species was tolerant to the contaminant, obtaining 100% survival.

KEYWORDS: Analysis of variance. Contamination. Ground.

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas desenvolvidas após o início da Era Industrial vêm contribuindo significativamente para o aumento das concentrações de metais pesados nos ecossistemas. Por meio dessas atividades, tais concentrações podem se tornar expressivas, visto que nem sempre há políticas efetivas que indiquem o descarte e/ou o tratamento de resíduos com potencial de contaminação do ambiente (HORN, 2016). Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias para a remediação de metais lançados no meio ambiente torna-se necessário, a fim de minimizar ou até mesmo eliminar o fator de poluição, preservando o meio ambiente.

Entende-se por metais pesados todos aqueles elementos químicos cuja densidade seja superior a 5 kg.dm⁻³ (BAIRD, 2002). Dentre eles, podem ser citados: cádmio, chumbo, níquel, zinco, cobre e manganês. Alguns desses elementos em

pequenas concentrações são nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas; entretanto, em concentrações excessivas, essenciais ou não essenciais às plantas, podem resultar em fitotoxicidade. (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Várias técnicas de descontaminação de solos, águas e sedimentos contendo metais pesados têm sido empregadas. (NEDELKOSKA; DORAN, 2000). Dentre elas, uma boa proposta de tratamento para esses resíduos é o processo fitorremediação. Para Zeitouni (2003), as plantas agem auxiliando a remoção, o armazenamento, a transferência e/ou estabilização, tornando inofensivos os metais pesados presentes no solo. É uma técnica promissora para recuperar locais contaminados por metais pesados e apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de aplicação em áreas extensas, custo operacional relativamente baixo, além da redução dos processos erosivos.

As espécies arbóreas nativas tropicais, principalmente as de rápido crescimento, apresentam características desejáveis para a fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. São de fácil implantação, maior ciclo de vida e grande produção de biomassa, quando comparadas às plantas de ciclo curto. Tais peculiaridades permitem minimizar os custos de cultivo da área contaminada e, por possuir maior produção de biomassa, conseqüentemente acumulam maior quantidade de carbono e de metais pesados, característica desejável em processos de recuperação ambiental (CAIRES *et al.*, 2011).

Dentre essas espécies pode-se citar *C. myrianthum*, que apresenta características de grupo ecológico pioneira: rápido crescimento; resistente a solos encharcados; capaz de ficar submersa por mais de um mês; cultivada em todo o Brasil, em qualquer altitude; adaptada a qualquer tipo de solo; ótima para recuperar e segurar a erosão de solos degradados (FRIZZO; PORTO, 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento de mudas da espécie *Citharexylum myrianthum* (tucaneiro) em substrato contaminado com doses diferentes de cloreto de cádmio via processos fisiológicos inerentes à própria espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi de maio a setembro de 2018, realizado no Viveiro de Mudas do Instituto Estadual de Florestas (IEF), em Patos de Minas (MG), localizado nas coordenadas 18°36'46.84"S e 46°28'46.67"O, Rodovia MG 354, km 171,5, zona rural.

A espécie testada no presente estudo foi o *Citharexylum myrianthum*, conhecido popularmente como Tucaneiro. As 25 mudas foram doadas pelo IEF (Instituto Estadual de florestas) do município de Patos de Minas. Foram utilizados vasos de PEAD (polietileno de alta densidade) com capacidade de 5 L e etiquetados para facilitar a identificação. O substrato utilizado para o preenchimento dos vasos foi o mesmo que se usa no viveiro – composto por casca de café, esterco e adubo químico.

2.1 TRANSPLANTE DAS MUDAS

Foi realizada uma pré-seleção, priorizando as mudas com aproximadamente

três meses de idade e também aquelas que se apresentaram com alturas uniformes, assim evitando possíveis erros nos dados. As mudas já se encontravam no IEF e estavam plantadas em sacos plásticos, estavam com aproximadamente 4 meses de desenvolvimento.

Para realização do transplante, que aconteceu no dia 09/06/2017, utilizou-se de uma tesoura porte médio para cortar os sacos plásticos. Depois de transplantadas, as mudas passaram por um período de aclimação de 20 dias para que assim pudessem se adaptar ao novo local de cultivo, para que não houvesse variação de comportamento relacionado ao ambiente.

2.1.1 Contaminação do solo por cloreto de cádmio

Para a contaminação, foi empregado sal puro inorgânico de cádmio, fornecido pelo laboratório Central Analítica de Química do UNIPAM. As soluções foram preparadas no Laboratório de Solos também no UNIPAM, onde foi pesada cada dosagem e diluída em 1500 ml de água destilada; posteriormente as soluções foram transferidas para frascos etiquetados, referentes a cada dosagem; em seguida, encaminhadas ao IEF para que fossem adicionadas ao substrato. É importante destacar que o contaminante foi aplicado apenas uma vez, diretamente no substrato após o período de aclimação.

A Tabela 1 apresenta as concentrações que foram aplicadas em cada tratamento estudado.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio intitulado: “Efeito da aplicação de doses de cloreto de cádmio no desenvolvimento do *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro). UNIPAM, Patos de Minas, MG, 2017.

Tratamentos	Doses de Cdmg/l
T ₁	0,00
T ₂	7,50
T ₃	15,00
T ₄	22,50
T ₅	30,00

Fonte: dados da pesquisa

2.1.2 Irrigação das mudas

Após realizar todos os processos anteriores, as mudas foram irrigadas com água diariamente, utilizando-se de microaspersores. A irrigação ocorreu duas vezes ao dia, na parte da manhã e na parte da tarde; no intervalo as mudas foram regadas com mangueira.

Figura 1 – Irrigação por aspersores utilizada no viveiro



Fonte: arquivo dos autores

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As mudas foram divididas e posicionadas no viveiro, usando o delineamento inteiramente casualizado (DIC). O delineamento foi composto de cinco tratamentos (composto das diferentes dosagens), cada um com 5 repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, totalizando de 25 parcelas experimentais.

As coletas de dados ocorrerão após 120 dias, sendo realizadas avaliações de 30 em 30 dias, de junho a setembro, para os parâmetros: altura de plantas, circunferência caulinar e número de folhas por planta.

2.2.1 Determinação da altura de plantas, circunferência caulinar e número de folhas das mudas

Para monitorar a extensão do caule, foi utilizada uma fita métrica; já para mensurar a circunferência do caule, foi utilizado o paquímetro digital; as folhas foram contadas manualmente. Dessa forma, pôde-se averiguar o desenvolvimento das mudas, nos diversos tratamentos (Figura 2).

Figura 2 – Equipamentos utilizados para monitorar os dados citados.



Fonte: arquivo dos autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas obtiveram taxa de sobrevivência de 100% em solo contaminado com cloreto de cádmio em todos os tratamentos, o que permitiu observar que a espécie *Citharexylum myrianthum* pode ser tolerante ao contaminante, durante o período testado de 90 dias.

Na Tabela 2, está apresentada a análise de variância (ANOVA) para os parâmetros avaliados.

Tabela 2 - Análise de variância para número de folhas das plantas (NF), altura das plantas (AP) e diâmetro de caule das plantas (DC) para as mudas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.

Fontes de variação	Valor F calculado		
	NF	AP	DC
Doses de cádmio	3,8268 **	1,4058 ns	5.5717 **
Época	374,4570 **	41,0116 **	244.7885 **
Doses de cádmio x época	0,6996 ns	0,6445 ns	0.8658 ns

**Significativo a 5% de significância pelo teste F; ns = não significativo

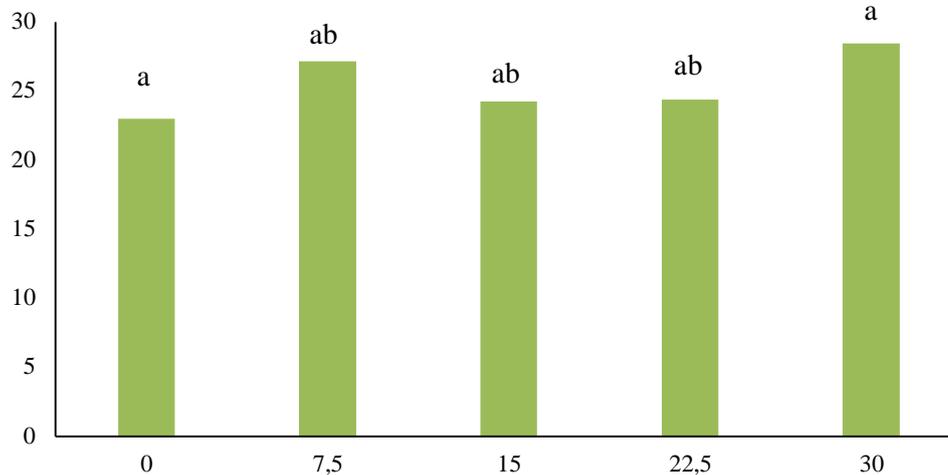
Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com esses resultados, houve efeito significativo das doses de cádmio e épocas de avaliação, isoladamente, para o número de folhas e diâmetro do caule, para altura das plantas houve efeito significativo, apenas para época. Entretanto, não ocorreu interação significativa entre os fatores substrato e época.

Nos tópicos subsequentes, serão apresentadas análises estatísticas da interação dos fatores que se apresentaram dados significativos para cada variável analisada pelo teste Tukey a 5% de significância.

Decorridos os 90 dias após aplicação do contaminante, foram avaliadas as emissões de folhas verdes dos tratamentos, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Quantidade de folhas verdes das plantas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) submetidas a doses de cloreto de cádmio (T1 = 0, T2 = 7,5 mg, T3 = 15 mg, T4 = 22,5 mg, T5 =30 mg) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.

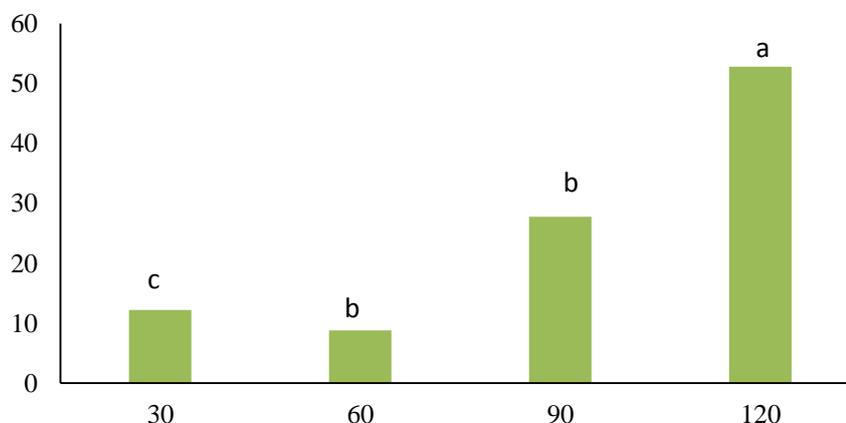


*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa.

Conforme observado na Figura 5, o tratamento T1 (0 mg) e T5 (30 mg), não apresentaram diferença estatísticas, entretanto se mostram diferentes dos outros tratamentos.

Figura 6 - Valores de folhas verdes das plantas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) submetidas a diferente épocas e (30, 60, 90 e 120 dias) e doses de cloreto de cádmio (T1 = 0, T2 = 7,5 mg, T3 = 15 mg, T4 = 22,5 mg, T5 =30 mg) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.



*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

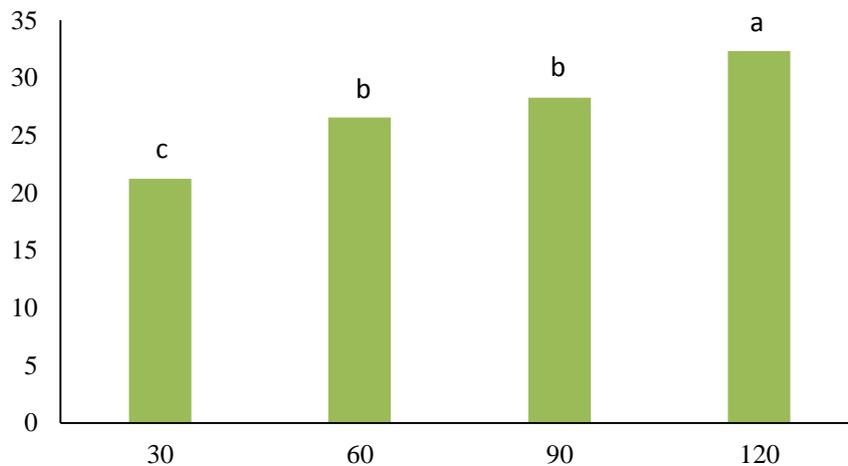
Fonte: dados da pesquisa

Conforme observado na Figura 6, os 120 dias de experimento foram o fator mais significativo estatisticamente. Assim pode-se dizer que as doses de cloreto de cádmio não interferem no número de folhas, pois de acordo com os resultados observou-se uma tendência de aumento do número de folhas com o aumento do tempo de avaliação.

A maioria das espécies vegetais crescendo em solos contaminados por metais pesados não conseguem evitar a absorção desses elementos, mas somente limitar sua translocação (SOARES *et al.*, 2001). Assim, pode-se dizer que o número de folhas verdes não sofre interferências pela contaminação do cloreto de cádmio. Resultados diferentes foram encontrados por Salvador *et al.* (2000), que estudaram aplicações de doses de alumínio na goiabeira, verificando que tais doses causaram danificações na emissão de folhas.

Após 120 dias de experimento, foi construído um gráfico para a média do incremento em altura (Figura 7).

Figura 7 – Valores para incremento em altura das plantas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) submetidas a doses de cloreto de cádmio (T1 = 0, T2 = 7,5 mg, T3 = 15 mg, T4 = 22,5 mg, T5 = 30 mg) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.



*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa

As mudas avaliadas aos 120 dias apresentaram-se estatisticamente superior às mudas de demais épocas de avaliação. Assim, o fator crescimento não foi inibido com as doses de cádmio. Os efeitos das doses de cádmio para altura da planta obtidos no tratamento sem adição de Cd (testemunha) foram menores do que as unidades experimentais contaminadas com cloreto de cádmio. Porém, não pode ser considerado como um estimulante no crescimento, como pode ser observado na Figura 5.

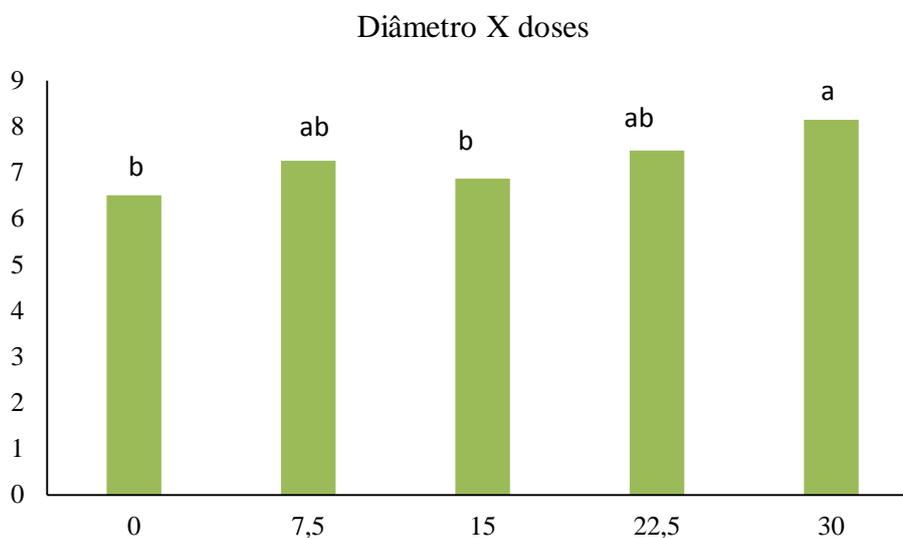
Soares *et al.* (2001) explicam que a multicontaminação e as possíveis interações químicas no solo e fisiológicas na planta devem ser consideradas para avaliar o

impacto do excesso de metais pesados sobre as espécies. Como a espécie estudada cresceu em solo com diferentes níveis de cádmio, pode ter ocorrido efeito fitotóxico aditivo.

Segundo a literatura, a toxidez do zinco em plantas acarreta a diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular; morte da plântula e inibição do crescimento vegetal.

Para o incremento de circunferência do caule, foi construído um gráfico, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Valores para diâmetro de caule das plantas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) submetidas a doses de cloreto de Cádmio (T1 = 0, T2 = 7,5 mg, T3 = 15 mg, T4 = 22,5 mg, T5 =30 mg) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.

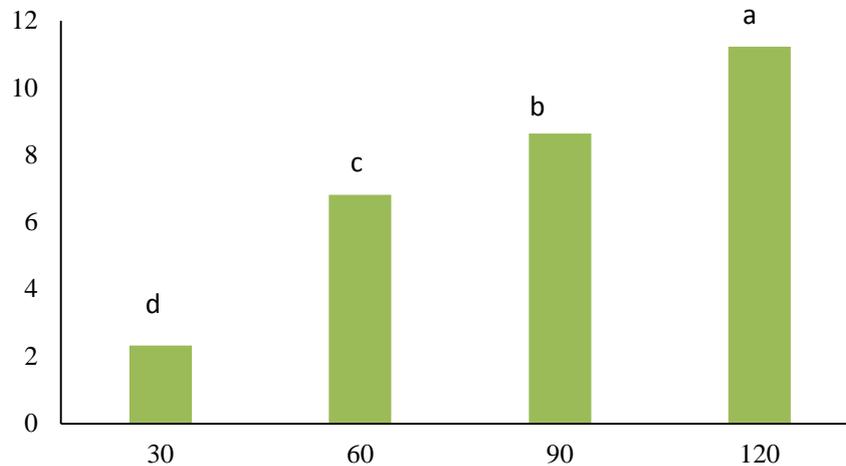


*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa

Observando o gráfico, é possível inferir que o tratamento T5 (30,0g) foi transcendente estatisticamente quando comparados aos outros tratamentos. Ainda perscrutando a Figura 9, observa-se que o tratamento controle foi o pior em incremento de circunferência; em contrapartida, o tratamento com a maior dosagem de contaminante apresentou numericamente como o melhor em incremento de circunferência do caulinar.

Figura 9 – Valores para diâmetro de caule das plantas de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro) submetidas a diferente épocas e (30, 60, 90 e 120 dias) e doses de cloreto de cádmio (T1 = 0, T2 = 7,5 mg, T3 = 15 mg, T4 = 22,5 mg, T5 =30 mg) no viveiro de mudas do IEF. Patos de Minas, 2017.



*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa

Analisando a Figura 9, é possível observar que, com o passar do tempo, a circunferência do caulinar foi aumentando; 120 dias de experimento foi a época em que se apresentou estatisticamente melhor.

Pode-se observar que as mudas de *Citharexylum myrianthum* sobreviveram ao metal, que teve influência no seu desenvolvimento. Comparando os resultados obtidos nesse experimento com os de Cruvinel (2009), que estudou doses de cádmio aplicadas a *Brachiaria decumbens*, em dados experimentais, houve diferenças significativas no desenvolvimento das plantas. Dessa forma, o contaminante acima pico máximo de concentração foi prejudicial no desenvolvimento do vegetal.

Diante do exposto, pode-se considerar que o cloreto de cádmio não apresentou certo grau de fitotoxicidade à espécie testada. Soares *et al.* (2001) explicam que a multicontaminação e as possíveis interações químicas no solo e as fisiológicas na planta devem ser consideradas para avaliar o impacto do excesso de metais pesados nas espécies. Como a espécie estudada cresceu em solo com diferentes níveis de cádmio, pode ter ocorrido efeito fitotóxico aditivo.

4 CONCLUSÃO

Foi observado que, na espécie testada no estudo, o *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro), no período de tempo avaliado, as doses de cádmio aplicadas ao substrato até a concentração de 30 mg L⁻¹ de solo promoveram aumento linear do número de folhas e diâmetro de caule.

Na média das concentrações de cádmio no substrato, houve incremento do número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule com o tempo.

Dessa forma, a espécie de *Citharexylum myrianthum* (Tucaneiro), em caráter experimental, considerando-se apenas o crescimento e desenvolvimento da muda no período de 90 dias, pode ser considerada uma espécie tolerante e apresenta propriedades fitorremediadoras, por ter se desenvolvido bem em local contaminado.

REFERÊNCIAS

ASSIS, P. A. **Adsorção de metais pesados em solução aquosa e em drenagem ácida de mina utilizando bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente**. 2012. 64 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

BACCAN, N; ANDRADE, J. C; GODINHO, O. E. S; BARONE, J. S. **Química analítica quantitativa elementar**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blüncher, 2001.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BROOKS, R. R. Phytoremediation by volatilisation. *In*: Brooks, R. R. [Ed]. **Plants that hyperaccumulate heavy metals**. CAB International, Walling-ford. 1998.

CAIRES, S. M; FONTES, M. P. F; FERNANDES, R. B. A; NEVES, J. C. L; FONTES, R. L. F. Desenvolvimento de mudas do cedro rosa em solos contaminados com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, Viçosa v. 35. nº 6. p. 1181-1188. 2002.

CASTRO, S. V. **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do alto Rio das Velhas-MG**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestre em Saneamento) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CETESB – COMPANHIA DE TÉCNICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Áreas contaminadas**. São Paulo, dez. 2011.

CHAVES, L. H. G., MESQUITA, E. F., ARAUJO, D. L., FRANÇA, C. P. **Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta**. Engenharia-Ambiental-Espirito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 263-277. 2010.

CUNNINGHAM, S. D; BERTI, W. R; HUANG, J. W. **Phytoremediation of soils contaminated with organics pollutants**. Advances Agronomy. Newark, v. 56, p. 55-114, 1996.

CRUVINEL, D. F. C. C. **Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto. 2009.

ERNST, W. H. O. **Phytoextraction of mine wastes – options and impossibilities.** Chemie der Erde – Geochemistry, v. 65, p. 29-42, 2005.

FRIZZO, T. C. E; PORTO, L. M. **Zoneamento da vegetação e sua relação com metais pesados na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.** 2002. 137 f. Dissertação (Mestre em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. **Phytoextraction: a cost-effective plant based technology for the removal of metals from the environment.** Bioresource Technology, v. 77, p. 229-236, 2001.

HORN, H. M. F. **Análise de sílico-fitólitos de eudicotiledôneas em área de mineração e seu potencial de fitorremediação de solos contendo metais pesados.** 2016. 81 f. Dissertação (Mestre em produção vegetal) – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2016.

NASCIMENTO, J. M.; SILVA, B.S.; CHAVES, M. D.; OLIVEIRA, J. D. Biossorção dos íons Cd^{2+} e Pb^{2+} utilizando casca de pequi (Caryocar brasilense Camb) Modificada com ácido cítrico. **Revista Ciências Ambientais**, Canoas v. 8 n. 1, p. 57-69, 2014.

NEDELKOSKA, T. V; DORAN, P. M. **Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining.** Mineral Engineering, v. 13, n. 5, p. 549-561. 2000.

RASKIN, I; ENSLEY, B. D. **Phytoremediation of toxic metals; using plants to clean up the environment.** New York; J. Wiley, 304 p. 2000.

SUSARLA, S; MEDINA, V. F; MCCUTCHEON, S. C. **Phytoremediation; An ecological solution to organic chemical contamination.** Ecological engineering, v. 18, p. 647-658. 2002.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **R. Bras. Ci. Solo**, Piracicaba, v. 24 p. 787-796, 2000.

SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. L. L. M.; SIQUEIRA, J. O. MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, Lavras, v.13, n. 3, p. 302-315, 2001.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de Cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico.** 2003. 91 f. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-graduação em Gestão de Recursos Agroambientais, Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, 2003.

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS SOLO-CIMENTO PARA CONSTRUÇÕES DE PEQUENO PORTE¹

Lorrany Melo

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: lorranyomelo@yahoo.com.br

Nágela Mayla

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: nagelamayla@gmail.com

Renata Melo

Professora do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: renataom@unipam.edu.br

RESUMO: O solo-cimento é uma composição de solo, cimento e água homogeneizados, reaproveitando o solo escavado das estacas, reduzindo o gasto de cimento, que, quando é acrescido ao solo, aumenta sua resistência. Neste trabalho, foi utilizada essa mistura composta por solo-cimento para composição de estruturas de fundações do tipo estacas para casas térreas de até 60m², analisando o rompimento dos corpos de prova com 7, 14 e 28 dias de cura. Os dados de tensão dos corpos de prova foram obtidos através do rompimento. No final, foi calculada a tensão superficial das estacas para os diâmetros de 25 e 30 cm.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento. Resistência. Tensão. Estacas. Classificação dos solos.

ABSTRACT: The soil is a composition of soil, cement and water homogenized, reappearing the soil excavated from the cuttings, taking advantage of the use of cement, which is added to the soil of its resistance. This set has support for samples of structures of samples of thermal areas of up to 60m², analyzing the impact of the specimens with 7, 14 and 28 days of cure. The stress data of the specimens were obtained by breaking. At the end, a surface tension of the cuttings was calculated for the diameters of 25 and 30 cm.

KEYWORDS: Soil-cement. Resistance. Tension. Cuttings. Classification of soils.

INTRODUÇÃO

O recalque é um fenômeno que ocorre devido à diminuição de volume do solo, quando submetido a uma sobrecarga. O recalque pode ser uniforme, ocorrendo em todo o perímetro da edificação, ou diferencial, em que parte da construção sofre

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 - Novas tecnologias e ferramentas para gestão empreendedora, do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

rebaixamento, causando diferença de nível. Esse tipo de recalque faz com que surjam patologias na edificação, como trincas e fissuras, muitas vezes prejudiciais à estrutura.

Os solos colapsíveis estão mais sujeitos ao recalque pelo fato de possuírem alto índice de vazios. Esse tipo de solo possui baixo grau de saturação e tem, em sua composição, grãos de areia e silte; quando submetido a um acréscimo de umidade, sofre um rearranjo brusco em sua estrutura, causando redução de volume.

O tipo de fundação a ser escolhida para determinada construção leva em consideração o N_{SPT} obtido no laudo de SPT (*Standard Penetration Test*), juntamente com o tipo de solo e o custo/benefício oferecido por cada tipo de fundação.

Em alguns casos, a escolha da fundação nem sempre é aquela que possui o menor custo/benefício. Casas de pequeno porte, quando apoiadas em solos moles sem resistência mecânica adequada, levam a opções de custo maior. Quando se utiliza de fundações profundas em pequenas construções, onde os carregamentos são pequenos, não se utiliza de toda capacidade nominal oferecida pela estaca. Nesse caso, a estaca tem a função de transferir os carregamentos provenientes da edificação a solos mais profundos com maior resistência mecânica, já que o solo superficial não possui características necessárias para receber os carregamentos da edificação.

Os materiais empregados atualmente em estacas são o concreto, o aço e a madeira. As estacas de concreto são de longe as mais utilizadas, pela sua gama de tipologias e por ser a mais tradicional. As estacas de aço e de madeira são menos utilizadas. A madeira, por ser um material natural extraído da natureza, possui procedimentos que são burocráticos para obtenção de licença de extração, além de ter restrição quanto à sua utilização. As estacas de aço possuem valor elevado e, por esse motivo, não são comumente utilizadas.

Nem sempre a escolha das fundações leva a uma alternativa com menor custo, principalmente em casas com até 60 m² de edificação; sempre tem um peso relativamente maior em consequência se as fundações necessitarem atingir grandes profundidades.

Segundo Silva (1994, p.18), “Como para os carregamentos típicos dessas obras, não se necessita de toda a capacidade estrutural de uma estaca de concreto; novos materiais estão sendo pesquisados para que as fundações de pequeno porte sejam integralmente aproveitadas, diminuindo o custo da construção”.

O intuito não é somente econômico; a pesquisa também está visando a impactos ambientais de forma que consiga amenizá-los. A engenharia precisa e necessita de cuidados especiais com o meio ambiente de tal maneira que possa cooperar com as futuras gerações.

Uma alternativa para esses tipos de materiais utilizados é a estaca de solo-cimento. A estaca de solo-cimento é composta por solo, cimento e água. De acordo com Silva (1994), o solo-cimento apresenta módulo de deformação menor que o do concreto, contribuindo com maior atrito lateral da estaca em relação ao solo.

Visando à substituição dos materiais convencionais utilizados atualmente em estacas, viu-se relevância em desenvolver um estudo em que se possa analisar o benefício econômico e técnico das estacas de solo-cimento.

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a utilização de fundações com solo-cimento para construções de pequeno porte.

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes: analisar os traços de proporções de solo e cimento; classificar o solo de acordo com a sua granulometria; verificar a resistência à compressão da mistura solo-cimento e comparar os dados encontrados nos ensaios como proposto nas bibliografias pesquisadas.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O experimento realizado foram ensaios de compressão das amostras moldadas em laboratório. Foi preciso coletar 150 kg de solo, a uma profundidade de 1,5m. A amostra foi colocada em bandejas e levada para o laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário Patos de Minas, na Rua Major Gote.

No laboratório, foram feitas diversas análises como granulometria do solo, plasticidade, liquidez, massa específica e moldagem dos corpos de prova. Primeiramente, foi feita a granulometria; a amostra foi caracterizada de acordo com a predominância de partículas encontradas no peneiramento, em conformidade com a ABNT NBR 7181 (2016). Observou-se que a maioria das partículas variava de 0,07 a 1,3 mm de diâmetro, sendo classificada como areia fina.

Neves (2003, p. 275) afirma que “normalmente, os solos mais arenosos estabilizam-se com menores quantidades de cimento. Todavia, a presença da argila na composição do solo é necessária para dar à mistura de solo-cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada do molde, além da resistência inicial”.

Nos ensaios de limite de liquidez ABNT NBR 6459 (2016) e plasticidade ABNT NBR 7180 (2016), verifica-se se a amostra tende a ser saturada ou plástica. Para a amostra em estudo, foi encontrado um limite de liquidez de 42% e índice de plasticidade de 2,03, sendo classificado como um solo ligeiramente plástico. A massa específica do solo encontrada foi de 1,41g/cm³. Com esses ensaios acima citados, foram obtidos índices para classificação na AASHTO, tabela de classificação rodoviária. Nessa classificação do solo, remeteu-se a um solo A-1b, areia.

Depois de encontrada a classificação do solo, foram moldados os corpos de prova, com acréscimo de cimento de 6%, 9% e 12%. Foi seguido o procedimento de moldagem de acordo com ABNT NBR 12024 (2012), utilizando 2,5 kg de solo para cada corpo de prova. Para compactação do solo, foram realizadas três camadas, compactando-as com 26 golpes cada, utilizando o soquete de 2,5 kg. Os corpos de prova foram deixados em câmara úmida, sendo imerso em água 4 horas antes do rompimento. Eram rompidos três corpos de prova para cada teor de cimento, obedecendo-se a seu tempo de cura, que foi de 7,14 e 28 dias.

Foram demonstrados em tabelas e gráficos a resistência à compressão dos teores moldados, análises em função do tempo, percentual de ganho de resistência em função do solo puro e comparativo de qual melhor diâmetro de estacas a ser adotado para casas térreas com até 60m².

A primeira análise a ser feita foi em relação à resistência que os corpos de prova suportavam. Ocorreram oscilações em relação às resistências em todos os teores de dosagem, mas pode-se observar que, em todos os gráficos, não se tem tendência de evolução linear, mas varia próximo de um determinado valor de pico

máximo e médio.

O solo puro ensaiado obteve uma tensão média de 0,026 kN/cm² aos 7 dias de cura. O Quadro 1 mostra os valores de tensão suportado para cada corpo de prova com teor de 6% de adição de cimento.

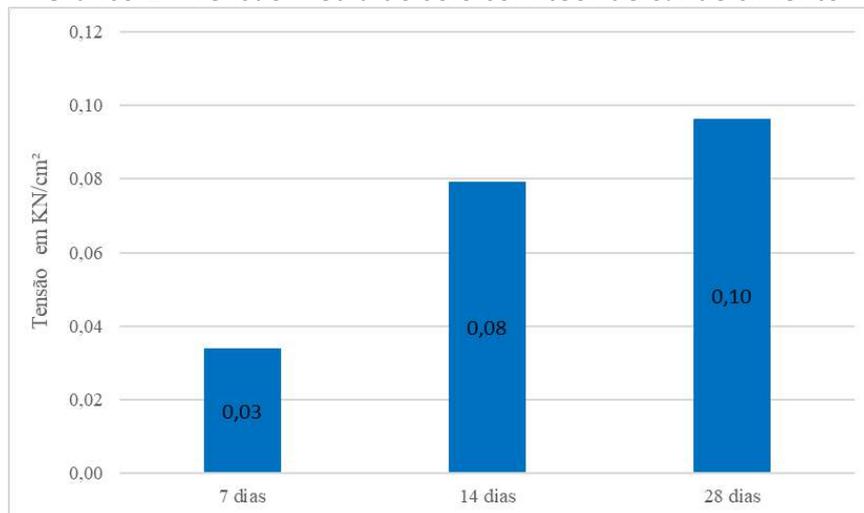
Quadro 1 – Tensão de todos os corpos de prova com 6% de cimento

Teor de cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
6%	7	0,054
6%	7	0,027
6%	7	0,021
6%	14	0,067
6%	14	0,066
6%	14	0,105
6%	28	0,102
6%	28	0,083
6%	28	0,104

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os valores para cada idade mostram uma tendência linear de aumento das tensões, à medida que vão aumentando os dias de rompimento da amostra, as relações de similaridade com valores obtidos que não apresentam picos de tensão mantendo uniformidade nos valores de tensão. O Gráfico 1 mostra a tensão do solo-cimento com 6% de teor de cimento aos 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 1 – Tensão média do solo com teor de 6% de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com o Gráfico 1, houve um ganho de tensão média dos corpos de prova ao longo dos dias de cura. Esse aumento de tensão mostra a efetividade do teor mínimo indicado pela ABNT NBR 12024 (2012), chegando aos 28 dias com tensão maior que aos 7 dias.

O Quadro 2 mostra os valores de tensão suportados para cada corpo de prova

com teor de 9% de adição de cimento.

Quadro 2 – Tensão de todos os corpos de prova com 9% de cimento

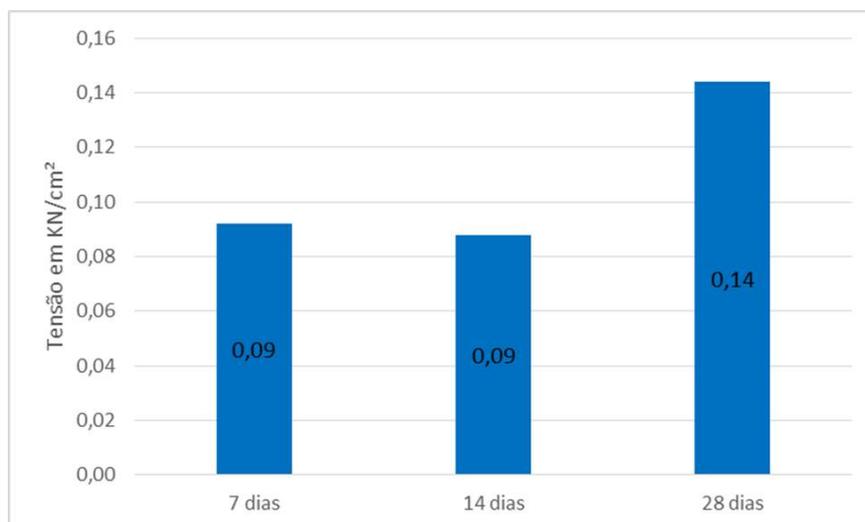
Teor de Cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
9%	7	0,148
9%	7	0,052
9%	7	0,076
9%	14	0,06
9%	14	0,133
9%	14	0,07
9%	28	0,204
9%	28	0,156
9%	28	0,072

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para o teor de 9% de adição de cimento, o rompimento de todos os corpos de prova é demonstrado no Quadro 2. Pode-se analisar que, a cada idade, têm-se dois corpos de prova com valores de tensão muito próximos e um diferente; aos 7 dias apresentou-se um primeiro corpo de prova com 0,052 e um segundo com 0,076KN/cm² e apenas um em discrepância, que foi o de 0,148 KN/cm², que é o dobro dos dois resultados obtidos; já para a idade de 14 dias, também pode-se observar o mesmo comportamento de dois corpos de prova com tensões muito próxima, que foi de 0,06 e 0,07KN/cm² e a terceira amostra com 0,133KN/cm².

Para os 28 dias, ocorreu a mesma incidência; dessa vez o pico de tensão minorou, pois obteve-se um corpo de prova com 0,072KN/cm², e os dois outros com valores bem maiores de 0,204 e 0,156KN/cm². O Gráfico 2 demonstra a tensão dos corpos de prova com um teor de cimento de 9%.

Gráfico 2 – Tensão Média do solo com teor de 9% de cimento

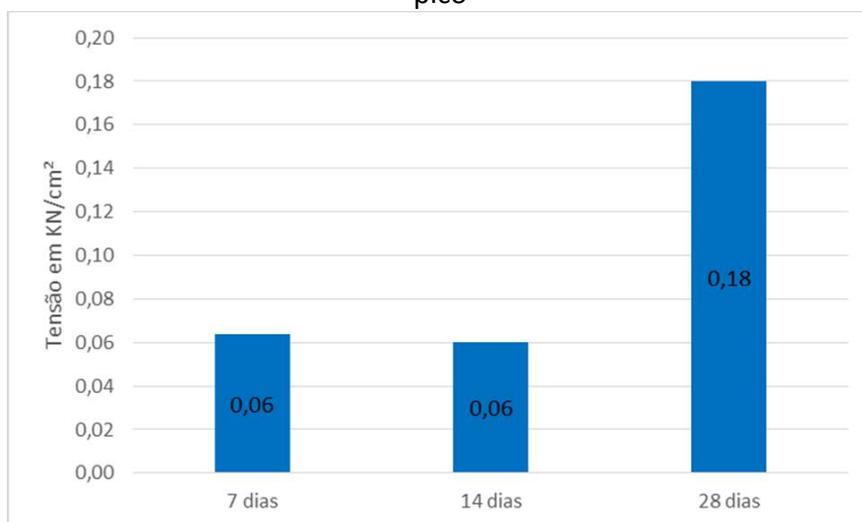


Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para os corpos de prova com teor de cimento de 9%, houve um aumento insignificativo de tensão média de rompimento com 7 e 14 dias; já para a idade de 28 dias, aumentou a tensão de suporte.

No Gráfico 3, na média de tensões, desprezando os valores discrepantes para o rompimento de 7 dias, foi retirado o valor de tensão de 0,148 KN/cm² e feita a média dos dois outros valores, que foram muito próximos. Aos 14 dias, foi desprezado o valor de 0,133 KN/cm² e realizou-se a média com os dois outros valores restantes, aos 28 dias realizou-se a média dos dois corpos de prova próximos e retirou-se o valor de 0,072 KN/cm². Assim, o Gráfico 3 mostra os valores de tensão média de duas amostra para cada idade.

Gráfico 3 – Tensão Média do solo com teor de 9% de cimento desprezando valores de pico



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Percebe-se que, para as idades de 7 e 14 dias, continuam obtendo valores de tensão com uma similaridade muito próxima e, aos 28 dias de cura, apresenta um aumento na tensão média suportada. Os valores apresentados no Gráfico 2 e no Gráfico 3 indicam que a tensão média final aos 28 dias não sofre alteração que altere o comportamento do solo. O Quadro 3 indica as tensões de todos os corpos de prova com 12% de cimento.

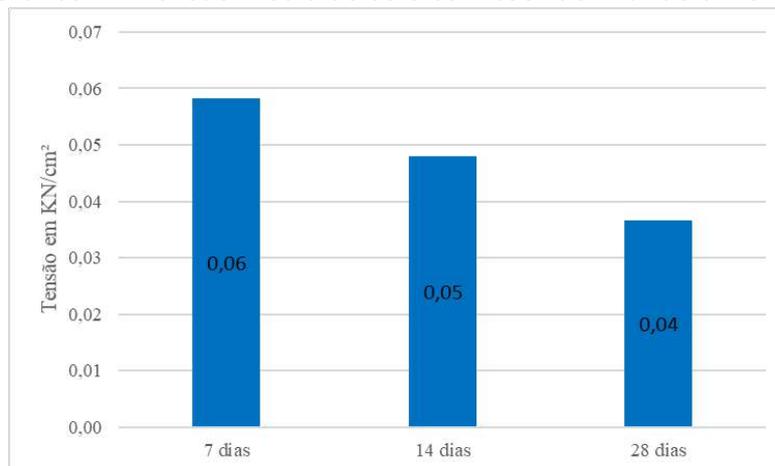
Quadro 3 – Tensão de todos os corpos de prova com 12% de cimento

Teor de Cimento	Idade (dias)	Tensão (KN/cm ²)
12%	7	0,098
12%	7	0,046
12%	7	0,031
12%	14	0,078
12%	14	0,033
12%	14	0,033
12%	28	0,065
12%	28	0,015
12%	28	0,03

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conforme mostrado no Quadro 3, os corpos de prova com as mesmas idades de cura não apresentam valores parecidos de tensão, oscilando em todos os corpos de prova, assim dificultando a análise média das tensões.

O Gráfico 4 exibe os resultados da média de tensões encontrados no ensaio de compressão com 12% de adição de cimento.

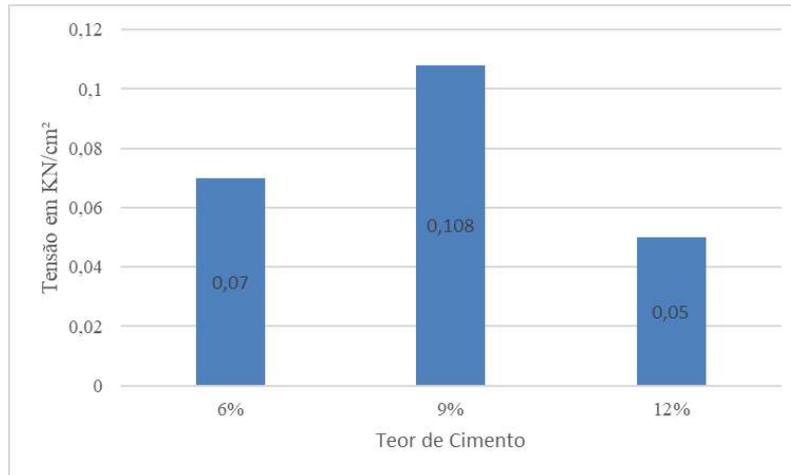
Gráfico 4 – Tensão média do solo com teor de 12% de cimento

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os corpos de prova com adição de 12% de teor de cimento obtiveram maiores valores de tensão aos 7 dias de cura e houve um decréscimo de tensão até aos 28 dias de cura. Um fator relevante que prejudicou foi a oscilação dos resultados; como todo o processo de moldagem e cura foram os mesmos feitos para o teor de 6% e 9%, reforça-se a afirmação feita por Neves (2003, p.275): “os solos arenosos estabilizam que menor teor de cimento adicionado a mistura”.

O Gráfico 5 demonstra uma relação de tensão entre todos os corpos de prova 6, 9 e 12% de teor de cimento.

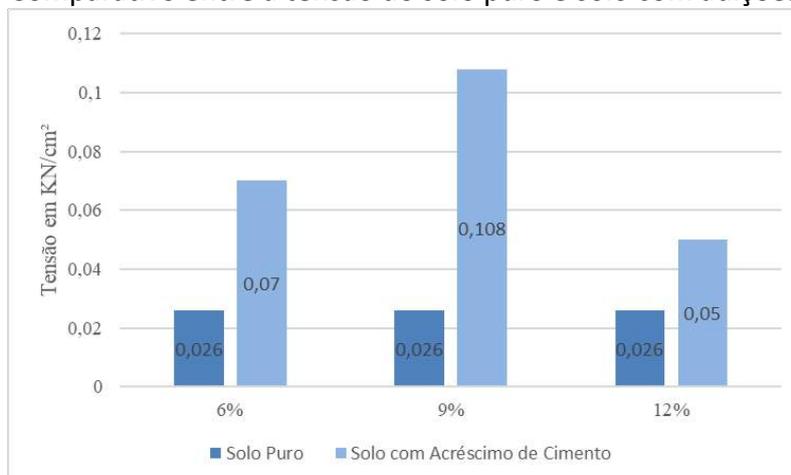
Gráfico 5 – Comparativo entre as tensões médias de todos os corpos de prova com os três teores de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Fazendo uma comparação entre os três teores, pode-se concluir que o solo, quando adicionado 9% de cimento, obteve maior tensão média, proporcionando melhores resultados comparados com os outros teores pesquisados. O Gráfico 6 ilustra os valores de tensão com o solo puro e com adição de cimento quando comparados.

Gráfico 6 – Comparativo entre a tensão do solo puro e solo com adições de cimento



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conforme o Gráfico 6, percebe-se que adição de cimento no solo coopera para o aumento de tensão do material. Com isso, essa mistura entre solo e cimento se torna benéfica para sustentação de várias obras da construção civil.

Houve um ganho efetivo de 62,85% para o teor de 6%, 75,92% para 9% e 48% para 12% de adição de cimento Portland em relação ao solo puro. Por fim, foram analisadas a carga superficial das estacas de 25 e 30 cm de diâmetro e a carga com aplicação de fator de segurança 2. O Quadro 4 demonstra valores de força máxima para estacas de 25 cm com 28 dias de cura.

Quadro 4 – Resistência de estaca de 25 cm com 28 dias de cura

Teor de Cimento	Tensão Média (KN/cm ²)	Força Max p/ estaca de 25 cm (Tf)	Força Max p/ estaca de 25 cm com fator de segurança (Tf)
6%	0,1	4,91	2,45
9%	0,14	6,87	3,43
12%	0,04	1,96	0,98

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O Quadro 5 mostra os valores de força suportados pela estaca com diâmetro de 30 cm com 28 dias de cura.

Quadro 5 – Resistência de estaca de 30 cm com 28 dias de cura

Teor de Cimento	Tensão Média (KN/cm ²)	Força Max p/ estaca de 30 cm (Tf)	Força Max p/ estaca de 30 cm com fator de segurança (Tf)
6%	0,1	7,07	3,53
9%	0,14	9,89	4,95
12%	0,04	2,83	1,41

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Uma edificação térrea com até 60m² e vão de até 4m possui carga em pilares com cerca de 2 toneladas; assim as estacas calculadas com um teor de 9% de cimento se mostraram satisfatórias, tanto com 25 ou 30 cm de diâmetro. Para uma melhor efetividade, foram demonstradas as cargas suportadas utilizando o fator de segurança de 2, para verificar se ainda assim os diâmetros adotados suportariam as cargas.

Dessa forma, pode-se concluir que, atribuindo o fator de segurança para as estacas com diâmetro de 30 cm, apenas o teor de 12% deixa um pouco a desejar não atingindo a carga mínima, e para as estacas de 25 cm somente o teor de 9% se mostrou satisfatório, assim como para as estacas de diâmetro de 30 cm.

A profundidade deve ser analisada em função do SPT. O estudo deve ser feito de modo a determinar o teor ótimo de solo-cimento e a carga de compressão máxima suportada.

CONCLUSÃO

Constatou-se que a utilização da mistura solo-cimento se mostrou satisfatória para o teor de cimento de 9% para construções de casas de pequeno porte. É um processo alternativo aos métodos convencionais de construção, além de ser sustentável.

Quando se trata de materiais a serem empregados nesse sistema de fundação, há uma economia de matérias-primas convencionais, como brita e areia. Com isso se

torna um sistema mais viável financeiramente. Em construções de casas populares, como as casas do Projeto Minha Casa Minha Vida, há uma restrição orçamentária; dependendo do tipo de terreno, a fundação se torna parte considerável do orçamento. Essa solução traz relevante economia da execução das estruturas de apoio.

Outra questão relevante quanto à confecção das estacas de solo-cimento, é que o solo retirado durante a escavação pode ser utilizado para própria estaca com o percentual de cimento. Quanto às porcentagens do teor de cimento em relação ao solo puro, houve um ganho efetivo de 62,85% para o teor de 6%, 75,92% para 9% e 48% para 12% de adição de cimento Portland.

A granulometria se mostrou algo de grande influência nos resultados de tensões dos corpos de prova. Apesar de ser classificado como um solo de areia, o solo continha partículas muito finas, o que faz com que a mistura do solo, cimento e água forme um tipo de argamassa, porém sem a mesma trabalhabilidade do concreto convencional. Um solo com partículas maiores faria com que essa argamassa fosse menos coesa e mais difícil de trabalhá-la.

Mesmo com essas duas variáveis, água e solo, influenciando a mistura, o fator mais importante que foi mostrado nas tabelas foi o ambiente onde a cura dos corpos de prova foi realizada. Os resultados, após os 28 dias, evidenciam essa influência, resultando em uma diferença significativa na resistência final.

Esse estudo evidencia uma tendência na engenharia, que é a busca por soluções sustentáveis, que agridam menos o meio ambiente, nesse caso utilizando material que seria descartado (solo) e poupando os que seriam utilizados (brita e areia). Novos métodos como esse mostram que construção sustentável é também viável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6457**: Preparação do Solo. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6459**: Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7180**: Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7181**: Ensaio de Granulometria. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12023**: Compactação do Solo Cimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12024**: Moldagem e Cura dos Corpos de Prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12025**: Compressão Simples. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12253**: Dosagem da Mistura. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

NEVES, C. **O uso do solo-cimento em edificações**. A experiência do CEPED. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 13 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVA, M. T. **Interação solo-estrutura de fundação em estacas de solo-cimento e concreto**. GDM/94. Brasília, DF, Brasil: Universidade de Brasília, 1994.

DIAGNÓSTICO E ANÁLISE PATOLÓGICA NOS BAIROS ALEIXO ARAÚJO E CENTRO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO (MG)¹

Tatiane Cristina Braga

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: tatianecristina2014@outlook.com

Vinícius Vieira Sousa

Engenheiro Civil; professor/orientador do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: viniciusvieiras@unipam.edu.br

RESUMO: As manifestações patológicas ocorrem devido a intempéries climáticas e a manutenções mal executadas, causando o desconforto e insegurança aos usuários. Essa pesquisa estuda as avaliações objetivas e subjetivas das vias dos bairros Aleixo Araújo e Centro da cidade de Presidente Olegário (MG). As avaliações objetiva e subjetiva apresentaram, em sua maioria, o conceito de ótimo, porém algumas vias não foram bem conceituadas e apresentaram grandes manifestações patológicas. As restaurações adequadas foram recapeamento com CBUQ e aplicação da lama asfáltica.

PALAVRAS-CHAVE: Manifestações Patológicas. Pavimento. Vias.

ABSTRACT: The pathological manifestations happen due the climatic bad weather and for maintenances badly executed, causing the discomfort and insecurity to the users. That research studies the objective and subjective evaluations of the roads of the neighborhoods Aleixo Araújo and Downtown of Presidente Olegário (MG). The objective and subjective evaluations presented in his/her majority the concept of great, however, some roads were not well considered and they presented great pathological manifestations. The appropriate restorations were resurfacing with CBUQ and application of the mud asphaltic.

KEYWORDS: Pathological manifestations. Pavement. Roads.

INTRODUÇÃO

A construção dos pavimentos teve um elevado crescimento nas últimas décadas, passando de uma quantidade de serviço que contava apenas com dezenas de quilômetros anuais de pavimentação para centenas de quilômetros por ano. (SENÇO, 2007).

O solo em seu estado natural não possui uma elevada resistência para suportar repetições de cargas oriundas do tráfego de veículos sem que haja deformações significativas, segundo Bernucci *et al.* (2008). Dessa forma, é necessário que, durante a construção das estradas, haja elemento estrutural para suportar as cargas dos

¹ Trabalho apresentado na área temática - Novas tecnologias e ferramentas para gestão empreendedora do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

veículos, distribuindo-as ao solo e aumentando a resistência da via. Esse elemento estrutural denomina-se pavimento.

O principal objetivo da pavimentação é assegurar a trafegabilidade em qualquer época do ano e proporcionar aos usuários conforto de rolamento e segurança, de acordo com Bernucci *et al.* (2008). Para garantir o fluxo de veículos nas vias em qualquer época do ano, são necessárias manutenções preventivas e corretivas nos pavimentos. Em regiões onde a circulação de veículos é maior, principalmente de veículos pesados, as condições do pavimento tendem a ser mais afetadas, comparando com locais de baixo fluxo de veículos. Dessa forma, as manifestações patológicas geralmente surgem em locais onde há um intenso volume de tráfego.

Os defeitos nos pavimentos geralmente acontecem em consequência do dimensionamento inadequado e, na grande maioria das vezes, o não dimensionamento das pavimentações. Esses defeitos são sempre indesejáveis, pois afetam o conforto, a segurança e as condições de locomoção dos usuários das vias. Por essa razão, é necessário o planejamento e o dimensionamento adequado, além de sempre executar manutenções preventivas e corretivas para a boa conservação dos pavimentos.

O controle de pavimento eficaz passa pela compreensão das manifestações patológicas existentes nas pavimentações. Assim, este trabalho justifica-se pela necessidade de um diagnóstico dos defeitos da pavimentação de uma cidade de pequeno porte, podendo servir de instrumento para manutenção e correção da pavimentação urbana.

O objetivo geral deste trabalho é realizar a avaliação quanto à funcionalidade e fazer um levantamento das manifestações patológicas em uma cidade de pequeno porte, para cada tipo de manifestações patológicas existentes.

Os objetivos específicos consistem em:

- fazer um levantamento dos tipos de manifestações patológicas dos Bairros Aleixo Araújo e Centro da cidade de Presidente Olegário (MG);
- verificar a avaliação objetiva do revestimento dos Bairros Aleixo Araújo e Centro;
- verificar a avaliação subjetiva do revestimento dos Bairros Aleixo Araújo e Centro;
- elaborar uma análise da qualidade da pavimentação dos bairros supracitados e propor soluções de intervenções.

Os levantamentos de dados e todo estudo deste trabalho será realizado nos bairros Aleixo Araújo e Centro da cidade de Presidente Olegário, situado no Alto Paranaíba.

DESENVOLVIMENTO

Relata-se que, no auge do Império Romano, foram construídas aproximadamente oitenta mil quilômetros de estradas, colaborando com o transporte do exército existente naquela época até os campos de batalha mais afastados. Além de

perfeioar as técnicas de construção, os romanos ainda procuravam o melhor acesso para o traçado das vias. Observando estabelecer rotas racionais, também preocupavam com as manutenções necessárias (BALBO, 2007).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os pavimentos são estruturas de várias camadas, sendo o revestimento a camada que deverá resistir a carga dos veículos e diretamente a ação climática. Dessa maneira, essa camada deve ser impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento, que são diversificados conforme a carga e a velocidade dos veículos.

Os pavimentos rígidos são aqueles formados essencialmente de concreto de cimento, havendo características como baixa deformação. Quando sujeitos a deformações aplicadas sobre eles, rompem-se por tração na flexão (SENÇO, 2007).

“Compreende-se por pavimento flexível aquele em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente entre as camadas”, de acordo com DNIT (2006, p. 95).

Segundo o DNIT (2006), os pavimentos semirrígidos são descritos como uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como uma camada de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica.

Os tipos de manifestações patológicas catalogadas de acordo com a norma DNIT 005/2003 são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento. Eles podem ser observados no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Manifestações patológicas e siglas dos pavimentos

Fendas	F
Afundamentos	A
Corrugações e ondulações transversais	O
Exsudação	EX
Desgaste ou desagregação	D
Panela ou buraco	P
Remendos	R

Fonte: adaptado de Bernucci *et al.*, 2008.

As fendas podem ser representadas por várias formas. São quaisquer irregularidades do pavimento que acarretam aberturas, podendo ser de menor ou maior porte. São também fissuras, trincas isoladas, longitudinais, transversais ou oblíquas e trincas interligadas que podem ser subdivididas em tipo couro de jacaré ou tipo bloco (DNIT 005/ 2003).

Os afundamentos são deformações permanentes por depressão da superfície. Classificam-se em plástico ou por consolidação. (TABORDA JUNIOR; MAGALHÃES, 2014).

Para o pavimento ter vida útil prolongada, é necessário que sejam realizadas manutenções e reparos com frequência, a fim de garantir ao usuário conforto e segurança. Para tais procedimentos, deverá ser realizada uma pesquisa das manifestações patológicas, classificando os defeitos e suas possíveis causas. Os

procedimentos de recuperação dos pavimentos são recapeamento, remendo, lama asfáltica, microrrevestimento, fresagem e reciclagem.

Este trabalho foi realizado na cidade de Presidente Olegário, situada na região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. De acordo com IBGE (2017), a população estimada de Presidente Olegário é de 19.599 habitantes. A pavimentação de Presidente Olegário foi realizada gradativamente, pois foram executadas de acordo com crescimento da cidade, ressaltando que a cidade teve início de sua atividade no seu centro. Foram escolhidos os bairros Aleixo Araújo e Centro, devido às suas características distintas: o bairro Centro é portador de um tráfego de veículos com alta intensidade e as vias principais possuem baixos índices de manifestações patológicas; o bairro Aleixo Araújo possui menor fluxo de veículos.

O diagnóstico das manifestações patológicas foi realizado visualmente e pela aferição das dimensões dos defeitos encontrados, no período de 28 de agosto de 2018 a 10 de setembro de 2018, considerando-se a proporção da extensão da via, conforme pode ser verificado no inventário na Figura 1.

Figura 1 – Inventário das manifestações patológicas

Bairros	Logradouro	Extensão da via (M)	TRINCAS(m)							Afundamento Plástico		Outros defeitos					
			Isoladas			Interligadas				4	5	6	7	8	9	10	11
			FCI(1)			FCII(2)		FCIII(3)									
			FI(m)	TT(m)	TL(m)	J(m)	TB(m)	JE(m)	FBE(m)	ALP(m)	ATP(M)	O(m)	P(m)	E(m)	EX(m)	D(m)	R(m)
CENTRO	AVENIDA ANTÔNIO ARAÚJO	1336		95	345	8	16,5			6			8			132	244,5
	PRAÇA AFONSO DE SÁ	186			43,5								2				47
	PRAÇA DA BANDEIRA	187		14	39												10
	PRAÇA DR CASTILHO	140		10													12
	PRAÇA INDEPENDÊNCIA	271		27		4											11
	PRAÇA TIRADENTES	310		23	55												9
	RUA ABÍLIO DE LELIS VIEIRA	99,5															
	RUA ANDORINHAS	123															
	RUA ANTÔNIO CAMILO	316		30	53												
	RUA BARÃO DO RIO BRANCO	443		60	120												13
	RUA BOIADEIRO	485		53	101	20							65			55	108
	RUA DO BICAME	242															
	RUA DO HOSPITAL	155			37											13,5	19
	RUA DONA GABRIELA FAGUNDES	176			59											10	
	RUA ELZA ARAÚJO	102			37,5												11
	RUA FELISBERTO FONSECA	396		62	129											12	27
	RUA ILÍDIO ARAÚJO	636		64	98											15	30
	RUA IRINEU GODINHO	764		38,2	130,6											15	36
	RUA JOSÉ FELIX	166			59,8					3,5							15
	RUA JOSÉ SECUNDINO	116		4,5													8
RUA PREF. JOÃO PINHEIRO	512		33												23	27	
RUA PREFEITO JANUÁRIO PINHEIRO	728		20	65											19,5	42	
RUA SANTA RITA	697		40	183											10	33	
RUA SEVERINO MENDES	536		60		8				5			201			32	61	
ALEIXO ARAÚJO	RUA CERRADINHO	138		8									93		9	15	
	RUA LÁZARO MOREIRA	344		23	82										39	63	
	RUA LICA GODINHO	82		3	6								7		4	8	
	RUA PREFEITO OTAVIANO DE ANTONIO	218		10												2,4	
	RUA PROF. ALFREDO BATISTA	773		22	107				5,5			8			15	23	
	RUA ANTÔNIO GENEROSO	57			11											2,6	
	RUA SANTA RITA	604		20	98,8								5		12,7	14	
	RUA ZECA PIAU	165			29										6	8	

Fonte: autoria própria, 2018.

Após a coleta de dados, foi realizada a avaliação objetiva e a subjetiva para cada bairro. Para realizar o cálculo do Índice de Gravidade Individual e Global, foi necessário obter os comprimentos totais das manifestações patológicas. Para realizar a avaliação objetiva, os cálculos foram realizados por meio de fórmulas descritas pelo

DNIT (006/2003), como:

$$* IGI = fr \times fp \quad (1) \quad * Fr = \frac{Fa \times 100}{n} \quad (2) \quad * IGG = \Sigma IGI \quad (3)$$

Fr: Frequência Relativa

Fa: Frequência Absoluta

Fp: Fator de Ponderação

Para realizar os cálculos, foi preciso obter a frequência absoluta, que se refere ao comprimento total das manifestações patológicas encontradas, todas medidas em metros. Após isso, foi possível calcular a frequência relativa, dividindo o comprimento total dos defeitos pela extensão da via e multiplicando por 100 para obter a porcentagem que cada manifestação patológica apresentada em relação à extensão total da via. Para obtenção do cálculo do Índice de Gravidade Global, foi obtido pelo somatório de todos os resultados encontrados no IGI, como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 – Avaliação objetiva dos bairros Aleixo Araújo e Centro

Bairros	RESULTADO DA AVALIAÇÃO OBJETIVA		
	VIA	IGG	CONCEITO
CENTRO	Avenida Antônio Araújo	21,13	BOM
	Praça Afonso de Sá	20,91	BOM
	Praça da Bandeira	8,88	ÓTIMO
	Praça Dr. Castilho	6,57	ÓTIMO
	Praça Independência	4,43	ÓTIMO
	Praça Tiradentes	6,77	ÓTIMO
	Rua Abílio de L Vieira	0,00	ÓTIMO
	Rua Andorinhas	0,00	ÓTIMO
	Rua Antônio Camilo	5,25	ÓTIMO
	Rua Barão do Rio Branco	9,89	ÓTIMO
	Rua Boiadeiro	38,58	REGULAR
	Rua do Bicame	0,00	ÓTIMO
	Rua Do Hospital	14,74	ÓTIMO
	Rua Dona Gabriela Fagundes	8,41	ÓTIMO
	Rua Elza Araújo	13,82	ÓTIMO
	Rua Felisberto Fonseca	14,65	ÓTIMO
	Rua Ilídio Araújo	8,63	ÓTIMO
	Rua Irineu Godinho	7,84	ÓTIMO
	Rua José Felix	12,63	ÓTIMO
	Rua José Secundino	4,91	ÓTIMO
	Rua Pref. João Pinheiro	5,80	ÓTIMO
	Rua Prefeito Januário Pinheiro	6,60	ÓTIMO
	Rua Santa Rita	9,67	ÓTIMO
Rua Severino Mendes	49,10	REGULAR	
ALEIXO ARAÚJO	Rua Cerradinho	98,77	RUIM
	Rua Lázaro Moreira	20,49	BOM
	Rua Lica Godinho	18,05	ÓTIMO
	Rua P.O de Andrade	1,58	ÓTIMO
	Rua Prof. Alfredo Batista	6,74	ÓTIMO
	Rua A. Generoso	6,6	ÓTIMO
	Rua Santa Rita	11,52	ÓTIMO
Rua Zeca Piau	7,52	ÓTIMO	

Fonte: autoria própria, 2018.

De acordo com o levantamento, a Rua Cerradinho apresentou maior número de manifestações patológicas em sua extensão, atingindo 90,58% de seu comprimento total. Foram encontradas as seguintes manifestações patológicas: trincas transversais, trincas longitudinais, desgaste, remendos e panelas (buracos). Por meio da análise visual, foi possível perceber que a via com maior incidência de manifestações patológicas não apresentou problemas estruturais, ou seja, as manifestações encontradas não afetaram as camadas de sustentação do pavimento.

Em contrapartida, a rua Otaviano de Andrade apresentou, em seu comprimento, o menor índice de manifestações patológicas, atingindo o percentual 1,15% de sua extensão total. A via mencionada apresentou apenas trincas transversais e remendos. O remendo é uma técnica de restauração dos pavimentos, porém, em buracos superficiais, ele também pode ser classificado como uma manifestação patológica, essencialmente quando é realizado de forma incorreta.

Já as ruas Rua Abílio de Lelis Vieira, Rua Andorinhas e Rua do Bicame não apresentaram manifestações patológicas, pois a pavimentação foi feita neste ano de 2018.

Foi possível verificar que as vias do bairro Centro e as do bairro Aleixo Araújo receberam o conceito de ótimo; apesar disso, alguns trechos apresentaram diversas manifestações patológicas, ou seja, receberam essa classificação porque, em grande parte de suas extensões, apresentam bom estado de conservação.

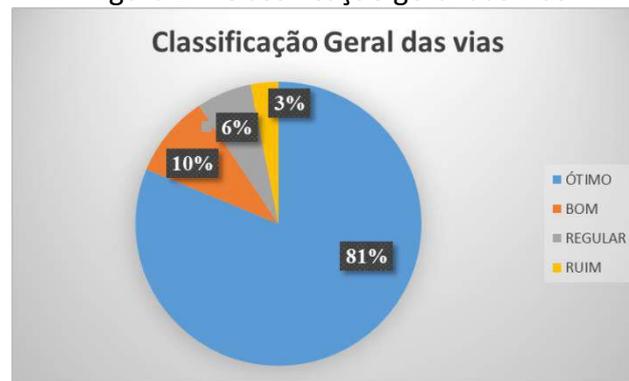
Após a realização do levantamento de dados e as análises realizadas conforme o DNIT, conclui-se que os bairros Aleixo Araújo e Centro apresentam diversas manifestações patológicas. O bairro Aleixo Araújo é um bairro mais afastado dos comércios da cidade; dessa forma, não recebe atenção adequada para que se possa realizar a recuperação da via para corrigir as pequenas manifestações existentes e evitar a propagação dessas manifestações patológicas.

Quase todas as vias apresentavam incidências patológicas como trincas longitudinais ou trincas transversais, de bloco ou jacaré. Uma solução para resolver tais problemas seria aplicação de lama asfáltica, que possui a função de selagem, evitando que o problema aumente e tenha maiores proporções.

Conforme os resultados obtidos, constata-se que ocorreu, em quatro vias, incidência das manifestações patológicas do tipo afundamento. São elas: Avenida Antônio Araújo, Rua José Félix, Rua Severino Mendes e Rua Professor Alfredo Batista. Os afundamentos encontrados nessas vias apresentaram oscilações entre 3,5 cm e 6 cm. Uma solução para esse problema seria a fresagem e a reciclagem. Assim, contribuiu-se com a preservação ambiental, pois é realizado o reaproveitamento do material triturado pela fresadora.

Por fim, pode-se concluir que a grande maioria das vias avaliadas teve classificação de bom estado de conservação na avaliação objetiva, como pode ser verificado na Figura 2, sendo as vias com maior fluxo conceituadas de ótimas e as ruas das extremidades dos bairros analisados encontram em regular ou péssimo.

Figura 2 – Classificação geral das vias



Fonte: autoria própria, 2018.

Na Figura 2, pode-se verificar a classificação total das vias dos bairros em estudos quanto às classificações realizadas após os cálculos dos IGI e IGG.

Para realizar a avaliação subjetiva e valor de serventia atual, foram escolhidas dez vias de ambos os bairros em estudo. Uma equipe composta por cinco engenheiros da cidade de Presidente Olegário percorreu essas vias escolhidas; cada um deles deveria atribuir a nota de 0,00 a 5,00, classificando os pavimentos de “péssimo” a “ótimo”. O grupo analisou a capacidade de o pavimento atender às exigências do tráfego, quanto à suavidade e ao conforto do usuário da via.

Somente após a análise de todas as notas atribuídas, foi possível calcular o valor de serventia atual. Foi realizado o somatório das notas de cada via e dividido pelo número de avaliadores. No Quadro 3, é possível verificar o valor de serventia atual e o conceito de cada via.

Quadro 3 – Valor serventia atual

VALOR DE SERVENTIA ATUAL (VSA)		
VIA	VALOR DE SERVENTIA ATUAL	CONCEITO
Avenida Antônio Araújo	2,06	Regular
Rua Barão Do Rio Branco	3,9	Bom
Rua Cerradinho	0,8	Péssimo
Rua Elza Araújo	4,0	Ótimo
Rua Felisberto Fonseca	3,9	Bom
Rua José Felix	3,0	Bom
Rua José Secundino	4,06	Ótimo
Rua Lázaro Moreira	2,64	Regular
Rua Lica Godinho	3,22	Bom
Rua Zeca Piau	2,50	Regular

Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com resultados da avaliação subjetiva, a Rua José Secundino obteve o maior valor de serventia atual, 4,06, sendo conceituada de ótimo; a Rua Elza Araújo também recebeu conceito de ótimo. Isso demonstra que o pavimento dessas vias apresenta uma boa capacidade de tráfego, colaborando para o conforto do usuário.

As ruas Barão do Rio Branco, Felisberto Fonseca, Lica Godinho e José Felix foram conceituadas de bom. As vias que recebem esse conceito possuem uma boa capacidade de tráfego, entretanto apresentam, em pequenos trechos em seu comprimento, uma capacidade de conforto ao usuário inferior ao que a norma classifica.

A Avenida Antônio Araújo e as ruas Zeca Piau e Lázaro Moreira receberam o conceito de regular. Grande parte de suas extensões não atende ao conforto do usuário. Mesmo assim, possuem pequenos trechos com uma boa capacidade de tráfego.

A Rua Cerradinho teve conceito péssimo e menor valor de serventia atual, indicando que o pavimento dessa via não possui nenhuma capacidade para atender ao conforto do usuário.

Pode-se concluir que, durante as avaliações objetiva e subjetiva, os bairros em estudo apresentaram, em grande parte de suas extensões, conforto quanto à trafegabilidade do usuário, mesmo que algumas vias apresentassem grandes manifestações patológicas. Dessa forma, é recomendável realizar a recuperação das vias afetadas para que se possa garantir a qualidade da trafegabilidade dos usuários.

CONCLUSÃO

Após os levantamentos realizados em campo, foi possível verificar todas as manifestações patológicas presentes nas vias de estudo e, dessa forma, efetuar uma análise para circunstância apresentada. Após a coleta dos dados e sua análise, os resultados proporcionaram a realização da avaliação objetiva e subjetiva do pavimento.

De acordo com estudo realizado, foi possível perceber que grande maioria das vias apresentou ocorrências de manifestações patológicas, outras tiveram alguns trechos danificados, portanto, ao longo de sua extensão total, foi possível perceber um bom estado de conservação. Ainda foi possível identificar vias que não apresentaram manifestações patológicas.

Conforme os estudos realizados, foi possível concluir que as manifestações patológicas que mais se fizeram presentes nos dois bairros, Aleixo Araújo e Centro, foram remendos. A restauração realizada a fim de corrigir tal manifestação foi apenas o preenchimento da panela, em que se deveria fazer um corte de 90º e preenchido com CBUQ. Conforme o DNIT (2003a), o procedimento visualizado em campo não foi executado de acordo com a norma, conseqüentemente cria irregularidades na superfície do pavimento, causando assim manifestações patológicas.

De acordo com levantamentos obtidos, foi possível verificar que as manifestações patológicas que também tiveram grande frequência foram desgaste, trincas, sendo elas longitudinais e transversais. As que apresentaram menor frequência foram afundamento local.

Segundo os resultados obtidos através da análise visual, foi possível concluir que a rua Cerradinho apresentou elevadas incidências patológicas, como panelas (buracos) superficiais e trincas. Essa via apresentou um índice de manifestações patológicas 90,58% de sua extensão total. Para realizar a restauração dos trechos que

apresentaram tais manifestações patológicas, deve ser executada a técnica de recuperação recapeamento com CBUQ por se tratar de manifestações superficiais, resolvendo assim os problemas encontrados para recuperação da via e evitando a propagação de tais manifestações.

Diante dos resultados obtidos pela avaliação objetiva, é possível afirmar que 79% das vias analisadas foram conceituadas de ótima. Tais vias apresentam um bom resultado de conservação do pavimento, mesmo que, em alguns trechos, haja manifestações presentes.

Através da avaliação subjetiva do pavimento, os resultados mostram que as vias foram conceituadas em situação boa ou ótima, porém, a Rua Cerradinho não proporciona conforto e segurança para a trafegabilidade do usuário.

Contudo, para que o pavimento tenha uma vida útil prolongada, faz-se necessária a excelente execução das camadas de sustentação desse pavimento, com materiais adequados. Dessa forma, a via terá melhor qualidade e durabilidade. Mas é muito importante lembrar que, ao longo da vida útil da pavimentação, podem ocorrer manifestações patológicas. Sendo assim, para melhor conservação das vias, é necessário um bom planejamento e controle para que as incidências não se propaguem.

Através do monitoramento das vias, é possível analisar as áreas mais críticas e assim realizar a correção das manifestações no início, pois, quanto antes é feita a restauração das vias, as camadas de sustentação não serão afetadas. Dessa forma, é primordial aplicar manutenções preventivas, visto que as manifestações patológicas podem apresentar e demandar a necessidade de execução de intervenções corretivas, sendo que o pavimento estará mais deteriorado e ficarão mais onerosos. As manutenções e prevenções adequadas apontam o objetivo de aperfeiçoar a qualidade do pavimento e implicam melhor trafegabilidade, conforto e segurança aos usuários das vias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES DE OBRAS PÚBLICAS-AGETOP. **Manual de pavimentação urbana**. Goiás, 2016. 60 p. Acesso em: 15 mar. 2018.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2008.

IBGE. **Brasil / Minas Gerais / Presidente Olegário**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/presidente-olegario/panorama>. Acesso em: 15 abr. 2018.

BROCHADO, Matheus Matos Lepesqueur. **Estudo da viabilidade do asfalto pré-misturado a frio em rodovias de médio e baixo tráfego**. 2014. 57 f. (Trabalho de

Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em:
<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6383/1/20968850.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. DNIT 005/2003a – **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12 p.

_____. DNIT 006/2003b - **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. DNIT 009/2003c - **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Manual de Pavimentação**. 3. ed., Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Pavimentos flexíveis** - Pré-misturado a frio - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **Pavimentos flexíveis** - Tratamento superficial duplo - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **Pavimentos flexíveis** - Macadame betuminoso de penetração superior - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009c.

_____. **Pavimentos flexíveis** - Lama asfáltica - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009d.

DOMINGUES, F. A. A. **MID – Manual para identificação de defeitos de revestimentos asfáltico de pavimentos**. São Paulo: [s.n], 1993. Acesso em: 15 mar. 2018.

MAIA, Iva Marlene Cardoso. **Caraterização de manifestações patológicas s em pavimentos rodoviários**. 2012. 77 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em:
<https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/68091/1/000154859.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Pavimentação**. Disponível em:
<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2018.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.

MOTA, Gabriel Luan Paixão. Diagnóstico e procedimento de recuperação das manifestações patológicas s apresentadas na pavimentação asfáltica de Palmas (TO).

Revista Integralização Universitária. Palmas/TO, n. 15, p. 14, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/64-129-1-SM.pdf>. Acesso em: 10 março 2018.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo: Copyright Editora Pini Ltda, 2007.

ROCHA, Robson Soares da. **Manifestações patológicas de pavimentos asfálticos e suas recuperações:** estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar. 2010. 24f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2010. Disponível em: [http://www.academia.edu/29402465/MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS S_DE_PAVIMENTOS_ASF%C3%81LTI_COS_E_SUAS_RECUPERA%C3%87%C3%95ES_ESTUDO_DE_CASO_DA_AVENIDA_PINTO_DE_AGUIAR](http://www.academia.edu/29402465/MANIFESTAÇÕES_PATOLÓGICAS_S_DE_PAVIMENTOS_ASF%C3%81LTI_COS_E_SUAS_RECUPERA%C3%87%C3%95ES_ESTUDO_DE_CASO_DA_AVENIDA_PINTO_DE_AGUIAR). Acesso em: 02 abr. 2018.

SOUZA, Maurício José de. **Manifestações patológicas em pavimentos flexíveis.** 2004. 63 f. (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004. Disponível em: [https://engucm.files.wordpress.com/2016/04/manifestações patológicas -pavimentos-flexível.pdf](https://engucm.files.wordpress.com/2016/04/manifestações_patológicas_pavimentos_flexível.pdf). Acesso em: 14 abr. 2018.

TABORDA JÚNIOR, Edmar Pereira; MAGALHÃES, Sérgio Luís M. Pavimentação em Vias Públicas: Análise do Estado do Pavimento da Avenida Coronel Escolástico em Cuiabá – MT. **Revista E&S - Engineering and Science**, v. 01, ed. 01, p. 01-20, 2014. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/1606>. Acesso em: 08 abr. 2018.

YOSHIZANE, Hiroshi Paulo. **Defeitos, manutenção e reabilitação de pavimento asfáltico.** Universidade Estadual de Campinas, Centro Superior de Educação Tecnológica - CESET, Limeira, 2005. Acesso em: 22 mar. 2018.

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO E CERÂMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO¹

Frederico Nunes de Castro

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: fredericoncastro@yahoo.com.br

Jaqueline Aparecida Silveira

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: jaquelinesilveira.ma@hotmail.com

Sheilla Pereira Vieira

Professora do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: sheilapv@unipam.edu.br

RESUMO: A construção civil é um dos principais setores que mais contribuem para a geração de resíduos no planeta. Por isso, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica dos blocos produzidos através dos resíduos cerâmicos e de concreto, comparando-os com blocos convencionais, dentro dos parâmetros da ABNT NBR 6136 (2014). As amostras obtiveram valores de resistência acima do recomendado pela norma e conclui-se então que os resíduos possuem viabilidade técnica na aplicação de blocos.

PALAVRAS-CHAVE: Blocos. Resíduos. Viabilidade.

ABSTRACT: Civil construction is one of the main sectors that contribute most to the generation of waste on the planet. Therefore, the objective of this work is to analyze the technical viability of the blocks produced through the ceramic and concrete residues, comparing them with conventional blocks, within ABNT NBR 6136 (2014) parameters. The samples obtained values of resistance above the standard recommended and it is concluded that the residues have technical viability in the application of blocks.

KEYWORDS: Blocks; Waste; Viability.

INTRODUÇÃO

A busca incessante por soluções que estejam diretamente ligadas à redução de desperdícios na construção civil é de suma importância para o desenvolvimento tecnológico e para o contexto atual em que se vive. “Estima-se que ente 40% e 75% das matérias-primas extraídas da natureza são transformados em materiais de

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 – Cenar Smart Cities do V Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

construção.” (ISAIA *et al.*, 2000, p. 98).

O cimento Portland é o principal componente do concreto. É o produto obtido pela desagregação de clínquer constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa quantidade de sulfato de cálcio natural. Já as cerâmicas são obtidas a partir de uma massa à base de argila, sujeita a um processo de secagem lenta e elevada a altas temperaturas.

A partir do cimento é feito vários materiais utilizados na construção como os blocos, que, de acordo com a ABNT NBR 6136 (2014), bloco vazado de concreto simples é um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior. Já os blocos cerâmicos geralmente são moldados à mão ou em máquinas em fôrmas de madeira; é um tipo de material mais antigo e ambientalmente durável para a engenharia e, segundo a ABNT NBR 15270 (2005), o bloco cerâmico de vedação é um componente que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Ambos os materiais possuem processo de fabricação e propriedades físicas e químicas distintas, porém existem as ABNTs competentes para a aplicação devida e com qualidade.

O objetivo geral do presente trabalho teve o intuito de analisar a viabilidade técnica dos blocos produzidos através dos resíduos. Os objetivos específicos foram produzir quatro tipos distintos de blocos: concreto puro, cerâmico puro, concreto e cerâmico ambos com 50% cada. Foram analisadas as propriedades mecânicas e os aspectos físicos dos blocos produzidos através dos resíduos da construção civil. Foram comparadas suas características mecânicas e físicas com blocos produzidos convencionalmente.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

IMPORTÂNCIA E HISTÓRIA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

“Embora em primeiro momento pareça desnecessário falar ao futuro Engenheiro sobre a importância da disciplina Materiais de Construção, o que se observa é que o estudante dela se descuida a fim de dedicar mais tempo às cadeiras mais difíceis.” (BAUER, 2015a, p. 1).

As matérias de cunho dedutivo são importantíssimas, mas não se pode deixar de lado disciplinas que agregam propriedades, limitações, vantagens e utilização. Em uma viga não é somente necessário o cálculo estrutural, mas também a dosagem do concreto para o resultado de sua resistência, e o preparo durante toda a obra (BAUER, 2015a).

CIMENTO PORTLAND X MATERIAIS CERÂMICOS

O cimento Portland foi patenteado por Joseph Aspdin em 1824. Suas propriedades aglomerantes à base de rocha calcária, argila e gesso, elevadas a altas temperaturas, transformam-se no clínquer, que, após o processo de moagem, resulta em um pó fino que endurece sob a ação da água (BAUER, 2015a). O cimento está em quase tudo ao nosso redor; onde há desenvolvimento ele está presente. Sua

aplicabilidade é diversa, tornando um elemento com alto valor econômico.

Já a indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo. De acordo com Isaia (2010, p. 565), “no período neolítico (entre 1.2000 e 4.000 a.C), a necessidade de armazenar alimentos levou o homem à criação de componentes de barros secos naturalmente e posteriormente, à fabricação de cerâmicas cozidas”. As cerâmicas são obtidas a partir de uma pasta à base de argila, feita sob um processo de secagem lenta e, em seguida, cozida em temperaturas elevadas.

Um dos critérios mais utilizados para classificação das cerâmicas é a sua cor, que pode ser branca ou vermelha.

AGREGADOS

O agregado na construção civil, de acordo com sua particularidade, pode ser chamado de pedra britada, bica-corrida, rachão, etc. Conforme Bauer (2015a), os agregados se classificam de acordo com a sua origem, dimensões das partículas e peso específico aparente. Podem ser, na sua origem, classificados como naturais e industrializados.

GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Nota-se que o setor da construção civil é um grande gerador de resíduos. “Somente os resíduos das atividades de construção e demolição são gerados em quantidade típica de 500kg/hab. ano, valor estimado no final de 1990 quando o nível de atividade da construção era significativamente menor.” (AGOPYAN, JOHN, 2011, p. 74). Porém, uma quantidade significativa desses resíduos é recolhida por empresas privadas com propósito de comercializar o material processado. “Mas, segundo a Abrelpe, em 2010 foram recolhidos 31 milhões de toneladas, 1/3 do total, fração que, em geral, havia sido lançada irregularmente em logradouros públicos [...]” (ABRELPE *apud* AGOPYAN, JOHN, 2011, p. 74).

BLOCOS DE CONCRETO

De acordo com Fernandes (2015, p. 21) “os blocos podem ser produzidos em equipamentos manuais, pneumáticos ou hidráulicos, por meio de vibro compactação e extrusão imediata, de uma mistura homogênea de cimento, areia, pó de pedra, pedrisco, água e aditivos [...]”.

Apesar de existir o produto informal no mercado, é importante salientar que o bloco normatizado com dimensões e formatos padronizados tem maior rendimento, tornando o custo inferior. De acordo com a ABNT NBR 6136 (2014), os blocos se classificam em bloco vazado de concreto simples, bloco tipo canaleta e bloco compensador. O primeiro é utilizado para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado na face superior e inferior; já os blocos tipo canaleta foram criados para racionalizar a execução de vergas e contravergas e cintas. Por último, o bloco compensador é destinado para ajuste de modulação. A ABNT NBR 6136 (2014) preconiza requisitos físico-mecânicos e estes devem obter limites de resistência,

absorção, retração linear e resistência característica.

BLOCOS CERÂMICOS

Conforme Bauer (2015b, p. 526), “chama-se cerâmica à pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozedura de argilas ou de misturas contendo argilas”. O bloco cerâmico é utilizado para a confecção de paredes divisórias internas e externas que necessitam apenas de suportar seu peso próprio, ou seja, não tem fins estruturais.

O bloco cerâmico é também chamado de tijolo baiano em algumas regiões do Brasil, sua matéria-prima é o barro e possui uma linha de produção bem definida, uma vez que a variedade de matrizes que existem no mercado é bem vasta. É possível encontrar variações quanto à textura de suas faces, na quantidade e tipo de furo, espessura e etc. (BAUER, 2015b).

METODOLOGIA

Todo o processo de desenvolvimento do experimento de utilização de resíduos da construção civil na fabricação de blocos de vedação foi subdividido em diversas etapas, assim facilitando o entendimento e desenvolvimento do projeto em questão.

Os materiais reciclados utilizados foram fornecidos pelas empresas, apresentadas com nomes fictícios: *Concreto Patos de Minas* forneceu o resíduo de concreto, e a *Cerâmica Patos de Minas* forneceu o resíduo de tijolo cerâmico. Os agregados naturais foram cedidos pela empresa *Bloco Patos de Minas*, onde também foram confeccionados os blocos.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA, MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS

Inicialmente todo o processo de caracterização, peneiramento e análise granulométrica dos agregados foram realizados no Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais e Construção, do Centro Universitário Patos de Minas (UNIPAM), e baseados na ABNT NBR 7211 (2009), ABNT NBR NM 248 (2003) e ABNT NBR NM 27 (2001), com o objetivo de determinar qual diâmetro os resíduos cerâmicos e concretos deveriam ser britados.

Com base nos resultados obtidos e nas normas, pode-se determinar que a brita 0 é um agregado graúdo, e a areia média é um agregado miúdo, sendo assim pode-se determinar qual diâmetro que os resíduos de materiais cerâmico e concreto devem ter. Seguidamente foram britados no britador do Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais e Construção, do Centro Universitário Patos de Minas (UNIPAM), com diâmetros a partir dessa análise granulométrica.

Depois de processado no britador, o material passou por um processo de peneiramento manual, em que foram utilizadas as peneiras 12,5 mm e 4,75 mm, para a separação do agregado graúdo (material passante pela peneira 12,5mm e retido pela peneira 4,75mm) e miúdo (material passante pela peneira 4,75mm), ambos foram separados em recipientes diferentes.

O próximo passo foi determinar a massa específica e absorção de água dos

agregados miúdos e graúdos. Para encontrar os resultados da massa específica dos agregados miúdos utilizou-se a fórmula determinada pela norma rodoviária DNER – ME 194 (1998), enquanto a massa específica e absorção de água dos agregados graúdos os ensaios foram realizados como determina a norma ABNT NBR NM 53 (2009).

Seguindo os procedimentos, a próxima etapa foi determinar a massa unitária e volume de vazios dos agregados, seguindo os parâmetros de determinação da norma ABNT NBR NM 45 (2006).

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

A determinação do traço a ser utilizado no experimento deverá atender os índices de resistência exigidos pelas normas ABNT NBR 6136 (2014) e ABNT NBR 12118 (2013). Uma das alternativas para se determinar o traço a ser utilizado seria através do método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Contudo, o traço adotado para o experimento foi o mesmo traço utilizado pela empresa Bloco Patos de Minas (nome fictício) no seu processo de fabricação de blocos, um traço mais seco do estilo “farofa”, porém a mesma se baseia nos parâmetros exigidos pelas normas e atende os requisitos de resistência de seus produtos no mercado.

PROCESSO PRODUTIVO

Para o desenvolvimento do projeto, foram confeccionadas 52 amostras de blocos de vedação, baseado nos parâmetros da ABNT NBR 6136 (2014). Todas as amostras foram confeccionadas de maneira mecanizada na empresa Bloco Patos de Minas, baseando-se no seu nos parâmetros exigidos da mesma norma. No processo de fabricação dos blocos, foram utilizados os agregados naturais da própria empresa e os resíduos já britados no laboratório.

Foram confeccionados quatro tipos distintos de blocos respectivamente com um total de 52 amostras: 13 amostras de blocos convencionais com agregados naturais, 13 amostras de blocos com resíduos de concreto, 13 amostras de blocos com resíduo cerâmico e 13 amostras de blocos de resíduos cerâmicos misturado com resíduo de concreto.

Ressalta-se que os dois tipos de resíduos foram britados em dimensões distintas e foram inseridos tanto no traço agregado miúdo quanto no traço agregado graúdo. Todas as amostras executadas foram realizadas nas dimensões 39cmx19cmx19cm, como preconiza a ABNT NBR 6136 (2014).

Após o processo de produção, os blocos foram armazenados no pátio da empresa por 3 dias, depois transportados até o pátio coberto do Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais e Construção, do Centro Universitário Patos de Minas (UNIPAM) para concluir o período de 28 dias de cura, realizado através molhagem manual diariamente.

Das 52 amostras, conforme determina a Tabela 4 da ABNT NBR 6136 (2014), 24 unidades foram submetidas ao teste de resistência à compressão axial na prensa universal do mesmo Laboratório de Análises Tecnológicas e 12 corpos de prova

destinados aos ensaios de absorção e área líquida.

TESTE DE LABORATÓRIO

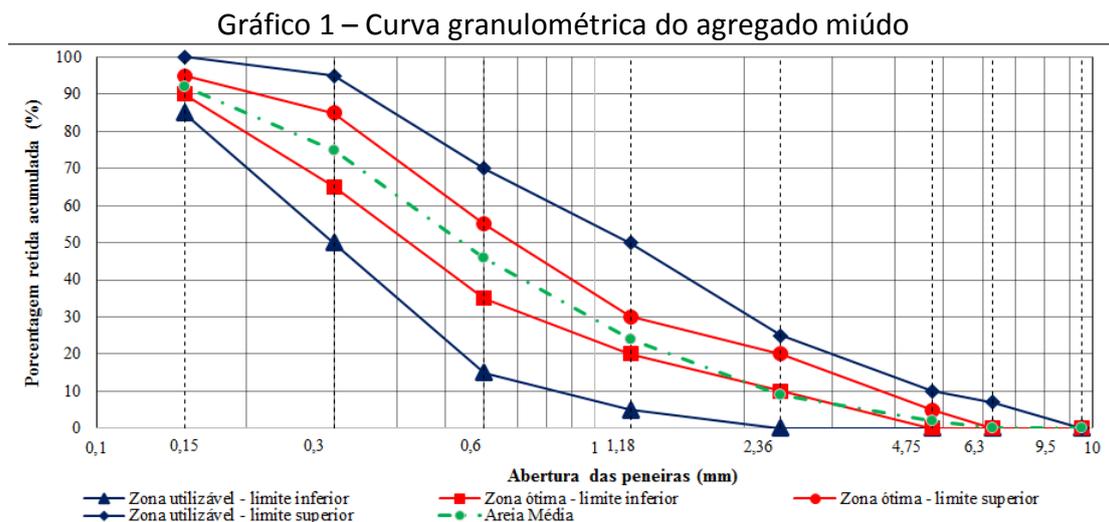
Após o processo de cura dos blocos, por um período de 28 dias, iniciaram-se os testes laboratoriais, sendo realizado primeiramente o ensaio de absorção e área líquida seguidamente, de análise dimensional e resistência à compressão axial seguindo os parâmetros determinados na ABNT NBR 12118 (2013). Essa norma demonstra todos os processos necessários de preparação dos corpos de prova para realização dos testes, os critérios de secagem e armazenamento, aparelhagem e cálculos necessários para obtenção dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado anteriormente, com todos os resultados obtidos foram elaborados os diagramas da curva granulométrica dos agregados miúdos e graúdos, quadros dos resultados de absorção de água e área líquida dos agregados e dos blocos já confeccionados, juntamente com quadros de resistência de compressão axial e análise dimensional dos blocos, a partir dos resultados encontrados, analisaram-se estes quanto ao seu enquadramento mínimo exigido pelas normas.

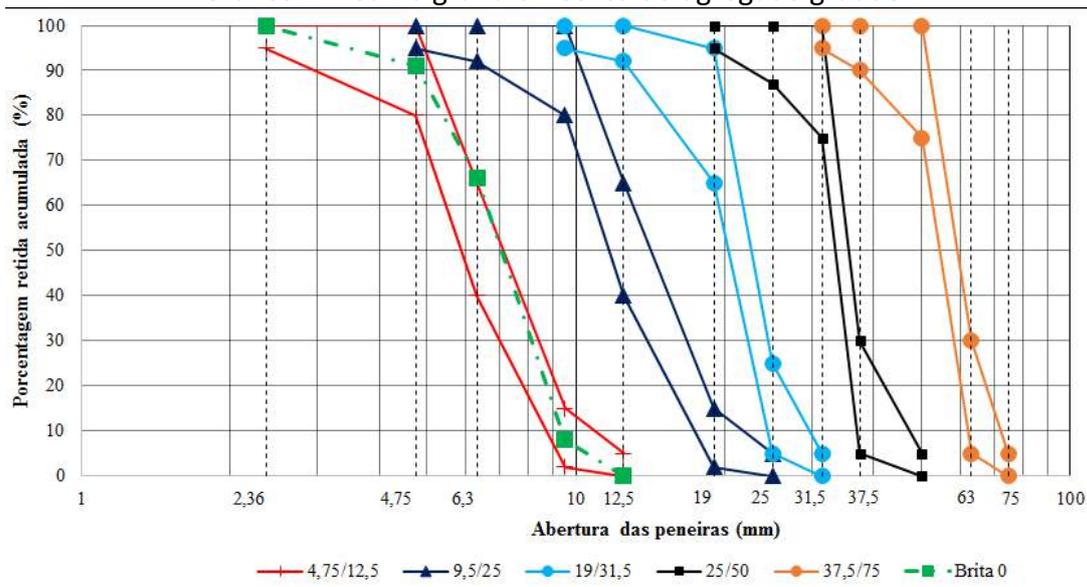
CONSTRUÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS

De acordo com a metodologia aplicada, a análise granulométrica dos materiais miúdos e graúdos foi executada, elaborando assim a curva granulométrica demonstrada nos Gráficos 1 e 2. O diâmetro máximo do agregado miúdo e graúdo foi de 4,75 e 12,5 mm, respectivamente.



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como demonstrado no Gráfico 1, a linha de representação na cor verde do agregado miúdo (areia média) encontra-se entre a zona ótima de limite inferior e a zona ótima de limite superior, resultado que atende os limites estabelecidos pela tabela 2 da norma ABNT NBR 7211 (2009), tornando a amostra analisada como agregado miúdo para concreto. No Gráfico 2, a linha de representação na cor verde do agregado graúdo (brita 0) encontra-se entre os diâmetros 4,75 a 12,5mm, resultado que atende os limites indicados pela tabela 6 da mesma norma, tornando a amostra analisada como agregado graúdo.

MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS

De acordo com a DNER–ME 194 (1998), a massa específica é a massa do agregado incluindo os poros existentes, por unidade de volume. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), rochas como granito, calcário e principalmente o arenito, que é a rocha responsável pela extração da areia, possuem massa específica em média de 2650 kg/m³. Os resultados encontrados do agregado miúdo foram 2,59 cm/m³, ou seja, 2590 kg/m³. Portanto, os resultados encontrados são satisfatórios e com características ideais.

Quanto à determinação da massa específica dos agregados graúdos, eles foram realizados seguindo os parâmetros exigidos pela norma ABNT NM 53 (2009), conforme Figura 1. O Quadro 1 mostra os resultados obtidos do procedimento realizado das duas amostras para casa tipo de material, brita 0, resíduo cerâmico e resíduo de concreto.

Figura 1 – Massa específica do agregado saturado superfície seca



Fonte: arquivos dos pesquisadores, 2018.

Quadro 1 – Determinação da massa específica de agregados graúdos

Material	“d” – massa específica do agregado seco (g/cm ³)	“ds” – massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm ³)	“da” – massa específica aparente (g/cm ³)
Brita 0 Amostra 1	2,724	2,699	2,684
Brita 0 Amostra 2	2,770	2,744	2,729
Res. Cerâmico 1	2,580	1,992	1,620
Res. Cerâmico 2	2,787	2,087	1,695
Res. Concreto 1	2,559	2,332	2,186
Res. Concreto 2	2,533	2,314	2,171

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Quanto aos resultados de absorção de água, foram realizados conforme ABNT NBR NM 53(2009); o quantitativo foi determinado em porcentagem, conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 – Resultado de absorção de água dos agregados

Material	Absorção de água
Brita Amostra 1	0,55%
Brita Amostra 2	0,55%
Res. Cerâmico 1	22,98%
Res. Cerâmico 2	23,13%
Res. Concreto 1	6,67%
Res. Concreto 2	6,59%

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Observou-se que os índices de absorção encontrados foram significativamente maiores nos resíduos cerâmicos; de acordo com Mehta e Monteiro (2014), a absorção de água é totalmente ligada às características de porosidade.

Agregados naturais, como o da brita, são mais densos e menos porosos em comparação aos resíduos, pois se trata de materiais que já foram utilizados para outra finalidade, e no seu processamento se criou um índice de porosidade consideravelmente maior aos índices de porosidade dos agregados naturais. Esses

resultados são de fundamental importância para a determinação do traço, pois, por meio dele, pode-se determinar o quanto de água deverá ser acrescentada no traço devido à absorção dos materiais.

RESULTADOS MASSA UNITÁRIA E VOLUME DE VAZIOS

A massa unitária aproximada dos agregados comumente utilizada difere em torno de 1300 a 1750 Kg/m³ (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Os resultados mostrados seguem o parâmetro do autor que ficam em média de 1617 kg/m³ para o método A, e 1497,6 Kg/m³ para o método B, tornando as amostras aceitáveis.

Um fator importante que a norma ABNT NBR NM 45 (2006) destaca sobre a determinação da massa unitária é que o resultado individual de cada ensaio não deve apresentar desvio maior de 1% em relação à média, fator este atendido no procedimento.

O volume de vazios encontrados para o agregado natural se encontra dentro das expectativas esperadas nos ensaios laboratoriais e pela norma ABNT NBR NM 45 (2006). Quanto aos resíduos, apresentam valores aproximadamente próximos, porém não reais, pois, para a análise de volume de vazios de ambos, foram utilizados os valores obtidos da massa unitária do agregado graúdo, devido ao diagrama da análise granulométrica dos resíduos não se assemelhar aos do agregado natural, o qual é a principal fonte de comparação. Contudo, através dos resultados da análise de absorção dos resíduos, pode-se verificar a diferença de água a ser utilizada para o preparo do traço.

ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÁREA LÍQUIDA DOS BLOCOS

De acordo com a metodologia aplicada, os resultados encontrados de absorção do lote de 3 amostras para cada tipo de material encontram-se no quadro a seguir.

Quadro 3 – Resultado de absorção das amostras de blocos

Absorção	Resíduo Cerâmico (%)	Resíduo Misto (%)	Resíduo Concreto (%)	Natural (%)
Amostra 1	34,58	12,80	10,45	5,58
Amostra 2	16,39	13,82	10,89	5,66
Amostra 3	13,76	13,03	10,26	8,48
Média	21,58	13,22	10,53	6,58

Fonte: dados da pesquisa, 2008.

Com base nos dados descritos, observou-se que o índice de absorção médio das amostras de resíduo de concreto e agregados natural está abaixo do limite de absorção. Os resultados foram respectivamente 10,53 % e 6,58%, o valor recomendado e ideal pela norma é ≤ 12 %. Já as amostras de resíduo cerâmico e misto mostraram resultados acima de 21,58 % e 13,22%, assim não atendendo este requisito.

A diferença entre porcentagem de absorção de água dos materiais se dá pelo índice de porosidade entre eles; agregados naturais tendem ser mais densos

consumindo assim menos água. Segundo Mehta e Monteiro (2014), agregados de concreto reciclados possuem maior taxa de absorção de água, podendo chegar até 50%, como mostrou os resultados.

Já a área líquida é a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontando as áreas dos vazios, determinada no Quadro 4, de acordo com a norma ABNT NBR 12118 (2013).

Quadro 4 – Resultados da área líquida das amostras de blocos

Área líquida	Resíduo Cerâmico (mm)	Resíduo Misto (mm)	Resíduo Concreto (mm)	Natural (mm)
Amostra 1	15077,52	6794,37	6248,35	3679,26
Amostra 2	9053,12	6857,29	6292,07	3619,54
Amostra 3	6657,87	6955,41	6108,64	5162,70
Média	10262,84	6869,02	6216,35	4153,83

Fonte: dados da pesquisa, 2008.

A média dos resultados encontrados variou de 4153,83 mm² para agregados naturais e 10262,84 mm² para resíduos cerâmicos. As características variáveis do tipo de material interferem nos resultados obtidos.

Análise dimensional e ensaio de resistência à compressão axial dos blocos

A análise dimensional foi realizada conforme a ABNT NBR 12118 (2013). A família empregada dos blocos foi 20x40, conforme tabela 1 da norma ABNT NBR 6136 (2014). As dimensões de septos, paredes externas, comprimento, largura e altura foram aferidas e se mostraram satisfatórias, conforme figura 2.

Figura 2 – Análise dimensional dos blocos



Fonte: arquivos dos pesquisadores, 2018.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado na prensa universal, modelo Emic DL 20000, conforme Figura 3, determinando os resultados no Quadro 5 das amostras.

Figura 3 – Teste de resistência à compressão axial



Fonte: arquivo dos pesquisadores, 2018.

Quadro 5 – Resultado do ensaio de resistência

Ensaio de compressão		Resíduo Concreto	Resíduo Cerâmico	Cerâmico x Concreto	Agregados Naturais
Corpo de Prova	Taxa de Tensão (MPa/s)	Tensão Força Máxima (MPa)			
1	0,5	2,388	2,016	1,833	2,799
2	0,5	1,442	1,291	1,523	4,074
3	0,5	1,427	2,160	1,577	5,172
4	0,5	1,979	2,045	2,478	2,832
5	0,5	2,991	0,991	2,065	4,305
6	0,5	2,196	1,188	2,316	5,572
Média		2,070	1,615	1,965	4,125

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A fórmula descrita na metodologia de acordo com a ABNT NBR 6136 (2014) foi aplicada, determinando a resistência característica à compressão de cada bloco, Quadro 6.

Quadro 6 – Resultados de resistência característica (fbk est)

Resistência Característica à compressão	Fbk (est) (MPa)
Resíduo Concreto	6,44
Resíduo Cerâmico	6,54
Cerâmico x Concreto	6,95
Agregados Naturais	13,61

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com Hibbeler, (2010, p.57) “a resistência de um material depende de sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura”.

Com os resultados obtidos do fbk (est), estão dentro dos limites mínimos exigidos por norma. De acordo com a tabela 3 da ABNT NBR 6136 (2014), citada anteriormente, o mínimo recomendado é ≥ 3 MPa.

Vários fatores podem contribuir para a interferência à resistência à compressão, conforme Mehta e Monteiro (2014); a porosidade e a relação água-

cimento são as principais causas que diminuem a resistência. Nas amostras utilizadas de resíduos cerâmicos e de concreto, devido à alta porosidade e à porcentagem de água, conforme demonstrado na metodologia, a resistência foi 95% menor do que a das amostras de agregados naturais, não descartando a possível utilização dos mesmos na fabricação dos blocos.

A porcentagem de água acrescida no processo de fabricação dos blocos foi principalmente para compensar a absorção dos resíduos em especial ao resíduo cerâmico e proporcionar a trabalhabilidade de moldagem dos blocos. Devido ao tipo de absorção de água dos resíduos cerâmicos e de concreto, no momento de mistura de seus traços, houve a necessidade acrescentar 6,63% (1 litro) de água no traço com resíduo de concreto, 23,11% (3,7 litros) de água no traço com resíduo cerâmico e 29,74% (4,7 litros) de água no traço de resíduo de concreto com resíduo cerâmico. Porém, no momento da mistura dos traços de resíduo cerâmico e misto, houve a necessidade de acrescentar mais 14,4% (2,3 litros) de água para o traço de resíduo cerâmico e 20,27% (3,3 litros) de água para o traço misto, acréscimos estes necessários para compensar a trabalhabilidade da mistura vista a olho nu no ato de mistura do concreto.

O acréscimo de água, além de ser essencial para o traço, faz com que a relação água-cimento seja alterada; como consequência desse fato, a resistência dos blocos é diminuída no seu estágio final. Contudo, mesmo com essas alterações, os blocos atenderam os requisitos mínimos da ABNT NBR 6136 (2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função dos ensaios laboratoriais realizados e da fabricação dos blocos, pode-se avaliar o índice de absorção das amostras de concreto e cerâmicas, ambos apresentaram o índice de absorção de água bem acima do que os agregados naturais.

Os requisitos físicos, como a análise dimensional, atenderam a ABNT NBR 6136 (2014), com as amostras utilizadas, portanto a análise foi satisfatória. Porém, algumas amostragens, por constatação visual, não estavam em conformidade devido a superfícies irregulares.

De acordo com os valores de resistência à compressão de cada amostragem, percebe-se que os blocos com agregados de resíduos obtiveram uma resistência média de 6,64 Mpa, ainda sim consideravelmente menor que dos agregados naturais, porém os agregados reciclados atenderam os requisitos mínimos preconizados na ABNT NBR 6136 (2014).

Esta pesquisa possui cunho técnico para aplicação ou substituição de resíduos em materiais na construção civil. Conclui-se, então, que os resíduos de concreto e de materiais cerâmicos possuem viabilidade técnica e sustentável na aplicação de blocos com fins não estruturais, desde que não altere o traço e os materiais utilizados no processo de fabricação.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley. **O desafio da sustentabilidade na construção**

civil. Serie. São Paulo: Blucher, 2011. 5 v. (Série Sustentabilidade).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **ABNT. NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT. NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT. NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ABNT. NBR NM 27**: Agregados: Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **ABNT. NBR NM 45**: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **ABNT. NBR NM 53**: Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT. NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, Luiz. **Materiais de construção 1**. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2015a. 1 v.

BAUER, Luiz. **Materiais de construção 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015b. 2 v.

FERNANDES, Idário. **Blocos e pavers**: produção e controle de qualidade. 6. ed. Ribeirão Preto, SP: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2015.

HIBBELER, Russell. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

ISAIA, G. *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. at. e amp. São Paulo: Arte Alternativa, 2010. 1 v.

MEHTA, P. kumar; MONTEIRO, Paulo. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. Ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2014.

ANÁLISE PATOLÓGICA DE FACHADAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE COBERTURA¹

Noyuke Silva Hamado

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: noyukehamado@unipam.edu.br

Nancy Tiemi Isewaki

Docente de Graduação do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: nancyti@unipam.edu.br

RESUMO: O presente artigo mesclou duas temáticas do campo da construção civil raramente estudadas em conjunto: coberturas e patologias em edificações. Visando estabelecer bases científicas neste campo pouco explorado, objetivou-se estudar a influência dos diferentes tipos de cobertura no aparecimento e na evolução de patologias de fachada. Para alcançar os resultados obtidos, foi criado um modelo de *check-list* para ser aplicado em campo, em um espaço amostral de 12 edificações do município de Patos de Minas (MG), escolhidas segundo critérios de orientação da fachada em relação aos pontos cardeais e movimentação local. Nesse espaço amostral, definiram-se 3 grupos de 4 edificações, representando os tipos mais utilizados de cobertura: cerâmica, fibrocimento e metálica. Através da abordagem quanti-qualitativa utilizada, verificaram-se outras variáveis que interferiram nas manifestações patológicas, contribuindo favorável ou desfavoravelmente para o desenvolvimento patológico, cada qual segundo aspectos próprios. Em relação específica à influência dos tipos de cobertura nas manifestações em fachadas, verificou-se que a presença de um ou outro tipo específico de cobertura não interfere de forma significativa na proteção das fachadas contra manifestações patológicas, bem como também não auxilia de forma direta na degradação, surgimento e evolução de tais problemáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Edificação. Fachada. Manifestação patológica.

ABSTRACT: The present article merged two themes of the field of civil construction rarely studied together: coverings and pathologies in buildings. Aiming to establish scientific bases in this unexplored field, aimed to study the influence of different types of coverage on the emergence and evolution of facade's pathologies. To achieve the results obtained, a check-list model was created to be applied in the field, in a sample space of 12 buildings in the municipality of Patos de Minas (MG), chosen according to criteria of orientation of the facade in relation to the cardinal points and local busy. In this sample space, 3 groups of 4 buildings were defined, representing the most used types of coverage: ceramic, fiber cement and metallic. Through the quantitative-qualitative approach used, other variables interfered in the pathological

¹ Trabalho apresentado na área temática 3 – Engenharia Civil: Construção Civil do V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

manifestations, contributing favorably or unfavorably to the pathological development, each according to its own characteristics. In the specific relation to the influence of the types of cover in the manifestations in facades, it was verified that the presence of one or another specific type of cover does not interfere in a significant way in the protection of the facades against pathological manifestations, as well as do not directly aid in the degradation, emergence and evolution of such problems.

KEYWORDS: Building. Facades. Pathological manifestation.

1 INTRODUÇÃO

Desde a evolução social da espécie humana, existe a necessidade da procura de abrigo em local seguro, não apenas para sua proteção como também para o seu conforto. A cobertura do espaço se tornou uma variável fundamental para o melhor acolhimento da espécie, que atribuía valor social às suas conquistas. Com o intuito principal de proteção contra as intempéries naturais e externas, a cobertura em uma construção, ainda hoje, é um quesito de suma importância em qualquer edificação, possuindo muitas vezes um caráter puramente estético e em outras um caráter essencialmente funcional.

Influenciada diretamente pelo estilo da cobertura, a fachada se apresenta como uma prévia de tudo que uma construção pode oferecer, seja em níveis estruturais, seja em níveis arquitetônicos. Na era atual, não obstante os avanços tecnológicos e a crescente padronização de técnicas no âmbito da engenharia civil, as patologias presentes nas fachadas das edificações ainda se constituem como algo comum de ser encontrado. Esses estados patológicos podem desencadear diversas outras problemáticas, tanto no exterior quanto no interior da edificação.

Esta pesquisa levou em consideração a alta incidência de patologias de fachada na cidade de Patos de Minas (MG), principalmente as relacionadas à umidade, e tomou como base o fato de a cobertura de uma edificação estar relacionada ao escoamento de águas pluviais, buscando evitar o enraizamento de qualquer umidade na alvenaria e estrutura de uma construção. O presente estudo, portanto, relacionou alguns dos tipos de cobertura existentes com o aparecimento, assim como o agravamento, de patologias de fachada, buscando analisar quanti-qualitativamente as influências presentes nessa relação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Como desenvolvimento das pesquisas de campo e análises de caso a serem realizadas neste estudo, tomam-se como base dois assuntos dentro da Engenharia Civil: coberturas e patologias de fachada. O embasamento teórico que se segue aprofunda e esclarece essas duas temáticas que se relacionam diretamente em uma edificação.

2.1 COBERTURAS

Nos sistemas de cobertura usualmente empregados, geralmente chamados de telhados, possuímos três partes distintas: a estrutura, a cobertura em si e o sistema de captação de águas pluviais. Segundo Azeredo (1997), uma estrutura de telhado poderá ser composta de tesouras, arcos, terças, caibros, ripas, contraventamentos e mão-francesa; esses componentes podem ser de madeira, metálicas, de concreto ou misto. Tais componentes estruturais integram o sistema de construção básica dos telhados comuns e são responsáveis por suportar as cargas de peso próprio da cobertura e do sistema de captação pluvial, bem como cargas externas às quais a cobertura estará sujeita.

No Brasil, por simples observação, qualquer um pode notar a predominância de telhados cerâmicos em residências familiares e telhados embutidos de fibrocimento em edifícios multifamiliares. Já as telhas metálicas são muito utilizadas em galpões de trabalho, ginásios, entre outros espaços que necessitem de grandes vãos sem pilares centrais. São praticamente uma regra cultural esses modelos de cobertura (BARRETO, [s.d.]).

A superfície das telhas cerâmicas, quando utilizadas, deve ser lisa para permitir o bom escoamento da água e evitar a proliferação de musgo. Nesse tipo de telha, é comum se exigir uma absorção de umidade não superior a 18%, visto que a estanqueidade desempenha um papel fundamental; as coberturas precisam fornecer isso ao usuário. Porém, Yazigi (2014) esclarece que as telhas cerâmicas aumentam sua impermeabilidade ao longo do tempo, o que se deve ao fato de os poros serem obstruídos pelo limo e a poeira depositada. A estanqueidade tem influência direta no aparecimento de patologias, bem como problemáticas mais graves ocasionadas por infiltração, devendo a cobertura formar um sistema compacto que proteja o ambiente interno de toda intempérie externa, principalmente aquelas advindas de condições meteorológicas. A inclinação mínima da colocação de telhas aumenta a relação de proteção que a cobertura tem para com o restante da edificação. Essa inclinação é recomendada pelos fabricantes de acordo com a especificação de cada telha, embora também deva ser levada em conta a zona geográfica de acordo com mapas que combinam ações meteorológicas com seus níveis de exposição (LOURENÇO; BRANCO, 2012).

As telhas onduladas de CRFS são produtos fabricados utilizando-se de uma mistura homogênea de cimento Portland, agregados naturais e celulose, reforçada com fios sintéticos de polipropileno. Possuem modelos de diversas espessuras, comprimento e largura, exigindo diversos tipos de ganchos e parafusos para fixação, além de peças de concordância e arremate fabricados no mesmo material que recobrem as telhas nos pontos onde as águas se encontram (YAZIGI, 2014). Para telhas onduladas CRFS, a impermeabilidade deve ser maior ou igual a 37%, segundo a ABNT NBR 7581:2012 – Telha Ondulada de Fibrocimento. Para esse tipo de telhado, os caimentos mínimos são de 10° (aproximadamente 17,6 %, a seguir desse limite estar-se-á arriscando infiltração de água através da junção das telhas), sendo recomendável 15° (aproximadamente 27%). Vale ressaltar que elas devem apresentar superfícies de faces regulares e uniformes, não apresentando trincas, quebras, caroços, deformações

nem remendos.

Com a evolução das tecnologias em relação às estruturas metálicas, também evoluíram o sistema de telhas metálicas, mais leves e resistentes que os outros tipos, vencendo vãos maiores e reduzindo as estruturas de apoio. Entre as opções mais comuns utilizadas no mercado brasileiro estão as telhas de alumínio e as telhas de aço (galvanizado, zincado e inoxidável). Além desses modelos, de menor utilização, existem as formadas de uma liga de aço e alumínio (galvalume) e as telhas de cobre e titânio, opções mais caras (NAKAMURA; FIGUEROLA, 2011). Em relação ao formato, Yazigi (2014) recomenda, para telhados em forma de arco, telhas metálicas onduladas, cujo formato se adapta bem à curvatura, enquanto para cobertura com panos (lados do telhado) planos (duas águas, sheds, espaciais), recomenda-se telha trapezoidal, cujo formato é mais resistente. Tais escolhas e parâmetros devem ser analisados de forma detalhada em projeto, visto que o desempenho e a durabilidade da cobertura estão intrinsecamente relacionados ao tipo da telha metálica e ao seu revestimento (NAKAMURA; FIGUEROLA, 2011).

2.2 PATOLOGIAS DE FACHADA

Em quase todos os fenômenos de degradação físico-química dos materiais, é necessária a presença de água. Portanto, a penetração de água (e das substâncias dissolvidas nela) através de um material poroso é de extrema importância para a ocorrência dos fenômenos de degradação, estabelecendo-se, assim, uma relação direta entre os fenômenos pluviométricos e o surgimento de patologias em uma edificação (BERTOLINI, 2010).

Em relação a variações de umidade e temperatura, um fator que afeta profundamente tais variáveis é a luz solar e sua trajetória. Desse modo, edificações cujas fachadas se encontram orientadas nestas posições – Leste e Oeste – recebem durante longo período e de forma intensa a luz solar da manhã (Oeste) ou da tarde (Leste). Enquanto isso, as edificações cujas fachadas estão voltadas para Norte e Sul, não recebem incidência solar contínua nem de forma direta. A energia solar é o meio energético que movimenta todo o ciclo da água, sendo essencial no processo de evaporação e transpiração, o que, por consequência, influi na umidade das edificações e na forma como esta afeta o aparecimento de patologias, uma vez que todas as manifestações patológicas têm como fator comum a presença de umidade, seja como fator agravante, seja como fator condicionante (CARVALHO, 2016).

Segundo Yazigi (2014), dentre as mais comuns manifestações patológicas referentes à interação com a umidade em edificações, destacam-se manchas de umidade, corrosão, bolor (ou mofo), algas, líquens, eflorescências, descolamento de revestimentos, friabilidade da argamassa por dissolução de compostos, fissura e mudança de coloração de revestimentos, além da degradação e descolamento da pintura. Vale destacar, no entanto, que tais manifestações não se restringem somente a si mesmas, podendo evoluir para outras situações agravantes, assim como o fato de apresentarem-se nas fachadas pode ser apenas o começo do seu contágio em uma edificação, devido à relação em cadeia que estabelecem entre si.

2.2.1 Descolamento de argamassa

Os descolamentos é a separação de uma ou mais camadas em revestimento argamassado, podendo ocorrer de forma pulverulenta, com empolamento, ou ainda em placas. Os principais contribuintes para sua manifestação, em argamassas de cal, são: o uso de produtos não hidratados ou a falta de hidratação completa da cal extinta, má qualidade da cal ou preparo inadequado da pasta. Já em argamassas mistas, o principal contribuinte é o excesso de cimento (BAUER, 1994).

2.2.2 Eflorescência

As eflorescências são depósitos cristalinos formados pela presença de soluções salinas, tanto na superfície quanto no interior das alvenarias. Surgem pela evaporação ou variação de temperatura em meio úmido (GONÇALVES, 2007). Dependendo do tipo de sal depositado, as eflorescências podem causar degradações profundas na estrutura. Essa manifestação possui três fatores decisivos que devem coexistir para o seu aparecimento: o teor de sais solúveis presente no meio, a presença de água e a pressão hidrostática (UEMOTO, 1988).

2.2.3 Destacamento de revestimento

Os destacamentos ou deslocamentos ocorrem pela perda de aderência entre a argamassa e as placas cerâmicas nela fixadas ou entre a argamassa colante e a base. A primeira característica dessa manifestação é a presença de um som cavo nas placas cerâmicas quando percutidas (ALMEIDA, 2012). Geralmente são ocasionados pelo surgimento de tensões que ultrapassam a capacidade de aderência devido às mais diversas causas, como ausência de juntas de dilatação, retração da argamassa de assentamento, deformações devido a variações de umidade, deformações advindas da infiltração de água nas fachadas, dilatações térmicas e deformações na estrutura (CHAVES, 2009).

2.2.4 Manchamento

O tipo mais comum de manchamento é o que chamamos de bolor ou mofo. O desenvolvimento dessa manifestação está diretamente ligado à existência de umidade, seja na estrutura (por infiltração ou encanamento rompido) seja no ar (pela elevada umidade relativa do ambiente). O emboloramento é consequência do desenvolvimento de microorganismos pertencentes ao grupo dos fungos, que se desenvolvem em locais úmidos e escuros, ou abafados (ALUCCI; FLAUZINO; MILANO, 1988). Além disso, existem manchas por sujidade e poeiras.

2.2.5 Trincamento e fissuração

Dentre todas as manifestações patológicas que podem acometer uma estrutura, as trincas e fissuras são consideradas as mais graves por poder ser o indício

de um estado perigoso para a estrutura, comprometer o desempenho (estanqueidade, durabilidade, isolamento acústico, etc.) e constranger psicologicamente os seus usuários (THOMAZ, 1989). São os problemas mais comuns enfrentados por usuários e estão presente na grande maioria das edificações.

Segundo classificação da ABNT NBR 9575:2010, as aberturas maiores que 0,5 mm e menores que 1 mm são denominadas trincas, enquanto as aberturas maiores que 0,05 mm e menores que 0,5 mm são denominadas fissuras. Há, ainda, as microfissuras, compreendendo aberturas menores que 0,05 mm.

3 METODOLOGIA

Desenvolveu-se um modelo de coleta de dados, denominado Ficha de Inspeção de Patologias em Fachadas, que aglomerou, em uma única tabela, informações a respeito da edificação a ser analisada. Assim foi possível obter uma visão geral da edificação, facilitando no cruzamento de dados para a interpretação quanti-qualitativa desejada.

As patologias elencadas no *check-list* para análise foram: descolamento de argamassa, eflorescência, destacamento de revestimento, manchamento e trincamento/fissuração. Verificou-se, além da presença, a porcentagem que cada patologia ocupava na fachada, para melhor desenvolvimento analítico. Levaram-se também em consideração os aspectos de orientação geográfica, qualidade da construção e dos materiais, tempo de vida atual da edificação e realização de reformas.

O espaço amostral utilizado para a análise correspondeu a doze edificações do Município de Patos de Minas (MG), sendo elas referentes a cada tipo de cobertura a analisado, a saber: quatro com cobertura em telha cerâmica, quatro com cobertura em telha de fibrocimento (CRFS) e quatro com cobertura em telha metálica. Como requisito mínimo nas edificações utilizadas, está a presença bem definida de uma fachada, objeto específico de estudo para análise das patologias, devendo cada uma das quatro fachadas referentes a cada tipo de cobertura estarem orientadas frontalmente para um ponto cardinal (norte, sul, leste e oeste).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na ocorrência de patologias no espaço amostral, encontrou-se a seguinte realidade de manifestações apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 – Manifestações patológicas nas amostras

Edificação	Cobertura	Descolamento argamassa	Eflorescência	Destacamento revestimento	Manchamento	Trincamento
E1	Cerâmica				x	x
E2	Cerâmica				x	x
E3	Cerâmica				x	x
E4	Cerâmica	x			x	x
E5	Fibrocimento				x	x
E6	Fibrocimento		x		x	x
E7	Fibrocimento				x	
E8	Fibrocimento				x	x
E9	Metálica				x	x
E10	Metálica					
E11	Metálica				x	x
E12	Metálica					x
Total		1	1	0	10	10

Fonte: dados da pesquisa

Analisando-se os dados recolhidos, constata-se um desenvolvimento de fissuras e manchamentos em 10 das 12 edificações do espaço amostral, tornando a ocorrência dessas manifestações presente em 83,3% do mesmo. O fato das amostras contidas no espaço amostral estarem localizadas em vias de grande movimento, sujeitas a intempéries de ordem física e química, constitui um ambiente favorável a essas manifestações. No entanto, fissuras estão relacionadas a movimentações dos elementos construtivos (sejam de origem higroscópicas ou estruturais), bem como manchamentos estão relacionados à qualidade de absorção e evaporação da umidade pelos materiais (BAUER, 1994). Dessa forma, são causas para o aparecimento corriqueiro dessas problemáticas o padrão de qualidade de materiais e mão de obra utilizados, não caracterizando necessariamente uma correlação com as tipologias de cobertura analisadas.

4.1 ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA

Em relação às orientações das fachadas, referentes aos pontos cardeais, notaram-se diferenças que se aplicaram a certas posições. Nas edificações cujas fachadas se encontravam voltadas para o Norte ou para o Sul, as manifestações patológicas mais comuns (manchamento e fissuramento) concentraram-se nas partes altas, próximas à cobertura. Enquanto nas edificações com fachadas voltadas para o Leste ou Oeste, as manifestações patológicas encontraram-se homoganeamente distribuídas pela fachada. As edificações com orientação voltadas para Norte e Sul, bem como as voltadas para Leste e Oeste, são apresentadas no quadro 2:

Quadro 2 – Porcentagem afetada por orientação

Edificação	Cobertura	Orientação	Fachada Comprometida	Média por Orientação
E1	Cerâmica	Norte	30%	41,60%
E6	Fibrocimento	Norte	65%	
E9	Metálica	Norte	30 %	
E2	Cerâmica	Sul	40%	25%
E5	Fibrocimento	Sul	35%	
E10	Metálica	Sul	0%	
E3	Cerâmica	Leste	15%	10%
E7	Fibrocimento	Leste	5%	
E12	Metálica	Leste	10%	
E4	Cerâmica	Oeste	55%	53,30%
E8	Fibrocimento	Oeste	25%	
E11	Metálica	Oeste	80%	

Fonte: dados da pesquisa.

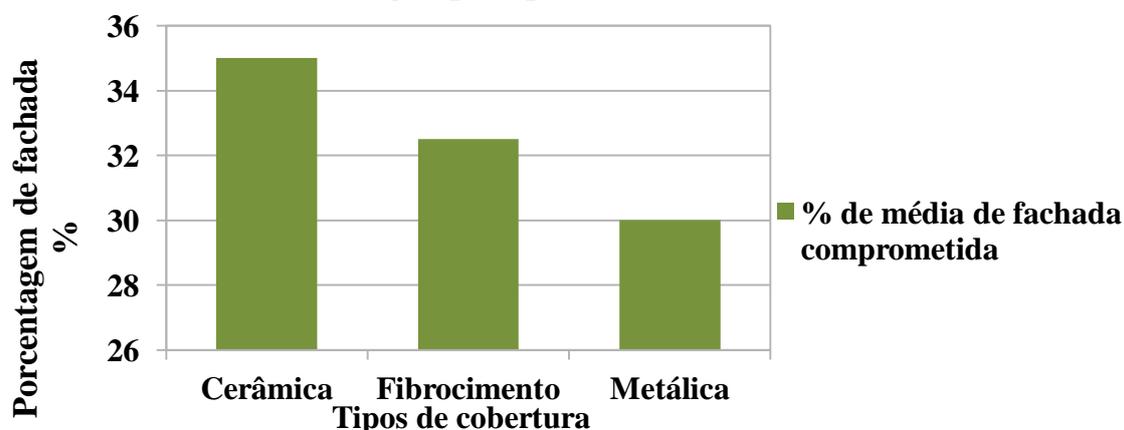
Tal fato é geograficamente explicável e verifica a influência da ação solar sobre o aparecimento de patologias de fachada, principalmente quando associado com a umidade presente nas edificações, seja ela advinda de qualquer origem. O resultado esperado seria que todas as fachadas das edificações voltadas para Leste e para Oeste não apenas apresentassem diferença na localização das manifestações, mas também demonstrassem maior incidência patológica em relação às fachadas voltadas para o Norte e para o Sul. Esse resultado seria justificado pela incidência elevada do Sol em Leste e Oeste (nascer e poente) em detrimento da pouca incidência em Norte e Sul (trajetória paralela).

Considerando os valores médios de ocorrência de patologia por orientação, verificou-se que não houve correspondência com o esperado, visto que as fachadas com orientação a Leste apresentaram uma média de abrangência patológica menor do que as fachadas voltadas para Oeste, enquanto as que se encontravam voltadas ao Norte apresentaram uma média maior em relação às do Sul.

4.2 IDADE DA EDIFICAÇÃO E MANUTENÇÃO

Na reunião de dados realizada em cada amostra de edificação, foi estimada a porcentagem de fachada que cada patologia acometia naquela amostra. Realizando-se então uma análise quantitativa das patologias, foi elaborado o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Patologias x tipo de cobertura
Patologias por tipo de cobertura



Fonte: dados da pesquisa.

Com base no Gráfico 1, percebe-se que as edificações com cobertura de telhas cerâmicas apresentam o maior nível percentual médio de fachada afetada por patologias (35%), seguido da cobertura com telhas de fibrocimento (32,5%) e da cobertura com telha metálica (30%). Tal resultado vai de encontro ao esperado: as edificações com coberturas cerâmicas estariam menos expostas à ação da chuva e consequente umidade, devido à sua estrutura que geralmente ultrapassa o limite das alvenarias, o que diminuiria e desfavoreceria um maior aparecimento e desenvolvimento de patologias. Enquanto nas coberturas em fibrocimento e metálicas, pela alvenaria estar mais exposta e não possuir proteção direta contra a ação pluvial, devido à estrutura típica destas coberturas (geralmente com platibandas), a tendência seria o maior aparecimento de patologias.

Tal resultado inesperado, assim como o constatado em 4.1, pode ser explicado analisando-se o Quadro 3, elaborado discriminando-se as porcentagens de fachada atingida em cada edificação e adicionando as informações referentes à idade de construção da edificação e a presença de reformas nos últimos 5 anos.

Quadro 3 – Orientação geográfica x idade e reforma

Edificação	Cobertura	Orientação	Fachada Comprometida	Média por Orientação	Idade	Reforma - últimos 5 anos
E1	Cerâmica	Norte	30%	41,60%	Entre 20 e 50 anos	Sim
E6	Fibrocimento	Norte	65%		Acima de 50 anos	Não
E9	Metálica	Norte	30 %		Entre 10 e 20 anos	Sim
E2	Cerâmica	Sul	40%	25%	Acima de 50 anos	Não
E5	Fibrocimento	Sul	35%		Entre 20 e 50 anos	Sim
E10	Metálica	Sul	0%		Entre 10 e 20 anos	Sim
E3	Cerâmica	Leste	15%	10%	Entre 10 e 20 anos	Sim
E7	Fibrocimento	Leste	5%		Entre 10 e 20 anos	Sim
E12	Metálica	Leste	10%		Entre 10 e 20 anos	Sim
E4	Cerâmica	Oeste	55%	53,30%	Acima de 50 anos	Sim
E8	Fibrocimento	Oeste	25%		Entre 10 e 20 anos	Não
E11	Metálica	Oeste	80%		Entre 20 e 50 anos	Não

Fonte: dados da pesquisa.

O Quadro 3 apresenta uma visão mais complexa, inter-relacionando informações e permitindo o cruzamento de interpretações quanto à abrangência das manifestações patológicas em cada edificação, com a idade e a manutenção mais recente realizada em cada uma.

As edificações com fachada orientada para o Norte apresentaram em média 41,6% da fachada comprometida por patologias. No entanto, ao analisar-se cada amostra desse grupo, percebe-se que as edificações E1 e E9 apresentaram baixa abrangência de patologias (30%) – a edificação E1 tem idade entre 20 e 50 anos e a edificação E9, entre 10 e 20 anos. Essas duas edificações foram reformadas nos últimos 5 anos, fato que diminuiu os níveis de manifestações patológicas, independentemente das idades verificadas. Já na edificação E6, verificou-se elevada abrangência patológica (65%); há dois fatores que influenciaram negativamente nesse resultado: ter mais de 50 anos e não ter sido reformada nos últimos 5 anos. Dessa forma, a média elevada de incidência patológica nas edificações voltadas para o Norte tem como causa a edificação E6, que elevou a média do grupo.

Nas edificações cuja fachada estava voltada para o Sul, apesar de o resultado médio ter sido pequeno, como o esperado, ao analisar-se caso a caso, percebeu-se como cada edificação contribuiu para essa média. A amostra E2 apresentou o maior índice patológico do grupo (40%), fato que se justifica por ser uma edificação construída há mais de 50 anos e não ter sofrido reforma nos últimos 5 anos. Enquanto isso, a edificação E5, cuja representatividade na média foi de 35%, é uma edificação relativamente antiga (entre 20 e 50 anos), o que justificaria uma porcentagem de fachada atingida maior do que a constatada. No entanto, tal amostra foi reformada nos últimos 5 anos, o que refletiu em sua fachada que, apesar de ser antiga, não apresenta o maior índice do grupo. Tais resultados se mostram ainda mais significantes na análise da amostra E10, edificação recente (entre 10 e 20 anos de idade), que, mesmo assim, foi reformada nos últimos 5 anos, apresentando um conclusivo índice de abrangência patológica de 0%, diminuindo a média desse grupo de fachadas.

Em relação às edificações com fachadas voltadas para o Leste, esperava-se uma alta abrangência de manifestações patológicas nas fachadas, fato que se mostrou errôneo. Analisando-se caso a caso, viu-se que as 3 amostras E3, E7 e E12 apresentam idades relativamente próximas, já que todas foram construídas entre 10 e 20 anos. Tal fato, por si só, já justifica parcialmente a pouca abrangência patológica, visto se tratarem de edificações recentes. No entanto, o fator reforma corrobora completamente os resultados obtidos, visto que, além de serem edificações recentes, todas foram reformadas nos últimos 5 anos. Dessa forma, a baixa incidência patológica em E3 (15%), E7 (5%) e E12 (10%) e, conseqüentemente, a média (10%) das edificações voltadas para o Leste se justifica mesmo contra o resultado esperado para o grupo.

Por fim, o grupo com maior média de abrangência de manifestações patológicas (53,3%), encontra, nas variáveis idade e reforma, as mesmas justificativas caso a caso para este resultado. A amostra E4 apresentou 55% de área de fachada comprometida, porcentagem que deveria ser maior considerando o fato de ser uma edificação com mais de 50 anos de idade. No entanto, a reforma nos últimos 5 anos estacou o desenvolvimento patológico, evitando maior abrangência, fato condizente

com as incidências de todas as outras amostras estudadas. Já a edificação E8 (25% de fachada comprometida) não foi reformada nos últimos anos, o que justificaria elevada porcentagem, não fosse a idade da edificação, entre 10 e 20 anos, que pode ser considerada nova. Enquanto a amostra E11, além de ser antiga (idade entre 20 e 50 anos), não foi reformada nos últimos 5 anos, fato que justifica sua elevada taxa de manifestações patológicas (80%).

4.3 RELAÇÃO ENTRE O TIPO DE COBERTURA E AS PATOLOGIAS EM FACHADAS

De acordo com o cruzamento dos dados e as discussões conduzidas, nota-se que existe sim um vínculo estreito entre o tipo de cobertura e o modo como a edificação se relaciona com a umidade, principalmente advinda de precipitações. Não obstante, não foi possível a afirmação de que um tipo de cobertura específico auxilia beneficemente na prevenção de manifestações patológicas. Os tipos de manifestações predominantes encontradas na pesquisa são as mesmas (manchamento e fissuração) e sua disseminação não se limitou a apenas um tipo de cobertura, aparecendo de maneira uniforme em todas as edificações. Da mesma forma, a gravidade com que elas incidiram nessas edificações foi maior ou menor segundo outras variáveis que não se relacionam com tipo de telhado, como posição geográfica e qualidade dos materiais utilizados.

Pode-se verificar uma mínima influência de coberturas com telhado cerâmico, devido à cultura de não impermeabilização desse tipo de cobertura. A facilidade com que há infiltração de água pluvial é mais intensa, notando-se inclusive uma edificação que acrescentou mantas impermeabilizantes em recente manutenção realizada. Enquanto isso, a cobertura com telha metálica influi diretamente no aparecimento de manchas, advindas do enferrujamento dessas telhas, fato que não pode ser observado neste espaço amostral pelas estruturas recentemente reformadas. As coberturas de fibrocimento, por terem um sistema de calhas geralmente embutido para manejo pluvial, apresenta condições médias, das quais não se pode afirmar qualquer influência de forma definitiva.

Nas três tipologias de telhado, verificou-se a importância da impermeabilização, visto que a umidade advinda das águas pluviais constitui um fator determinante na manifestação de patologias, principalmente nas manchas e em alguns tipos de fissuras (horizontais). Apesar de não ser comum o uso de impermeabilização em coberturas cerâmicas e metálicas, notou-se ser fundamental que as coberturas sejam estanques e sirvam de forma eficiente como vedação, fato que pode ser observado pela quantidade de patologias advindas da umidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelas observações e interpretações realizadas, nota-se que os três tipos de cobertura analisados não influíram de forma significativa na proteção contra ações de umidade ou ações diretas de águas pluviais. As coberturas com telhados de telha cerâmica, fibrocimento e metálica, colocam-se, dessa forma, em proporções de igualdade no ambiente da construção civil, não podendo se destacar uma melhor que

a outra.

Vale destacar a influência que o padrão de qualidade construtiva, tanto de material quanto de serviços, pode ter sobre o aparecimento de futuras manifestações patológicas. Destaca-se também a necessidade de se realizar uma correta impermeabilização das estruturas de cobertura, uma vez que foram encontradas edificações que adicionaram impermeabilização no seu telhado em reformas recentes, provavelmente por necessidades de natureza patológica observada.

Interpretando esses resultados e análises, quanto ao percentual de fachada acometido, e o fator das reformas aplicado sobre o espaço amostral, pode-se verificar a importância da manutenção de uma edificação e como a manutenção correta e periódica influencia na estética e na vida útil da edificação, diminuindo a manifestação patológica e impedindo sua evolução. É sempre recomendado, porém nem sempre realizado, que toda edificação demanda um plano de manutenção periódica a curto, médio e longo prazo, com vistas a perpetuar as características da edificação e prolongar sua vida útil, principalmente quando se trata de fachadas e de coberturas. Tais planos de manutenção, no contexto desta pesquisa, devem ter principal destaque para a remoção das patologias que estiverem se desenvolvendo, bem como a análise para as suas origens, para que elas não se desenvolvam novamente. Essa necessidade foi percebida na interpretação das edificações do espaço amostral – foi percebida também pelos proprietários de algumas edificações, embora tardiamente.

Finalmente, vale ressaltar que esta pesquisa foi realizada em um espaço amostral de 12 edificações e levando em discussão outras variáveis. Busca-se o incentivo para que outros autores desenvolvam trabalhos mais extensos neste campo pouco explorado da engenharia, aumentando o espaço amostral para se verificarem padrões mais definidos. Outro ponto a ser sugerido para pesquisas futuras refere-se à relação entre o tipo de cobertura e os sistemas de impermeabilização utilizados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. L. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada**. 2012. Dissertação de Pós-Graduação (Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. 2012.

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. **Tecnologia de Edificações**, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988. p. 565-70.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581-2**: Telha ondulada de fibrocimento – Parte 2: Ensaios. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 1997.

BARRETO, Nathália. **16 tipos de telhas para todos tipos de projeto**. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.tuacasa.com.br/tipos-de-telhas/>>. Acesso em: 13 set. 2018.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. São Paulo: LTC Editora, 1994. 2 volumes.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

CARVALHO, D. F. DE; SILVA, L. D. B. DA. **Hidrologia**: Capítulo 2 – Ciclo Hidrológico. UFRRJ, 2016. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. 2009. Dissertação (Mestrado) na área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção, Universidade do Minho, Braga, 2009.

GONÇALVES, T. C. D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. 2007. Tese de doutorado - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. 262 p.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. [S.l.: s.n.]. 2012.

NAKAMURA, J.; FIGUEROLA, V. **Tecnologia**: Coberturas metálicas. 2011. Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/215/conheca-as-principais-tipos-de-telhas-metalicas-e-suas-aplicacoes-250179-1.aspx>>. Acesso em: 02 maio 2018.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. **Tecnologia de Edificações**, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988. p. 561 - 64.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 14. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini, 2014.

COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO¹

Jão Marcos Rabelo Teixeira

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: joaomarcosrabelo@hotmail.com

Willian Ferreira Dias

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: willianferreirads@hotmail.com

Eduardo Pains de Moraes

Professor do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: eduardopm@unipam.edu.br

RESUMO: O estudo da viabilidade econômica da substituição da alvenaria de vedação em blocos cerâmicos por blocos em Concreto Celular Autoclavado (CCA), utilizando diferentes argamassas (mistas e industrializadas), demonstrou que, para ambos os blocos, a argamassa industrializada se apresentou mais cara e, independentemente da argamassa utilizada, o bloco em CCA mostrou-se mais caro. No entanto, a duração estimada das atividades demonstrou que o bloco em CCA necessita de menos tempo de execução.

PALAVRAS-CHAVE: Orçamento. Alvenaria. Bloco.

ABSTRACT: The study of the economical feasibility of replacing masonry of ceramic block blocks by concrete blocks in Autoclaved Cellular Concrete (CCA), using different mortars (mixed and industrialized), showed that for both blocks the industrialized mortar presented more expensive, independent of the mortar the CCA block was more expensive. However, the estimated duration of the activities demonstrated that the block in CCA requires less execution time.

KEYWORDS: budget; masonry; block.

INTRODUÇÃO

Devido ao acelerado desenvolvimento das regiões urbanas, ao aumento de residentes nesses centros, acrescido à crise financeira que atravessa o Brasil, o mercado da construção civil está cada vez mais dinâmico, complexo e visa, a todo momento, reduzir custos aplicando métodos construtivos eficazes no quesito econômico e qualitativo, de forma a se adequar aos clientes cada vez mais exigentes e

¹ Trabalho apresentado na área temática Engenharia de Custos na categoria apresentação oral do V Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

bem informados, que buscam sempre rapidez, facilidade e obras viáveis economicamente. Sendo assim, é de extrema importância que a implantação de inovações visando à substituição de métodos construtivos arcaicos e ultrapassados ganhem força.

Métodos construtivos rudimentares caracterizam a construção civil brasileira, tendo o principal mecanismo utilizado a estrutura de concreto armado com fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos. Grande desperdício de matéria-prima, baixa produtividade e atrasos técnicos podem ser apontados como desvantagens dessa tipologia construtiva de alvenaria muito empregada no Brasil, que, devido às exigências de mercado atuais, estão se tornando predominantemente ultrapassadas.

O mercado tem evoluído gradativamente para a industrialização da construção juntamente com o estudo da viabilidade, adotando processos mais econômicos unidos de eficácia, inovação e praticidade. Um grande exemplo disso, em se tratando de alvenaria, é a utilização de blocos de Concreto Celular Autoclavado (CCA), que, de acordo com Daldegan (2016), é um método que garante alta produtividade, redução do peso da obra, velocidade da construção, bom isolamento acústico e térmico, grande durabilidade e ausência de reboco.

Nesse sentido, este estudo apresentou, como objetivo geral, avaliar a viabilidade econômica da alvenaria de vedação com blocos de concreto celular em comparação com a alvenaria com blocos cerâmicos. Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos estão embasados em três vertentes:

- Quantificar os insumos e mão de obra dos sistemas de vedação em paredes de concreto celular e paredes de blocos cerâmicos;
- Comparar financeiramente os dois sistemas propostos para o estudo através de técnicas de orçamentação;
- Avaliar o sistema que apresenta maior viabilidade econômica conforme o levantamento de custos.

A falta de planejamento, empreendimentos orçados de forma precipitada, desperdícios de materiais na construção e falta de informações por parte do construtor em relação a sua própria obra são alguns dos problemas mais recorrentes na construção civil. Visando a essas e a outras falhas oriundas dessa área, foi tomada a decisão de aprofundar no segmento de planejamento, gestão e controle de obras, proporcionando assim inúmeros benefícios na questão orçamentária de obras e edificações em geral.

De acordo com Mattos (2014), para se realizar um orçamento, é exigido programar uma pesquisa dos preços dos insumos, caracterizando a composição dos custos de forma a apresentar um orçamento analítico e circunstanciado. Composição de custos constitui-se de uma tabela na qual são expressos todos os insumos diretamente interligados na execução de um determinado serviço dentro da construção civil, com seus respectivos custos unitários.

Os custos unitários dos serviços são obtidos através das composições de custos, “onde cada um de seus insumos apresenta um índice de consumo por unidade de serviço que, multiplicado pelo respectivo custo unitário, resulta no valor unitário do insumo para a execução da unidade daquele serviço” (GOLDMAN, 2004, p. 70).

O TCPO (2012) fornece os índices de consumos através das composições de custos de serviços, servindo como referência para quantificação e mensuração do serviço adotado. Para que essas composições possam espelhar a realidade construtiva, é necessário que se saiba como obter uma composição correta ou de que forma foi obtida a composição de serviços que estamos utilizando. (GOLDMAN, 2004).

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (2018) fornece os preços de insumos e custos de composições abrangendo materiais, mão de obra e equipamentos que são utilizados em composições de serviços mais frequentes na construção civil.

Os preços informados são coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, e os valores (medianos) fornecidos à Caixa. Quando o IBGE não obtém informações suficientes nos locais previamente cadastrados para a coleta, em determinada localidade, o preço para o insumo é atribuído. Isso permite que o SINAPI disponha de preço e custo de referência para todas as localidades.

A Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP (2018) é referencial de preços para as obras do Estado de Minas Gerais. Os preços unitários da planilha são referenciais, limites máximos e correspondem ao custo de cada serviço, incluídos nos custos:

material + mão de obra + encargos sociais + encargos complementares.

A duração das atividades depende da quantidade de serviço, da produtividade e da quantidade de recursos alocados. As composições de custos unitários do orçamento fornecem índices, que são parâmetros existentes para a geração das durações. Os índices representam a incidência de cada insumo na execução de uma unidade do serviço (MATTOS, 2014).

O presente trabalho foi desenvolvido em tempos de crise econômica no Brasil, no ano de 2018, com intuito de mostrar ao construtor qual método é mais viável economicamente. Realizou-se uma análise comparativa financeira entre os dois sistemas, a fim de definir qual se mostrou mais viável, e foram discutidos também outros fatores que influenciam na escolha do tipo de bloco a ser empregado. A seguir estão demonstrados os resultados do estudo.

DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um estudo de caso em um projeto de construção de um galpão industrial, que inicialmente determinava que suas paredes de revestimento externo seriam constituídas de alvenaria convencional de vedação, ou seja, utilizando blocos cerâmicos convencionais e argamassa de assentamento.

Foi proposta a substituição da alvenaria convencional pelos blocos em CCA e, diante disso, realizou-se um estudo comparativo financeiro para cada tipologia construtiva, a fim de auxiliar na decisão do melhor método a ser empregado. Foram excluídas do estudo as demais atividades realizadas, como fundação, pintura, reboco, estrutura, acabamentos e cobertura, focando na vedação propriamente dita.

Para isso, foram coletados através do projeto, utilizando o software AutoCAD (2019), os dados necessários para dimensionamento das paredes. Foi calculada a área total de vedação necessária, coletando as distâncias entre os pilares e vigas, e descontando a área dos dois portões existentes.

De acordo com o projeto, as paredes a serem construídas possuem espessura de 20 centímetros, com um total de 12 metros de altura divididas em quatro vigas de 20 x 50 cm (largura x altura), resultando em uma altura de 2,5 metros de vedação entre as vigas. Os vãos entre os pilares possuem duas medidas diferentes, com oito vãos de 5,85 metros, e oito vãos de 4,70 metros. Foram descontados para o cálculo os dois portões de 22 m² cada, resultando em um total de 800 m² necessários para a vedação.

Após mensurar a dimensão das paredes a serem construídas, foram coletados os dados de consumo de materiais referentes a cada serviço através das composições do TCPO (2012). Foram encontradas tanto para alvenaria de blocos cerâmicos, quanto para os blocos em CCA, composições utilizando argamassas mistas e argamassas industrializadas; portanto, para enriquecer o estudo, utilizaram-se os dois tipos de argamassa.

As composições de consumos do TCPO (2012) para a alvenaria de vedação com blocos cerâmicos e blocos de CCA estão demonstradas detalhadamente na Figura 1 e englobam no consumo unitário o material e a mão de obra para preparo da argamassa e execução da alvenaria.

Além disso, também o TCPO (2012) considera na composição um índice de perda de 15% para os blocos cerâmicos, 2% para os blocos em CCA e 20% para argamassa. Isso representa que os blocos em CCA favorecem um ganho de produtividade, conforme afirma Daldegan (2016), e representam um menor desperdício em comparação ao bloco cerâmico.

Pode-se observar, na Figura 1, que as composições dos materiais são bastante específicas, sendo assim, foram pesquisadas nas planilhas orçamentárias de referência as composições de serviços adequadas para cada tipologia construtiva e coerentes com o projeto e as especificações contidas no TCPO (2012).

Observa-se também que as composições para alvenaria com blocos cerâmicos apresentaram consumos mínimos, médios e máximos. Essas faixas se referem aos fatores que influenciam no consumo de materiais para os blocos cerâmicos, em que os valores aproximados ao índice mínimo consideram uma situação favorável para o custo e o planejamento, enquanto os aspectos aproximados ao máximo uma situação desfavorável. Conforme afirma Mattos (2014), é importante utilizar valores médios quando se tratar de um estudo de viabilidade e não haver valores ou informações suficientes sobre a obra.

Com os quantitativos dos serviços, foram realizados os orçamentos, através dos dados das planilhas orçamentárias de referência de preços para as obras de edificação, do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (2018) e da Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP (2018), ambas de utilização com amplitude em Minas Gerais.

Figura 1 – Composições do TCPO

TCPO 2012 (adaptado)					
CÓDIGO DA COMPOSIÇÃO		ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCO CERÂMICO FURADO, 19 X 19 X 39 CM (FUROS VERTICAIS), ESPESSURA DA PAREDE 19 CM, JUNTAS DE 10 MM, ASSENTADO COM ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENEIRAR TRAÇO 1:2:8 - UNIDADE: M²			
06.001.000051.SER					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID	PRODUTIVIDADE VARIÁVEL - CONSUMOS		
			MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
01.021.000001.MOD	PEDREIRO	H	0,59	0,79	1,06
01.026.000001.MOD	SERVEnte	H	0,39	0,51	0,67
06.003.000070.SER	ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENEIRAR TRAÇO 1:2:8	M ³	0,0142	0,0236	0,0459
05.004.000003.MAT	BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO (LARGURA : 190 MM / ALTURA: 190 MM / COMPRIMENTO: 390 MM)	UN.	12,875	13,5	15,591
CÓDIGO DA COMPOSIÇÃO		ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS CERÂMICO FURADO, 19 X 19 X 39 CM, ESPESSURA DA PAREDE 19 CM, JUNTAS DE 10 MM COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA - UNIDADE: M²			
06.001.000057.SER					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID	PRODUTIVIDADE VARIÁVEL - CONSUMOS		
			MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
01.021.000001.MOD	PEDREIRO	H	0,59	0,79	1,06
01.026.000001.MOD	SERVEnte	H	0,39	0,51	0,67
04.004.000007.SER	ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA PARA ASSENTAMENTO DE ALVENARIA	KG	14,2	23,6	45,9
05.004.000003.MAT	BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO (LARGURA : 190 MM / ALTURA: 190 MM / COMPRIMENTO: 390 MM)	UN.	12,875	13,5	15,625
CÓDIGO DA COMPOSIÇÃO		ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO, SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL, - 20 X 30 X 60 CM, ESPESSURA DA PAREDE 20 CM, JUNTAS DE 10 MM COM ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENEIRAR TRAÇO 1:2:9 - UNIDADE: M²			
06.001_SER					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID	CONSUMOS		
01.021.000001.MOD	PEDREIRO	H	0,32		
01.026.000001.MOD	SERVEnte	H	0,32		
06.003.000071.SER	ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENEIRAR TRAÇO 1:2:9	M ³	0,0125		
05.001._.MAT	BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	M ²	1,02		
CÓDIGO DA COMPOSIÇÃO		ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO, SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL, - 20 X 30 X 60 CM, ESPESSURA DA PAREDE 20 CM, JUNTAS DE 10 MM COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA - UNIDADE: M²			
06.001_SER					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID	CONSUMOS		
01.021.000001.MOD	PEDREIRO	H	0,32		
01.026.000001.MOD	SERVEnte	H	0,32		
04.004.000009.SER	ARGAMASSA DE CIMENTO COLANTE PRÉ FABRICADA PARA ASSENTAMENTO DE BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	KG	18,1		
05.001._.MAT	BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	M ²	1,02		

Fonte: TCPO, 2012 (adaptado).

Os preços unitários da planilha da SETOP (2018) são referenciais, limites máximos e correspondem ao custo de cada serviço. Portanto, para os preços da SETOP na composição da planilha orçamentária, utilizaram-se os consumos máximos da TCPO (2012). As composições de custo encontradas através da SETOP se encontram detalhadas através da Figura 2.

Figura 2 – Planilha de custos SETOP

TABELA REFERENCIAL DE PREÇOS UNITÁRIOS PARA OBRAS DE EDIFICAÇÃO REGIÃO TRIÂNGULO E ALTO PARANAÍBA				
S/ DESONERAÇÃO			JULHO/2018 (ADAPTADO)	
CÓDIGO	SETOP	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO
ED-48205	ALV-CEL-015	ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTO CLAVADO, SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL, 20 X 30 X 60 CM, ESPESSURA DA PAREDE 20CM, JUNTAS DE 10 MM COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	M ²	R\$ 86,80
ED-48233	ALV-TIJ-035	ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO FURADO E=20 CM, A REVESTIR	M ²	R\$ 67,50
ED-48307	AUX-ARG-035	ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENERAR TRAÇO 1:2:8	M ³	R\$ 305,34
ED-48308	AUX-ARG-040	ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL HIDRATADA E AREIA SEM PENERAR TRAÇO 1:2:9	M ³	R\$ 386,86

Fonte: SETOP, 2018 (adaptado).

Figura 3 – Planilha de custos SINAPI

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL ESTADO DE MINAS GERAIS				
S/ DESONERAÇÃO			AGOSTO/2018 (ADAPTADO)	
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	ORIGEM DE PREÇO	CUSTO TOTAL
73863/002	ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO CELULAR, 20X30X60CM, ESPESSURA 20CM, ASSENTADOS COM ARGAMASSA TRACO 1:2:9 (CIMENTO, CAL E AREIA), PREPARO MANUAL	M ²	CR	R\$ 94,43
87482	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA VERTICAL DE 19X19X39CM (ESPESSURA 19CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M ² SEM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M ²	CR	R\$ 53,37
87483	ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO PARA REVESTIMENTOS E ASSENTAMENTO DA ALVENARIA, PREPARO MANUAL. AF_06/2014VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL. AF_06/2015	M ³	CR	R\$ 905,61
652	BLOCO VEDACAO CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO 20 X 30 X 60 CM COM PREPARO MANUAL AF_06/2016	M ²	CR	R\$ 74,25

Fonte: SINAPI, 2018 (adaptado).

Para análise dos preços da SINAPI, não foi necessário utilizar os índices do

TCPO, visto que a planilha já considerou um preço de mercado mediano e contém composições completas, não sendo necessário utilizar os dados de consumo. As composições de custo encontradas através do SINAPI se encontram na Figura 3.

Comparando as planilhas de composições de custo referentes à SETOP e ao SINAPI foram notadas algumas divergências e observações importantes necessárias para elaboração do orçamento, que são:

- unidade do material bloco cerâmico do TCPO (2012) está em unidades e da SETOP (2018) em m²;
- a planilha do SINAPI (2018) apresentou apenas composições de serviços completos utilizando argamassas mistas, sendo necessário realizar as composições separadamente para a argamassa industrializada;
- a planilha da SETOP (2018) não possui composição completa para o serviço de alvenaria de tijolo cerâmico, sendo necessário realizar as composições separadamente de acordo com as especificações de consumo obtidas pelo TCPO (2012);
- na planilha da SETOP (2018), não há composições para a alvenaria de vedação com blocos em CCA que contenham argamassas mistas, pois não foram encontradas referências utilizando esse material;
- unidade do material argamassa industrializada do TCPO (2012) está em kg e nas planilhas em m³;
- não há na planilha da SETOP (2018) nenhum item específico à argamassa industrializada nem de blocos em CCA.

De acordo com essas observações, foi necessário realizar 4 tipos de conversões para realização do orçamento. O orçamento dos serviços se encontra na Figura 5, em que cada conversão realizada está em negrito e há um número sobrescrito, que refere-se respectivamente à sequência de conversões descritas a seguir.

1) O componente do bloco cerâmico é dimensionado por unidades na planilha do TCPO, sendo assim, foi necessário converter essa medida para m² para realizar o orçamento através das planilhas de custo. Considerando as dimensões do bloco de 19 cm x 39 cm, tem-se para um bloco 741 cm² de área, sendo necessários, portanto, aproximadamente 13,5 blocos para confecção de 1 m² de alvenaria.

2) Como não há na planilha da SETOP (2018) nenhum item específico à argamassa industrializada, foi realizada uma busca de preços online para compor o orçamento. O valor da argamassa industrializada para assentamento e revestimento da Precon (2018) é de R\$ 15,09 para sacos de 40 kg; sendo assim, para calcular o preço da argamassa considerou-se o valor unitário do kg, de R\$ 0,38. A Figura 4 apresenta o valor da argamassa.

Figura 4 - Preço argamassa assentamento e revestimento Precon

Argamassa Assentamento e Revestimento Cinza 40Kg Precon

★★★★★ (0) Cód. 8685771



Preço válido para o dia 03/10/2018 na região Belo Horizonte e apenas para retirada do produto diretamente nas Lojas. O valor do frete não está incluso. Verifique disponibilidade de estoque em nossas Lojas. Fotos meramente ilustrativas.

R\$ 15,09 /cada

vendido e entregue por Leroy Merlin

Fonte: Leroy Merlin, 2018.

3) Para a composição do preço unitário do SINAPI para argamassas industrializadas, independentemente do bloco, foi encontrada uma composição para as argamassas industrializadas e substituídas na composição analítica utilizando argamassas mistas. O valor da composição da argamassa industrializada multiuso é de R\$ 905,61. Os dados de consumo também foram alterados de acordo com as especificações das fichas técnicas das argamassas da Precon (2018).

a. Para a argamassa industrializada de assentamento de blocos cerâmicos, a ficha se encontra no Anexo I, de onde se considerou uma densidade média de 1800 kg/m^3 e o consumo de argamassa para o bloco cerâmico de 17 kg/m^2 . Portanto, obteve-se um consumo de $0,0094 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de argamassa, que multiplicado pelo valor da composição resulta em um valor de R\$ 8,55, que, adicionado ao custo da composição para argamassa mista de R\$ 47,73, resulta no valor de R\$ 56,28.

b. Para a argamassa industrializada de assentamento de blocos de CCA, a ficha se encontra no Anexo II, de onde se considerou uma densidade média de 1600 kg/m^3 e o consumo de argamassa para o bloco cerâmico de 18 kg/m^2 . Portanto, obteve-se um consumo de $0,0113 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de argamassa, que multiplicado pelo valor da composição resulta em um valor de R\$ 10,19, que, adicionado ao custo da composição para argamassa mista de R\$ 91,35, resulta no valor de R\$ 101,54.

4) Por não encontrar nenhuma referência individual dentro da Planilha SETOP

(2018) para o bloco em CCA, apropriou-se do valor do bloco do SINAPI (2018). Para esse valor, foi considerada a composição analítica do item de concreto celular utilizando argamassa mista no valor unitário de R\$ 74,25.

Os resultados demonstrados na Figura 5 foram sintetizados e resumidos para análise através da Tabela 1, a fim de obter-se um preço médio para análise do orçamento. As planilhas orçamentárias de referência de preços para as obras de edificação incluem, em suas composições, o valor da mão de obra, portanto, para o orçamento, foram considerados apenas os itens referentes a materiais e serviços do TCPO (2012).

Figura 5 – Planilha Orçamentária

UNIDADES DE ALVENARIA (M ²)	800	UNIDADE	CONSUMOS		SETOP		SINAPI	
			UNITÁRIOS	TOTAIS	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
ALVENARIA COM BLOCO CERÂMICO E ARGAMASSA MISTA	Bloco Cerâmico	un.	1,1549 ¹	924	R\$ 67,50	R\$ 62.364,00	R\$ 53,37	R\$ 42.696,00
	Argamassa Mista 1:2:8	m ³	0,0459	37	R\$ 305,34	R\$ 11.212,08		
					TOTAL	R\$ 73.576,08		
ALVENARIA COM BLOCO CERÂMICO E ARGAMASSA	Bloco Cerâmico	un.	1,1574 ¹	926	R\$ 67,50	R\$ 62.500,00	R\$ 56,28 ³	R\$ 45.026,39
	Argamassa Industrializada	kg	45,9	36720	R\$ 0,38 ²	R\$ 13.953,60		
					TOTAL	R\$ 76.453,60		
ALVENARIA COM BLOCO EM CCA E ARGAMASSA MISTA	Blocos em CCA	m ²	1,02	816	R\$ 74,25 ⁴	R\$ 60.588,00	R\$ 94,43	R\$ 75.544,00
	Argamassa Mista 1:2:9	m ³	0,0125	10	R\$ 386,86	R\$ 3.868,60		
					TOTAL	R\$ 64.456,60		
ALVENARIA COM BLOCO EM CCA E ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	Blocos em CCA	m ²	1,02	816	R\$ 86,60	R\$ 70.665,60	R\$ 101,54 ³	R\$ 81.230,49
	Argamassa Industrializada	kg	18,1	14480	R\$ -	R\$ -		
					TOTAL	R\$ 70.665,60		

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Tabela 1 – Preço médio entre orçamentos

MATERIAL	SETOP	SINAPI	PREÇO MÉDIO
BLOCO CERÂMICO C/ ARGAMASSA MISTA	R\$73.576,08	R\$42.696,00	R\$58.136,04
BLOCO CERÂMICO C/ ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	R\$76.453,60	R\$45.026,39	R\$60.739,99
BLOCO CCA C/ ARGAMASSA MISTA	R\$64.456,60	R\$75.544,00	R\$70.000,30
BLOCO CCA C/ ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	R\$70.665,60	R\$81.230,49	R\$75.948,05

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Em virtude dos resultados expostos na Figura 5 e na Tabela 1, pode-se observar

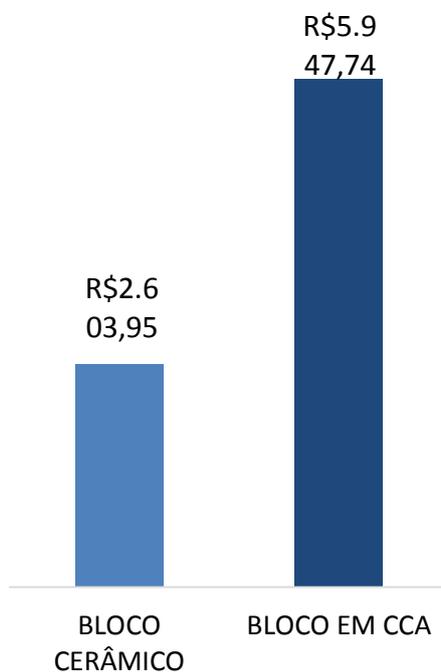
que houve uma grande diferença para o orçamento entre o SETOP (2018) e o SINAPI (2018), de cerca de 30 mil reais para o orçamento em bloco cerâmico, e cerca de 10 mil reais para o bloco em CCA. Essas diferenças representam até 42% para o bloco cerâmico e de até 15% para o bloco em CCA.

Isso indica que, para o bloco em CCA, não houve tanta variação de preços de um orçamento para outro. Para o bloco cerâmico, o SETOP (2018) resultou em um orçamento mais caro, e, para o bloco em CCA, o SINAPI (2018) resultou em um orçamento mais caro. De toda forma, para uma análise mais direta dos resultados, foram considerados os resultados de preços médios.

A partir dos resultados médios, foi realizada análise utilizando o mesmo bloco com argamassas diferentes e utilizando também a mesma argamassa para o mesmo bloco. Observaram-se, dessa forma, qual bloco e qual argamassa seriam mais viáveis economicamente.

Tanto para o bloco cerâmico quanto para o bloco em CCA, a argamassa industrializada se apresentou mais cara. Essa diferença foi maior para os blocos em CCA, conforme representa o Gráfico 1, que demonstrou um aumento de 4% para o bloco cerâmico e, para o bloco em CCA, 8% de aumento entre a utilização de uma argamassa para outra.

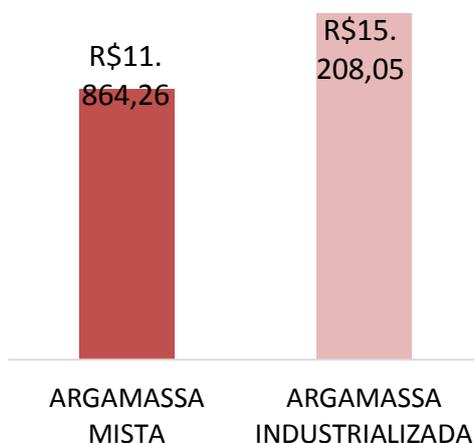
Gráfico 1 – Diferença de custos para argamassas diferentes e mesmo bloco



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O Gráfico 2 demonstra a diferença entre os preços dos blocos utilizando como parâmetro as mesmas argamassas; tanto para argamassa mista quanto para industrializada, o bloco em CCA mostrou-se mais caro.

Gráfico 2 – Diferença de custos para blocos diferentes e mesma argamassa



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O bloco em CCA utilizando argamassa mista é 17% mais caro que o bloco cerâmico, enquanto para a argamassa industrializada, essa diferença é de 20% mais onerosa. Isso demonstra que a opção mais barata seria a utilização de blocos cerâmicos com argamassas mistas; a mais cara seria a utilização de blocos em CCA com argamassas industrializadas.

Ainda utilizando o TCPO (2012), foram coletados os dados de produtividade variável para o serviço de assentamento de alvenaria de blocos de vedação e de componentes de concreto celular. Através dos dados de produtividade, estimou-se a duração necessária para a execução dos serviços, visto que a defasagem de tempo entre os sistemas construtivos serve como elemento comparativo para os resultados dos orçamentos, à medida que os custos da mão de obra são significativos na indústria da construção, representando 32,4% do custo total (IBGE, 2016).

Uma das vantagens citadas no referencial teórico a respeito da utilização de blocos em CCA foi a da alta produtividade, chegando a ser três vezes mais rápida do que na utilização de blocos cerâmicos. Através dos dados de produtividade variável da mão de obra fornecidos pela TCPO (2012), estimou-se a duração necessária para a execução dos serviços. A Tabela 2 apresenta os resultados das durações necessárias para execução dos serviços.

Tabela 2 – Duração necessária para execução dos serviços

DESCRIÇÃO	MÃO DE OBRA	PRODUTIVIDADE VARIÁVEL (Hh/m ²)			TEMPO DE EXECUÇÃO (DIAS)		
		MÍN	MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX
ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO FURADO	PEDREIRO	0,51	0,64	0,74	41	51	59
	SERVENTE	0,31	0,38	0,44			
ALVENARIA DE COMPONENTES DE CONCRETO CELULAR	PEDREIRO	0,30	0,38	0,60	24	31	48
	SERVENTE	0,18	0,23	0,36			

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A diferença entre os tempos de execução de blocos cerâmicos para blocos em CCA foi de 17 dias para a produtividade mínima, 20 dias para a produtividade média e 11 dias para a produtividade máxima. Essas defasagens variam de 19% a 41%, o que significa uma redução de quase metade do tempo gasto entre os sistemas construtivos, em que o bloco em CCA necessita de menos tempo de execução.

CONCLUSÕES

Com esta pesquisa, foi possível observar e compreender melhor a engenharia de custos. Houve dificuldades para localizar composições de custos adequadas e compatíveis de uma planilha para outra. Foram necessárias muitas adaptações para chegar a uma planilha em que fossem feitas as comparações necessárias entre os sistemas construtivos. Esse fato trouxe a percepção das dificuldades existentes para elaboração de um orçamento e da necessidade de uma composição correta e precisa para chegar a um resultado confiável.

Os orçamentos realizados obtiveram divergências consideráveis. Para o bloco cerâmico, o SETOP (2018) resultou em um orçamento mais caro; para o bloco em CCA, o SINAPI (2018) resultou em um orçamento mais caro. Apesar das divergências, considerou-se uma média dos dois orçamentos para poder comparar os resultados.

Tanto para o bloco cerâmico quanto para o bloco em CCA, a argamassa industrializada se apresentou mais cara; independentemente da argamassa utilizada, o bloco em CCA mostrou-se mais caro. Isso demonstra que a opção mais barata seria a utilização de blocos cerâmicos com argamassas mistas, enquanto a mais cara seria a utilização de blocos em CCA com argamassas industrializadas.

O alto custo do concreto celular, conforme abordado no referencial teórico, se deve ao fato de ainda existirem poucos fornecedores no mercado e de se utilizarem materiais mais caros, como o agente expensor ou aditivos em sua mistura. No entanto, também é citado que o preço pode ser reduzido através da diminuição de quase 60% do peso da vedação, aliviando as cargas e o custo final da estrutura. Outro fator que reduz o custo é a redução dos prazos entre a alvenaria com blocos cerâmicos e a alvenaria com blocos em CCA.

A duração estimada dos dados de produtividade variável da mão de obra entre os blocos cerâmicos e os blocos em CCA demonstrou que o bloco em CCA necessita de menos tempo de execução. O custo do orçamento pode ser reduzido através da redução do tempo necessário para execução; no entanto, no caso estudado as composições já incluíam os preços da mão de obra. Sendo assim, a demonstração da redução do tempo serviu apenas para ilustrar a quantidade de tempo economizada entre um método construtivo e outro.

Apesar de o custo não ser favorável para o CCA, outros critérios devem ser analisados na escolha do método a ser empregado. O concreto celular tem um controle tecnológico mais rigoroso do que o da alvenaria convencional; além disso, os blocos cerâmicos locais não possuem muita qualidade, e o desempenho térmico e acústico no concreto celular é considerado mais elevado. O índice de perda é de 15% para os blocos cerâmicos e de 2% para os blocos em CCA, representando um menor desperdício de material quando se utilizam os blocos em CCA.

Sendo assim, economicamente, os blocos em CCA não se apresentaram viáveis; no entanto, dependendo dos critérios do cliente, pode ser uma alternativa a ser aplicada. Vale ressaltar que toda tecnologia é cara até que se torne popular no mercado; dessa forma, futuramente essa diferença de custos poderá ser reduzida, e a vedação com blocos de concreto celular poderá ser mais empregada.

REFERÊNCIAS

- DALDEGAN, E. Blocos de concreto celular: principais características e vantagens. **Engenharia Concreta**, 2016. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/blocos-de-concreto-celular-principais-caracteristicas-e-vantagens/>. Acesso em: 13 de março de 2018.
- GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4. ed. São Paulo: PINI, 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **PAIC – Pesquisa anual da indústria da construção**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. v. 26. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2016_v26_informativo.pdf. Acesso em: 03 out. 2018.
- LEROY MERLIN. **Argamassa assentamento e revestimento cinza 40Kg Precon**. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/argamassa-assentamento-e-revestimento-cinza-40kg-precon_86857715. Acesso em: 03 out. 2018.
- MATTOS, A. D. **Como preparar orçamento de obras: dicas para orçamentistas, estudo de caso, exemplos**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 2014.
- MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.
- SETOP – Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas. **Tabela referencial de obras de edificações: triângulo – sem desoneração**. Belo Horizonte, julho de 2018. Disponível em: http://www.transportes.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/2018-jul/201807_SETOP_TRIANGULO_SEM_DESONERACAO.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.
- SINAPI. **Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas**. Minas Gerais, agosto de 2018. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-mg/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MG_082018_NaoDesonerado.zip. Acesso em: 10 setembro 2018.
- TCPO – Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos. 14. ed. São Paulo: Pini, 2012.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INCLUSÃO DE FIBRAS DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO¹

Janone Moreira Braga

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: janonebraga@unipam.edu.br

Rangel de Abreu Moreira da Silva

Graduando do 10º período do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: rangelmoreira@unipam.edu.br

Douglas Ribeiro Oliveira

Professor do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: douglasro@unipam.edu.br

Renata Oliveira Melo

Professora de Graduação do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: renataom@unipam.edu.br

RESUMO: O concreto é utilizado como material de construção civil há muitos anos, porém seu comportamento ainda precisa evoluir. Para analisar o efeito da adição de fibras de aço em vigas, realizou-se a confecção de 40 vigas de concreto armado, com variações dos teores de inclusão de fibras entre 0,00% e 2,00%. Elas foram ensaiadas e pôde-se concluir que, em se tratando de ganho de resistência, a inclusão de fibras de aço no concreto é compensativa, quando analisado o momento fletor.

PALAVRAS-CHAVE: Vigas. Fibras de aço. Concreto reforçado com fibras de aço. CRFA.

ABSTRACT: Concrete has been used as building material for several centuries, and its behavior still needs to evolve. In order to analyze the effect of the addition of steel fibers on small beams, 40 reinforced concrete beams were made, with variations of the inclusion of fibers between 0.00% and 2.00%. They were tested and it can be concluded that, in the case of resistance gain, the inclusion of steel fibers in the concrete is compensatory, when the bending moment is analyzed.

KEYWORDS: Beams. Fibers made of steel. Concrete reinforced with steel fibers. CRFA.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é utilizado pelo homem há muitos anos. No princípio era considerado apenas um mero aglomerante até que se tornou o produto mais fabricado no mundo. Ele se foi aperfeiçoado; seu desenvolvimento esteve proporcionalmente

¹ Trabalho apresentado na seção Artigos – Smarts Cities - V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

ligado ao nível de conhecimento do homem em cada uma de suas épocas distintas, até culminar no seu uso estrutural dos dias atuais. Houve um incremento notável do conhecimento e da sua aplicação especialmente nos últimos cem anos, devido à descoberta do seu uso conjunto com o aço, formando o concreto armado e permitindo assim a execução de estruturas mais esbeltas. Dentre as vantagens inerentes a esse material, que o tornam o carro-chefe da construção civil, podem ser citados a versatilidade, a durabilidade e o desempenho, adaptando-se a praticamente todos os locais e circunstâncias e, ao mesmo tempo, proporcionando uma vida útil adequada às construções e um custo competitivo (ISAIA, 2011).

Com um posicionamento análogo ao supracitado, Silva (2017) afirma que, por ser um material de alta capacidade de adaptação e com uma grande quantidade de vantagens, o concreto tornou-se o compósito mais utilizado no Brasil. Em decorrência disso, há toda uma cadeia produtiva desenvolvida, em nível nacional, voltada ao setor, que indiretamente alimenta a economia, gerando empregos à população e capital para o país.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), mecanicamente o concreto apresenta a vantagem de ser um material bastante resistente à compressão, porém, de pouca resistência quando solicitado à tração. Esse fato pode ser explicado pelas características dos constituintes do concreto, visto que eles não apresentam propriedades que são capazes de impedir a propagação de fissuras, o que o classifica como um material frágil (GÓIS, 2010).

O conceito de reforço de material frágil, utilizando várias formas de fibras descontínuas, é conhecido desde tempos antigos. Em decorrência disso, uma possível alternativa que pode melhorar ou solucionar o referido anteriormente é a adição de fibras ao concreto, formando um concreto especial, o Concreto Reforçado com Fibras ou simplesmente CRF. Segundo Mehta e Monteiro (2014), dentre os diferentes tipos de fibras, as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais. Para Migliorini *et al.*, (2012), as fibras podem atuar no concreto, aumentando a resistência mecânica e a ductilidade e controlando a fissuração gerada.

Esse trabalho teve como objetivo geral a análise da influência da adição de fibras de aço em pequenos exemplares de vigas de concreto armado, visto a inviabilidade da análise em vigas de dimensões próximas às utilizadas na construção civil. A análise teve enfoque especialmente no que se refere à resistência à tração e fissuração, pois, quando as fibras são adicionadas ao concreto, provocam modificações no seu comportamento mecânico. Sendo assim, se fez necessária uma análise para que fossem verificadas as características que a fibra confere à matriz cimentícia, variando os teores de fibras adicionadas e as armaduras presentes em cada viga, sendo que as elas foram dimensionadas para resistir a dois casos específicos: aos esforços cortantes e aos momentos fletores.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- caracterizar experimentalmente os agregados (areia fina lavada e areia média lavada) e demais materiais de construção utilizados;
- dosar e aferir a resistência à compressão e à tração de um traço de concreto com inclusão de fibras de aço;

- aferir experimentalmente o comportamento à flexão de vigas confeccionadas com CRF, fabricadas e rompidas com fibras de aço em diferentes teores de incorporação.

A execução da pesquisa foi necessária em decorrência da discrepância entre resistência à tração e resistência à compressão do concreto, visto que atualmente o concreto ainda é bem mais suscetível à ruptura à tração do que na compressão; isto ocorre mesmo em estruturas que têm a inclusão de armaduras de aço em sua matriz. Portanto, o maior desafio relacionado à continuidade do desenvolvimento do concreto como material de construção é melhorar suas propriedades mecânicas, especialmente no que tange à capacidade de deformação, ductilidade, resiliência e resistência à tração.

2 DESENVOLVIMENTO

Há registros da utilização do concreto há mais de vinte séculos, sendo inicialmente utilizado como um mero aglomerante até culminar no seu uso estrutural. Durante esse período, o aperfeiçoamento e o desenvolvimento do concreto como material estrutural esteve diretamente ligado ao nível de conhecimento do homem em cada época de sua história. Houve um incremento notável do conhecimento e da sua aplicação especialmente nos últimos cem anos, devido à descoberta do seu uso conjunto com o aço, formando o concreto armado e permitindo assim a execução de estruturas mais esbeltas (ISAIA, 2011).

Atualmente, estima-se que o consumo mundial de concreto seja da ordem 19 bilhões de toneladas métricas ao ano, o que faz do concreto um dos materiais mais consumidos no mundo.

Dentre as vantagens inerentes a esse material, que o tornam o carro-chefe da construção civil, podem ser citados também sua versatilidade, durabilidade e desempenho, adaptando-se a praticamente todos os locais e circunstâncias e, ao mesmo tempo, proporcionando uma vida útil adequada às construções a um custo competitivo. Outra vantagem esta relacionada à sua constituição como material cerâmico, cuja matéria-prima existe em praticamente todos os lugares do planeta, além, ainda, da possibilidade de incorporação, na sua composição, de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente sem afetar seu desempenho final (ISAIA, 2011).

Concreto é um material compósito que se resume, basicamente, em um aglomerante no qual estão associados partículas ou fragmentos de agregados. (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Os componentes básicos do concreto são cimento, areia (agregado fino), brita (agregado graúdo) e água. Porém, de acordo com as características requeridas pelo concreto, podem ser adicionados, por exemplo, outros elementos, como aditivos químicos, adições minerais e fibras.

Sobre fibras, Figueiredo (2011) salienta que as fibras utilizadas em concretos são elementos descontínuos, em que o comprimento é bem maior do que a maior dimensão da seção transversal. Quando adicionadas ao concreto, essas fibras formam o Concreto Reforçado com Fibras (CRF), que pode ser considerado um compósito em que as fibras têm um papel essencial, reforçando características do mesmo. As fibras

que são destinadas ao reforço estrutural são denominadas de maneira genérica como macrofibras e podem ser de aço ou poliméricas.

Mehta e Monteiro (2014) apresentam um posicionamento semelhante ao autor supracitado: afirmam que, dentre os diferentes tipos de fibras, as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais, sendo que as fibras de polipropileno (poliméricas) fibriladas e em forma de tecido também vêm sendo utilizadas.

No Brasil, a ABNT NBR 15530:2007 determina a tipologia e classificação das fibras de aço em tipos e classes, conforme, respectivamente, a configuração geométrica e o tipo de aço que as deu origem.

O material constituinte das fibras define o módulo de elasticidade e a resistência mecânica, as quais são duas propriedades muito influentes sobre a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. Somente as fibras que apresentam maior capacidade de deformação na ruptura e maior resistência à tração que a matriz de concreto são aceitas como fibras com capacidade de reforço das matrizes cimentícias (FIGUEIREDO, 2011).

A adição de fibras ao concreto é justificada pelo ganho de melhoria na resistência à fissuração, tenacidade, resistência à fadiga e ao impacto, dentre outras propriedades importantes relacionadas à engenharia.

Vale ressaltar que existem fibras fabricadas de outros materiais que apresentam resistência maior que as fibras produzidas de aço, porém atualmente elas possuem um custo inviável para aplicação em obras convencionais da Engenharia Civil, com seu uso ficando restrito a obras especiais em que se faz necessário obter o máximo desempenho. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pode-se observar o concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) no seu estado fresco, pronto para o lançamento e moldagem das mais diversas estruturas.

O concreto comum, quando submetido a esforços de tração, apresenta grandes dificuldades em interromper a propagação de fissuras. Isso ocorre quando a direção de crescimento das fissuras é transversal à direção principal da tensão, pois a área disponível para suporte de carga é reduzida, o que ocasiona aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Devido ao fato de apresentar uma superfície total de ruptura menor, a energia gasta para ruptura por tração no concreto também é reduzida, o que caracteriza um comportamento mais frágil. Nesse contexto, quando há a inclusão de fibras no compósito, elas realizam um trabalho de ponte de transferência de tensão através das fissuras que aparecem no concreto. Isto gera um mecanismo de aumento de energia muito interessante, associado à ruptura do material e à restrição da propagação de fissuras (FIGUEIREDO, 2011).

As fibras possuem um papel muito importante na definição do custo do concreto. Figueiredo (2011) define que um consumo regular na ordem de 40 kg/m³ ou 0,5% da fração volumétrica praticamente dobrará o custo unitário por metro cúbico. Mehta e Monteiro (2014) realizam uma indicação genérica na ordem de 80 kg/m³ a 160 kg/m³ equivalentes, respectivamente, a 1% e 2% da fração volumétrica, porém, em se tratando de viabilidade, tais faixas de consumo são economicamente inviáveis.

A caracterização das fibras de aço é realizada com embasamento nas especificações da ABNT NBR 15530:2007, em que as fibras são classificadas quanto à

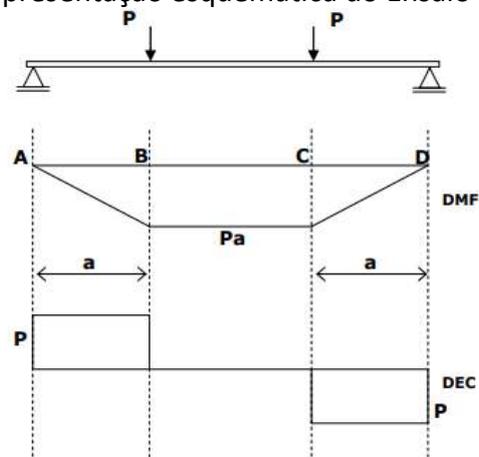
tipologia, baseadas na sua conformação geométrica, podendo ser do Tipo A, que é uma fibra com ancoragem nas extremidades, Tipo C, que é uma fibra corrugada, e Tipo R, que é uma fibra de aço reta. Quando saem da indústria, elas também são classificadas quanto ao tipo de material (aço) de que foram fabricadas, podendo ser de um arame trefilado a frio (Classe I), chapa laminada cortada a frio (Classe II) ou oriunda de arame trefilado e escarificado (Classe III). Além disso, a norma também dita as tolerâncias máximas quanto à geometria e à resistência das fibras.

Sobre vigas, a ABNT NBR 6118:2014 define que são “Elementos lineares em que a flexão é preponderante”, sendo que elementos lineares “são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal [...]”.

Para o dimensionamento de uma viga de concreto armado, são realizados cálculos, de acordo com a referência normativa supracitada, para determinação da armadura longitudinal e armaduras transversais que serão utilizadas para combater, respectivamente os momentos fletores e esforços cortantes. Um dos ensaios mais empregados nas verificações de resistência é o Ensaio de Stuttgart.

Os “Ensaio de Stuttgart” realizados na Alemanha, no início do século passado, são um marco histórico para o desenvolvimento do estudo teórico do Concreto Armado. O ensaio consiste no carregamento gradativo de uma viga retangular biapoiada, com duas cargas simétricas concentradas.

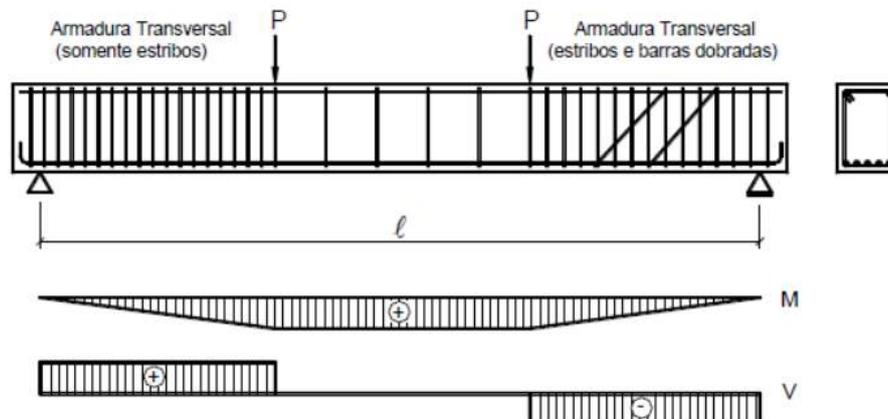
Figura 1 – Representação esquemática do Ensaio de Stuttgart



Fonte: Rocha *et al.*, 2004.

Na Figura 2, está representada uma viga biapoiada de concreto armado, recebendo duas cargas concentradas “P” de igual intensidade, na maioria dos casos sua armadura será composta pela armadura longitudinal, que tem a função de resistir a esforços de tração provenientes da flexão, e pela armadura transversal, dimensionada para superar os esforços cortantes. Essa última pode ser constituída por estribos verticais representados pelo lado esquerdo da viga ou por estribos e barras dobradas representados no lado direito da viga (BASTOS, 2015).

Figura 2 – Viga biapoiada com cargas simétricas concentradas, diagramas de momento fletor e esforço cortante



Fonte: Bastos, 2015.

As etapas de estudo foram divididas com o objetivo de aferir e avaliar, respectivamente, o melhor teor de fibras a ser usado e qual a influência desses teores na resistência mecânica do compósito nos dois casos: vigas armadas para resistir aos esforços cortantes e vigas armadas para resistir aos momentos fletores.

Foram moldadas vinte vigas para cada um dos tipos de armadura (esforços cortantes e momento fletor); elas foram confeccionadas variando-se os teores de incorporação das fibras metálicas, sendo os teores, respectivamente, 0,0% (Referência), 0,5%, 1% e 2%, ou seja, cinco exemplares de cada teor de incorporação, totalizando um total de 40 vigas.

As dimensões das vigas confeccionadas foram de 7,5 cm de largura, 12 cm de altura e 90 cm de comprimento. A justificativa para tais dimensões se deu por serem valores preestabelecidos pelo Laboratório de Tecnologia dos Materiais de Construção do UNIPAM, visto que esse é o tamanho padrão que as vigas devem possuir, para que possam ser rompidas na Prensa EMIC® DL 20000, e também pelo fato de que o referido laboratório disponibiliza formas para as vigas prontas para o uso, no tamanho preestabelecido.

No dimensionamento das armaduras, foram adotadas duas tipologias: vigas armadas longitudinalmente, sem a presença de estribos (com a finalidade de se analisar a influência das fibras de aço no esforço cortante) e vigas armadas transversalmente, sem a presença de armaduras longitudinais (com a finalidade de se analisar a influência das fibras de aço no momento fletor). Sendo assim, baseando-se em trabalhos anteriores, foram definidas, respectivamente, as seguintes armaduras para analisar os esforços cortantes e momentos fletores:

- 2 barras longitudinais com $\varnothing 10,00$ mm (sem estribos);
- estribos com $\varnothing 4,20$ mm espaçados a cada aproximadamente 7,00 cm (com a presença apenas de uma armadura porta estribos, feita de arame recozido trançado).

Os cálculos das armaduras das vigas foram realizados em concordância com a ABNT NBR 6118:2014, levando em consideração tanto a flexão quanto o cisalhamento, respeitando as recomendações da norma supracitada, com a finalidade de se

comparar os valores obtidos por meio de ensaios com os valores esperados por meio da realização dos cálculos. Os quadros a seguir representam os cálculos executados.

Quadro 1 – Dimensionamento esforço cortante

1 - Verificação das bielas à compressão (sem coeficiente de segurança)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$VRd2 = 0,27 \cdot \alpha v2 \cdot fcd \cdot bw \cdot d$	$fcd = fck = 39,8 \text{ MPa}$	$VRd2 = 40,6 \text{ KN}$
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
	$d = 6,0 \text{ cm}$	
	$\alpha v2 = 1 - (fck/250)$	
2 - Cálculo do Vsw (parcela de força cortante absorvida pela armadura transversal)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Asw = 2,55 \cdot (Vsd/6) - (0,25 \cdot bw)$	$Asw = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$ $bw = 7,5 \text{ cm}$	$Vsw = Vsd = 13,82 \text{ KN}$
3 - Cálculo do Vc (parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Vc = 0,6 \cdot fctd \cdot bw \cdot d$	$fctd = (0,3 \cdot 0,7 \cdot fck^{0,67})/10 = 0,245 \text{ KN/cm}^2$	$Vc = 6,61 \text{ KN}$
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
	$d = 6,0 \text{ cm}$	
4 - Cálculo da força cortante resistente de cálculo (relativa à ruína por tração diagonal)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$VRd3 = Vc + Vsw$	$Vc = 6,61 \text{ KN}$ $Vsw = 13,82 \text{ KN}$	$VRd3 = 20,43 \text{ KN}$

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Quadro 2 – Dimensionamento momento fletor

Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Rcc = Fyd \cdot As = 0,85 fcd \cdot 0,8 x \cdot bw$	$Fyd = 50 \text{ KN/cm}^2$	$x = 3,87 \text{ cm}$
	$Fcd = 3,98 \text{ KN/cm}^2$	
	$As = 1,57 \text{ cm}^2$	
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
$M = As \cdot fyd \cdot (d - 0,4x)$	$d = 6,0 \text{ cm}$	$Mr = 349,5 \text{ KN} \cdot \text{cm}$
	$Fyd = 50 \text{ KN/cm}^2$	
	$As = 1,57 \text{ cm}^2$	

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Foram moldados e ensaiados corpos de prova para a realização do ensaio de compressão axial, em três corpos de prova de cada teor de adição de fibras de aço. A média da resistência mecânica do concreto (fck) de cada teor de adição, aferidos

através dos ensaios de compressão, está disposta no Quadro 3 – Resultados ensaio de compressão

Quadro 3 – Resultados ensaio de compressão

	Teor de Fibras (%)			
	0,0	0,5	1,0	2,0
Resistencia (MPa)	43,3	55,0	40,2	40,3
	39,9	49,2	47,8	37,4
	36,2	51,0	45,2	39,5
Média	39,8	51,7	44,4	39,1

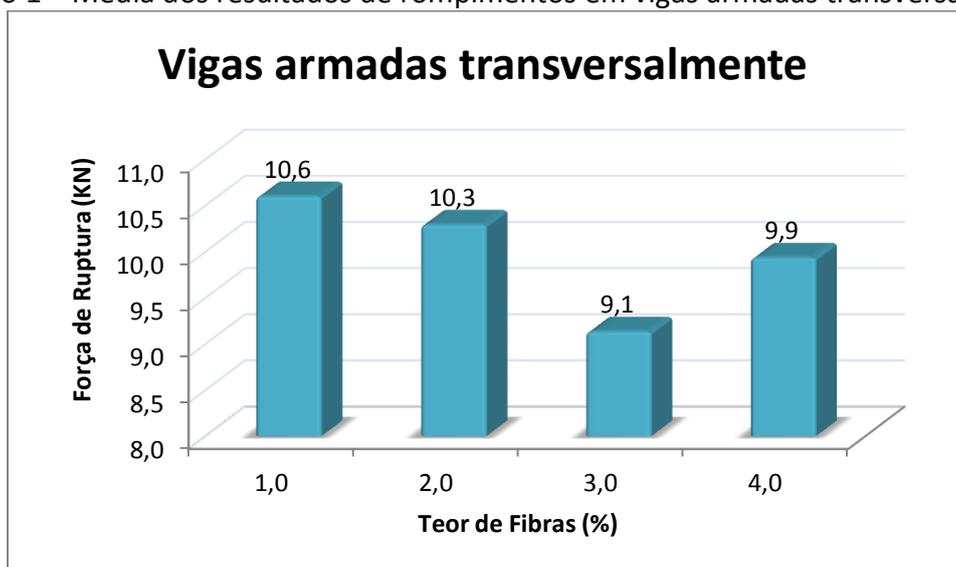
Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Analisando os dados do Quadro 3, com base nos valores de referência (0,0% de adição de fibras), observa-se que o teor de adição em que se obtiveram os melhores resultados foi o de 0,5%, já que houve um ganho de resistência de aproximadamente 30%. No teor de 1,0%, também houve um acréscimo de resistência, ligeiramente menor ao anterior, de aproximadamente 12%. Já no teor de 2,0% de adição, houve uma pequena diminuição na resistência, porém ela não chegou a ser significativa.

Durante os ensaios à flexão realizados nas vigas, foram analisadas as cargas suportadas e o possível mecanismo de ruptura ocorrido. Posteriormente, foi realizado um comparativo com os valores calculados inicialmente. Como as armaduras das vigas possuíam duas tipologias (armadas longitudinalmente e transversalmente), foram assim separadas em dois grupos de 20 exemplares, com cada grupo se subdividindo em 4 grupos de 5 unidades; esses subgrupos foram determinados pela porcentagem de adição de fibras que cada qual possuía.

Podem-se observar os resultados para os rompimentos das vigas no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Média dos resultados de rompimentos em vigas armadas transversalmente



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Analisando o Gráfico 1, observou-se que as adições de fibras de aço não surtiram nenhum ganho ou perda de resistência significativa. De acordo com os valores médios de resistência das vigas, eles chegaram a ter uma pequena decaída, porém isso pode ter sido resultado de alterações mínimas em alguns fatores, como adensamento do concreto, alterações na umidade dos agregados, cura do concreto, etc.

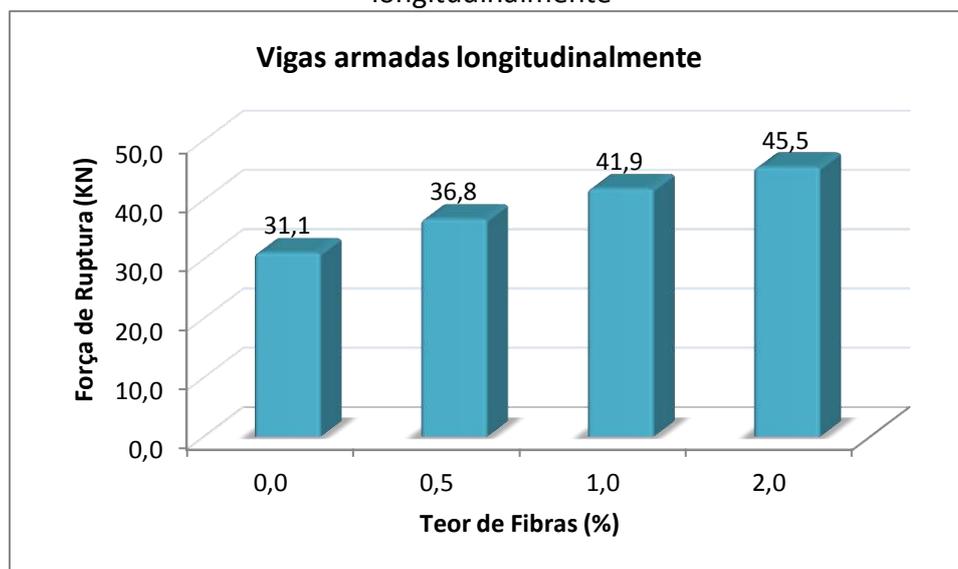
Os resultados podem ser explicados de acordo com o defende Cavallin Neto e Frederico (2016): esse modelo de armadura é mais densamente armado do que o modelo com armadura longitudinal, a adição de fibras pode ter causado falta de trabalhabilidade no compósito, dificultando o seu adensamento e, com isso, aumentando o índice de vazios em seu interior.

Já para as vigas armadas longitudinalmente, quanto à tipologia das fissurações ocorridas nas vigas, foi constatado que, nos exemplares com 0,0% e 0,5% de inclusão fibras, as vigas chegaram à ruptura em sentido diagonal pouco antes dos apoios, com as respectivas cargas médias: 31,1KN e 36,8KN. Considerando os mecanismos de rupturas, possivelmente os exemplares chegaram a sua carga última por meio da ruína por tração diagonal, caracterizada pela insuficiência de armadura transversal destinada a absorver as tensões devidas ao cisalhamento.

Já nos exemplares com 1,0% e 2,0% de inclusão de fibras, a ruptura ocorreu em sentido diagonal aos pontos de apoio, com as cargas médias de 41,9KN e 45,6KN, respectivamente. Ambas as cargas mencionadas anteriormente ultrapassaram o valor limite definindo pela $VRd2 = 40,6KN$ (força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto); considerando o exposto acima possivelmente os exemplares chegaram à ruptura pelo esmagamento das bielas comprimidas, visto que a armadura longitudinal resistiu aos esforços ao momento fletor, e esse mecanismo de ruptura ocorre quando a armadura transversal da viga é suficiente e a largura da viga é pequena para resistir aos esforços de compressão gerados pela força cortante.

No Gráfico 2, podem ser observados os resultados com o rompimento das vigas armadas longitudinalmente.

Gráfico 2 – Média dos resultados de rompimentos em vigas armadas longitudinalmente



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como se pode observar no Gráfico 2, considerando como referência as vigas sem nenhuma adição de fibras, quanto maior a porcentagem de adição, maior foi a força necessária para a ruptura da viga. O melhor resultado foi alcançado na adição de 2,0% de fibras, sendo que o ganho de resistência relativo às vigas de referência foi de aproximadamente 46%. O ganho de resistência supracitado era esperado, pois a inclusão de fibras confere maior ductilidade aos exemplares, atuando como pontes de tensões nos locais fissurados, diminuindo assim a concentração de tensões nas extremidades das fissuras e possibilitando que, com isso, o concreto apresente certa capacidade resistente após a fissuração. Ou seja, as fibras quando incluídas no concreto mitigam a propagação e ampliação de fissuras, fazendo com que ele apresente um comportamento pseudodúctil, conferindo uma maior resistência a ele.

3 CONCLUSÕES

Embasado nos ensaios executados e nos resultados expostos, pode-se afirmar que os objetivos deste trabalho foram alcançados. Verificou-se, na prática, qual a influência da adição de fibras de aço no concreto em vigas armadas, analisando como se comportou o CRFA diante dos dois dos principais esforços aos quais as vigas geralmente estão expostas: esforço cortante e momento fletor.

Os corpos de prova rompidos para aferir a resistência do concreto confeccionado apresentaram resistência média de 39,8; 51,7; 44,4 e 39,1 MPa, para os concretos com 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 % de fibras, respectivamente. Pôde-se verificar que houve um ganho significativo com o teor de 0,5%, porém, nos teores posteriores, houve declínio de resistência, isso pode ter sido ocasionado pelo fato de que a trabalhabilidade tem influência na resistência final do compósito e de que, durante a confecção dos corpos de prova, constatamos que quanto maior foi o teor de fibras acrescentado, menor foi a trabalhabilidade. Considerando os resultados ainda, pode-se

concluir que o teor de 0,5% foi o que apresentou maior resistência à compressão axial, sendo que ele pode ser considerado o teor ideal, dentre os analisados, para utilização como reforço em estruturas solicitadas à compressão.

Nas vigas confeccionadas com armadura transversal, observou-se que apresentaram como tendência à ruptura no centroide das vigas, mais precisamente na região de flexão pura e momento fletor máximo. Os resultados obtidos foram contraditórios aos esperados, sendo que houve uma pequena perda de resistência quando comparamos os exemplares sem adição de fibras com os demais, porém a referida perda não chegou a ser significativa. Com isso, considerou-se que a inclusão de fibras de aço não surtiu nenhuma influência significativa nas vigas armadas transversalmente, projetadas para romper devido aos momentos fletores. Constatou-se, porém, que, proporcionalmente à inclusão de fibras de aço, a estrutura da viga abandonava o comportamento de ruptura frágil, pois elas impediram o descolamento de fragmentos de concreto da estrutura.

Os exemplares confeccionados com armadura longitudinal, projetados para romper devido aos esforços cortantes, apresentaram resultados satisfatórios, sendo que, em todos os teores de adição de fibras, foram obtidos ganhos consideráveis de resistência. Proporcionalmente, quanto maior a inclusão de fibras de aço, maior o ganho de resistência obtido. O melhor resultado foi alcançado na adição de 2,0% de fibras, sendo que o ganho de resistência relativo às vigas de referência foi de aproximadamente 46%. Nos demais casos, também obtivemos ganhos consideráveis.

Porém, considerando o conceito de trabalhabilidade, tal teor citado anteriormente é inviável, pois a trabalhabilidade do mesmo foi bastante inferior aos demais, visto que foi bastante difícil realizar o adensamento do concreto. Em se tratando de estruturas densamente armadas, tal teor fica praticamente impossível de ser executado, considerando-se concretos convencionais.

Portando, concluiu-se que, em se tratando de ganho de resistência, a inclusão de fibras de aço no concreto, visando ao reforço estrutural, é compensativa nos casos em que as vigas forem solicitadas ao esforço cortante e aos esforços de compressão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: agregados: amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de

compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: fibras de aço para concreto: especificações. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: água para o amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BASTOS, P. S. dos S. **Flexão normal simples**: vigas. 2015. Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. ed. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CAVALLINI NETO, Gilton; FREDERICO, Menezes Coelho. A importância do concreto adensamento do concreto e seu impacto na resistência final da peça. **Projectus**. v. 1, n.4, p. 17 - 30, Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260), 2000.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/publico//TeseLivreDocenciaAntonioFigueiredo2011.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.

FREITAS JUNIOR, J. A. **Aços para concreto**. Paraná: Departamento de Engenharia Civil,

2007.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento de concreto fluído reforçado com fibras de aço**: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto. 2010. 156p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o_PPGEC_FERNANDA%20GOIS_2010.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2018.

ISAIA, C. G. **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo, Ibracon, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. Evolução em tecnologia do concreto. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed., cap. 12, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014.

MIGLIORINI, A. V.; GUIMARÃES, A.T. C.; OZÓRIO, B.P.M. Fibras de aço em blocos de concreto: estudo para utilização em ambiente marítimo. **Revista Matéria**, v. 17, n. 2, pp. 997-1008, Rio Grande, 2012.

PORTAL, do concreto. **Cimento Portland**. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/caementu.html>. Acesso em: 02 set. 2018.

ROCHA, A. C. *et al.* **Ensaio de Stuttgart**: reprodução em laboratório. *In*: Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2004. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Ensaio%20de%20Stuttgart_artigo_ibracon_2004\(6\).pd](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Ensaio%20de%20Stuttgart_artigo_ibracon_2004(6).pd)>. Acesso em 03 out. 2018.

SILVA, Mateus Felipe da; KARDEC, Thaís Isabela Simão. **Dosagem experimental de concreto de pós-reativos através de diferentes métodos por empacotamento de partículas**. 2017. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017.

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS NA CIDADE DE PATOS DE MINAS - MG¹

Ana Flávia Borges

Graduanda do 10º período do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: anaflavia.borges@hotmail.com

Tatiane Tavares Fontes

Graduanda do 10º período do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: tatiane_tf@outlook.com

Vinícius Vieira Sousa

Professor de Graduação do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: viniciusvieiras@unipam.edu.br

RESUMO: A pavimentação asfáltica das vias de circulação de veículos é muito importante, por isso é esperado que ela apresente boa qualidade para atender as necessidades da população que a utiliza. Porém, com a falta de investimento no gerenciamento e fiscalização de obras de pavimentação e na manutenção das pistas, é notável um cenário crescente de manifestações patológicas no pavimento asfáltico. Nesse contexto, o presente trabalho realiza, por meio de levantamento de manifestações patológicas, avaliação objetiva e subjetiva do pavimento e ensaios laboratoriais da camada de revestimento, um estudo acerca das manifestações patológicas da pavimentação asfáltica do bairro Residencial Barreiro, em Patos de Minas – MG. Ao final das análises e dos ensaios, constatou-se que, para se ter uma boa conservação, o pavimento asfáltico deve ser realizado de forma correta seguindo as especificações dos órgãos competentes da área, bem como a realização de manutenções preventivas e corretivas sempre que necessário, como a aplicação de microrrevestimento, lama asfáltica e execução de tapa-buracos, dentre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Manifestações patológicas. Pavimentação asfáltica. Vias urbanas.

ABSTRACT: Asphaltic paving presents great importance in the circulation of vehicles, therefore, it is expected that it presents good quality to meet the needs of the population that uses it. However, with the lack of investment in the management and supervision of paving works and in the maintenance of runways, a growing scenario of pathological manifestations in the asphalt pavement is remarkable. In this context, the present work presents a study about the pathological manifestations of the asphalt paving of the Residencial Barreiro neighborhood, in Patos de Minas - MG, through a survey of pathological manifestations, objective and subjective evaluation of the pavement and laboratory tests of the coating layer. At the end of the analyzes and the

¹ Trabalho apresentado na área temática Infraestrutura de Transportes do V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquiteturas, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

tests, it was verified that in order to have a good conservation of the asphalt pavement, it must be carried out correctly according to the specifications of the competent bodies of the area, as well as the carrying out of preventive and corrective maintenance whenever necessary, for example, the application of micro-coating, asphalt sludge and the execution of a hole-cover, among others.

Keywords: Pathological Manifestations. Asphalt paving. Urban roads.

1 INTRODUÇÃO

A história do surgimento da pavimentação está ligada não só ao meio de transporte, mas também ao povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Uma das mais antigas estradas pavimentadas se deu no Egito, para a construção das pirâmides (2600-2400 a.C.) e, a partir daí, com o passar dos anos, a pavimentação ganhou importância conforme as necessidades da evolução e de desenvolvimento (BERNUCCI *et al.*, 2010).

É notável a importância que a pavimentação asfáltica tem em vias de circulação de veículos, visto que ela traz inúmeros benefícios que se estendem para toda a população que a utiliza. Diante disso, imagina-se que a construção e a manutenção do pavimento sejam feitas com bastante atenção, mas, muitas vezes, esses dois serviços não são executados com tais cuidados como propostos em normas técnicas.

Segundo a Confederação Nacional de Trânsito (CNT, 2017), no Brasil as pavimentações não apresentam resultados satisfatórios quanto à durabilidade, isso porque o país ainda utiliza metodologias ultrapassadas para o planejamento de obras, apresenta deficiências técnicas na execução, investe pouco e conseqüentemente falha no gerenciamento de obras, na fiscalização e na manutenção das pistas.

Em Patos de Minas (MG), existe um cenário crescente de manifestações patológicas no revestimento asfáltico decorrente de distintos fatores, que prejudicam a sua qualidade e interferem na utilização dele pelas as pessoas. Logo, o presente trabalho se justifica tendo em vista a necessidade de uma avaliação sobre o pavimento, sobre compreensão da sua formação e como isso pode vir a ser um dos agentes causadores das manifestações patológicas. Além disso, ressalta-se que a pesquisa aqui desenvolvida é também um material que subsidiará órgãos responsáveis pela pavimentação e futuros trabalhos, no que tange aos estudos e implantação de propostas de intervenções para tentar amenizar os problemas que essas manifestações patológicas podem gerar no pavimento.

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo acerca das manifestações patológicas da pavimentação asfáltica no bairro Residencial Barreiro localizado no município de Patos de Minas (MG), identificando-as e analisando suas possíveis causas, para que, posteriormente, pudessem ser apresentadas propostas de intervenção. Para se atingir o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- estudar o bairro Residencial Barreiro, em Patos de Minas (MG) quanto a aspectos do tipo idade do pavimento asfáltico e forma de pavimentação;

- levantar, caracterizar e quantificar as manifestações patológicas existentes no pavimento asfáltico do bairro Residencial Barreiro;
- determinar o Índice de Gravidade Global (IGG) do pavimento por meio da avaliação objetiva;
- realizar a avaliação subjetiva funcional do revestimento asfáltico do bairro Residencial Barreiro;
- analisar a camada de revestimento do pavimento;
- comparar a qualidade do pavimento asfáltico em duas ruas distintas do bairro Residencial Barreiro.

O seguinte trabalho conta com uma abordagem de caráter qualitativo e quantitativo, uma vez que retrata a qualidade da pavimentação urbana com base em dados de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta etapa da pesquisa consiste na parte conceitual, para proporcionar um maior conhecimento sobre a pavimentação em geral, bem como os defeitos que o pavimento pode vir a apresentar e técnicas de restauração, visando proporcionar qualidade na pavimentação asfáltica e segurança para os usuários.

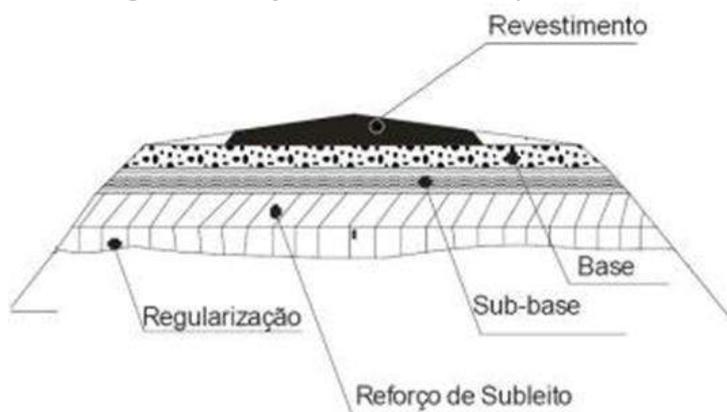
2.1 O PAVIMENTO

Segundo Balbo (2007), o pavimento é considerado uma estrutura durável. Essa estrutura é formada por camadas sobrepostas, sendo cada uma delas formada por diferentes tipos de materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal. A estrutura deve atender, estrutural e operacionalmente, aos diferentes esforços a que estará sujeita, assim como transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores. Cada camada do pavimento possui funções específicas, que devem proporcionar aos veículos que ali trafegam condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática.

2.1.1 Camadas do pavimento

A seção transversal que um pavimento apresenta geralmente consta de uma fundação, subleito e camadas com espessuras e materiais que são determinados através dos métodos de dimensionamento do pavimento (SENÇO, 2007). A Figura 1 mostra a esquematização das camadas do pavimento.

Figura 1 – Seção transversal do pavimento



Fonte: DNIT, 2004.

- a) Subleito: primeira camada do pavimento, formada pelo terreno de fundação. Deverá aliviar os esforços impostos sobre sua superfície (BALBO, 2007).
- b) Regularização (nivelamento): camada construída sobre o subleito para conformá-lo transversal e longitudinalmente. Deve dar à superfície características geométricas do pavimento já acabado (MARQUES, 2007).
- c) Reforço do subleito: camada de solo de melhor qualidade, que, como o próprio nome diz, tem a função de reforçar o subleito quando este apresentar pouca resistência aos esforços verticais que ocorrem sobre sua superfície (BALBO, 2007).
- d) Sub-base: camada complementar à base. O emprego dela se faz necessário quando não for viável construir a base diretamente sobre a regularização (DNIT, 2003).
- e) Base: Senço (2007) diz que a base é a camada que tem como função resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego e distribuí-los às camadas inferiores.
- f) Revestimento: é a camada mais nobre do pavimento e a que recebe diretamente a ação do tráfego. Responsável por resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade de toda a estrutura; para isso, deverá ser o quanto possível impermeável (SENÇO, 2007).

2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PAVIMENTO ASFÁLTICO

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. O desafio de projetar um pavimento reside no fato, portanto, de conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais (BERNUCCI *et al.*, 2010).

O estado da superfície de um pavimento afeta diretamente o conforto de um usuário da via e, quando ocorre esse desconforto por parte do usuário, ocorre também nos veículos, podendo gerar um grande custo operacional, relacionados a trocas de peças, manutenção, consumo de combustível e de pneus, dentre outros. Portanto,

entende que o conforto do rolamento está ligado ao consumo, à economia nos custos do transporte.

2.2.1 Tipos de defeito e suas codificações

A norma DNIT 005/2003-TER apresenta as manifestações patológicas nos pavimentos rígidos e semirrígidos classificados em: fendas, afundamentos, corrugação e ondulações transversais, escorregamento, exsudação, desgaste ou desagregação, panela ou buracos e remendos, como explicado abaixo.

Quadro 1 – Tipos de manifestações patológicas existentes no pavimento asfáltico

PATOLOGIA	DEFINIÇÃO
FENDAS	
FISSURA (F)	Quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior a 1,5m
TRINCA ISOLADA (TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Pode ser denominada curta (extensão de até 100 cm) ou longa (superior a 100 cm).
	Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Pode ser denominada curta (extensão de até 100 cm) ou longa (superior a 100 cm).
	Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado.
TRINCA INTERLIGADA (J, B)	Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.
	Trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

Fonte: DNIT, 2003, adaptado pelas autoras.

Quadro 2 – Tipos de manifestações patológicas existentes no pavimento asfáltico

PATOLOGIA		DEFINIÇÃO
AFUNDAMENTO	PLÁSTICO (ALP, ATP)	Pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; superior a 6 m, afundamento plástico da trilha de roda.
	CONSOLIDAÇÃO (ALC, ATC)	Causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; superior a 6m, consolidação da trilha de roda.
ONDULAÇÃO OU CORRUGAÇÃO (O)		Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.
ESCORREGAMENTO (E)		Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.
EXSUDAÇÃO (EX)		Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.
DESGASTE (D)		Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.
PANELA OU BURACO (P)		Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.
REMENDO (R)	PROFUNDO	Há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento.
	SUPERFICIAL	Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa.

Fonte: DNIT, 2003, adaptado pelas autoras.

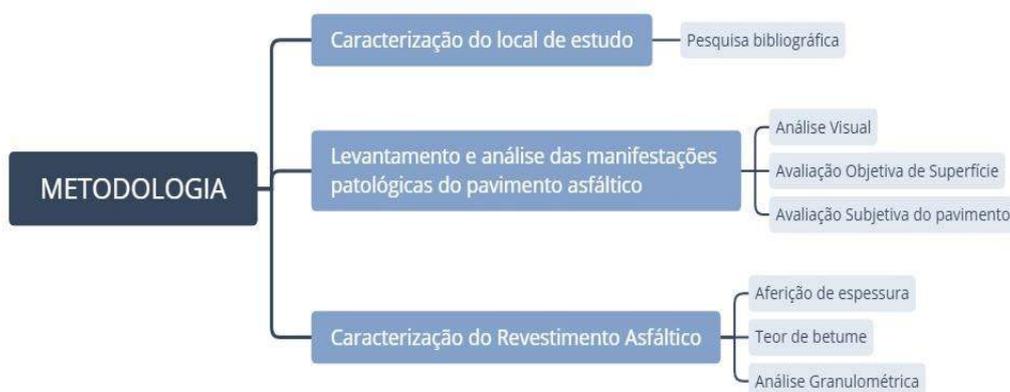
As manifestações patológicas podem ser notadas nas ruas e rodovias por todo país e são causadas e geradas por diversos fatores.

3 METODOLOGIA

Rodrigues (2006) cita que a metodologia baseia-se no estudo e na verificação dos métodos, técnicas e processos usados na investigação e na solução de problemas, utilizando-se do conhecimento científico, que é construído por meio da investigação científica e da pesquisa.

O presente trabalho foi construído através de pesquisa bibliográfica, análise visual por meio de vistoria nas vias e ensaios laboratoriais, a fim de se atingir o objetivo geral, conforme apresentado no fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de atividades



Fonte: autoras, 2018.

Em vista disso, a monografia classifica-se como explicativa e experimental. O enfoque da monografia foi tipo misto, ou seja, abrangendo tanto a abordagem quantitativa quanto a qualitativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

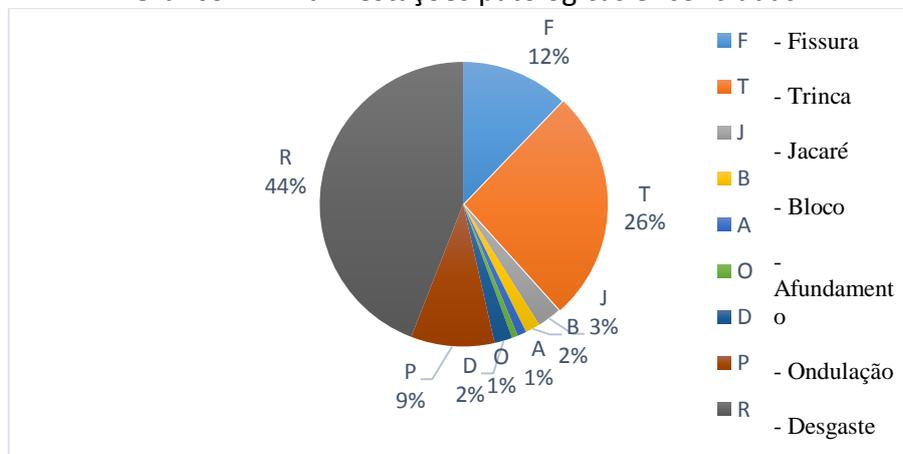
Nesta seção, são apresentados o levantamento dos tipos de manifestações patológicas presentes em cada via do bairro Barreiro e os resultados da avaliação subjetiva e avaliação objetiva, que é a determinação do Índice de Gravidade Individual (IGI) e Índice de Gravidade Global (IGG). Em seguida, são apresentados gráficos demonstrativos com avaliações e características das vias do bairro. Serão apresentados também os resultados de testes laboratoriais executados no pavimento analisado.

4.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO

O levantamento das manifestações patológicas do pavimento asfáltico de cada via do bairro Residencial Barreiro foi feito através de análise visual por meio de visitas

ao local. O resumo dos dados coletados está exposto no Gráfico 1, no qual se podem observar quais manifestações patológicas são mais encontradas no bairro analisado.

Gráfico 1 – Manifestações patológicas encontradas



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como pode ser observado no Gráfico 1, as manifestações patológicas com maiores incidências nas vias estudadas foram, respectivamente, remendo, trincas e fissuras. A patologia denominada afundamento trilha de roda não foi encontrada

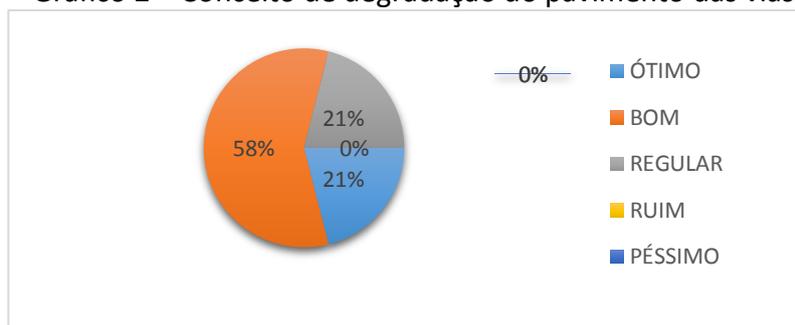
Através desses dados, tem-se uma caracterização geral da extensão das manifestações patológicas de cada via. Posteriormente, foi possível calcular o IGI e IGG. Diante disso, no decurso da análise feita em campo foi possível identificar as vias que possuem maior e menor número de manifestações patológicas.

4.2 AVALIAÇÃO OBJETIVA – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL E INDIVIDUAL

A norma do DNIT (2003b) – *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento* estabelece condições exigíveis para avaliação da superfície de pavimentos rodoviários. Para que seja feita essa avaliação, é recomendado que se efetue um estaqueamento de 20 em 20 metros, demarcado em trecho retilíneo, para que assim possa ser analisado e coletado a quantidade de manifestações patológicas que existem em cada estaca.

Considerando-se que o presente estudo foi realizado em pavimentos urbanos e não rodoviários e por não haver norma que estabeleça critérios e condições para a avaliação de pavimentos urbanos, foram feitas adaptações. Levou-se em consideração que cada manifestação patológica encontrada representava um intervalo de subtrechos. Optou-se por adotar uma subdivisão em cada via em subtrechos de 20 em 20 metros, para fins da realização dos cálculos, e a identificação de cada manifestação patológica nestas observadas. Foi possível calcular a porcentagem que cada conceito de degradação apresentou em relação ao número total de vias avaliadas no bairro em estudo, como pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Conceito de degradação do pavimento das vias



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com a avaliação objetiva, foram obtidos os resultados representados no Gráfico 1. Foi possível comprovar que 58% das vias de estudo estão em estado bom, 21% em estado ótimo e 21% em estado regular. Não houve nenhuma rua que apresentou estado ruim ou péssimo. Feito isso, foram escolhidas duas ruas para que fossem realizados os ensaios laboratoriais nas amostras que foram retiradas delas, a rua Rubis, que apresentou conceito regular, e a rua Calcário, que apresentou conceito ótimo.

4.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA – CÁLCULO DO VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

A norma DNIT (2003c) – *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento* propõe procedimentos para que seja realizada a avaliação subjetiva da superfície do pavimento. Para que seja feita essa avaliação, a norma recomenda que os dez trechos de pavimento avaliados sejam de aproximadamente 600 metros cada um e que estes estejam localizados em sequência a fim de se terem locais de análise uniformes. Como o estudo foi feito em pavimentos urbanos, e a norma trata de pavimentos rodoviários, assim como na avaliação objetiva também foi feita uma adaptação. Foram escolhidas dez ruas, localizadas em sequência, que apresentam comprimento de aproximadamente 400 metros cada uma. Foram convidados 5 engenheiros civis da cidade de Patos de Minas para percorrer as vias e atribuírem a elas notas de 0,0 a 5,0 quanto aos seguintes aspectos: capacidade de proporcionar ao usuário rolamento suave e confortável e capacidade de atender as exigências do tráfego.

Com essas notas, foi possível calcular o Valor de Servientia Atual (VSA) de cada via, que foi obtido através da soma das notas dos cinco engenheiros para cada via, dividido pelo número total de avaliadores. O resultado pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 1 – Valor de serventia atual

RUA	VALOR DE SERVENTIA ATUAL	CONCEITO
Margarida Pereira Gonçalves	4,4	ÓTIMO
Iracema Maciel de Castro	3,7	BOM
Arenita	4,4	ÓTIMO
Rubis	2,9	REGULAR
Calcário (Guaporé)	4,8	ÓTIMO
Ormezinda Maria Caixeta	3,7	BOM
Augusto Simão da Silva	3,4	BOM
Da Prata	3,9	BOM
Otávio Dias Maciel	3,1	BOM
Oswaldo Guimarães	4,1	ÓTIMO

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Tendo por base esses resultados, foi possível verificar que as vias avaliadas possuem conforto conceituado de ótimo a regular. Nenhuma via apresentou conceito ruim ou péssimo.

4.4 VERIFICAÇÃO DA ESPESSURA DO CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

A norma SEINFRA 01:2013 de Patos de Minas estabelece que a espessura de projeto da camada de CBUQ é de 3cm, podendo variar em $\pm 5\%$. Em contrapartida, o então secretário de obras do município, Rogério Borges Vieira, em fevereiro de 2018, informou que, no projeto de pavimentação do bairro Barreiro, foi adotada uma espessura de CBUQ de 2,5cm. Os resultados da verificação da espessura podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultados espessura CBUQ

RUA RUBIS			
Nº DA AMOSTRA	CAMADA	POSIÇÃO	ESPESSURA (MM)
1	CBUQ	Bordo Esquerdo	20,97
2	CBUQ	Eixo	23,80
3	CBUQ	Bordo Direito	22,55
RUA CALCÁRIO			
Nº DA AMOSTRA	CAMADA	POSIÇÃO	ESPESSURA (MM)
1	CBUQ	Bordo Direito	40,18
2	CBUQ	Eixo	27,37
3	CBUQ	Bordo Esquerdo	27,08

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

As amostras em destaque no Quadro 3 não estão em conformidade com a norma nem com o que foi adotado no projeto de pavimentação do bairro. Pode-se observar que todas são de uma mesma via, via esta que apresentou o pior IGG e conceito de degradação do pavimento do bairro. O grande número de manifestações patológicas presente nesta rua pode estar relacionado ao resultado obtido nas aferições devido ao fato de a via apresentar uma camada mais fina de revestimento asfáltico ao realmente executado.

4.5 TEOR DE BETUME

O teor de ligante asfáltico do CBUQ deve atender a especificação do DNIT 031:2004-ES para a faixa C, levando em consideração como tipo de camada de revestimento asfáltico a camada de rolamento, um teor de betume em porcentagem, de 4,5 a 9,0%, sendo que existe uma tolerância de mais ou menos 0,3%. Os resultados do ensaio de extração de teor de betume podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 – Resultados teor de betume do CBUQ

RUA RUBIS					
Nº DA AMOSTRA	CAMADA	POSIÇÃO	Massa de Amostra (g)	Massa de Amostra após extração (g)	Teor de betume (%)
1	CBUQ	Bordo Esquerdo	700,4	659,6	5,83
2	CBUQ	Eixo	700,60	667,00	4,80
3	CBUQ	Bordo Direito	700,40	662,40	5,43
RUA CALCÁRIO					
Nº DA AMOSTRA	CAMADA	POSIÇÃO	Massa de Amostra (g)	Massa de Amostra após extração (g)	Teor de betume (%)
1	CBUQ	Bordo Direito	700,20	662,00	5,46
2	CBUQ	Eixo	700,00	645,80	7,74
3	CBUQ	Bordo Esquerdo	700,40	655,60	6,40

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como pode ser observado no Quadro 4, todas as amostras apresentaram teor de betume dentro dos parâmetros exigidos pela norma. A rua Calcário, classificada como ótima, apresentou em média resultados maiores de teor de asfalto que a rua Rubis, classificada como regular.

O teor de betume em menor quantidade pode prejudicar a aglomeração dos materiais, mas, em grande quantidade, pode causar manifestações patológicas. A proporção entre os materiais e o teor de betume do pavimento varia de acordo com o método de dosagem, o mais utilizado é o Marshall, que leva em consideração parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura à qual o pavimento estará submetido, entre outros, até se chegar a uma estabilidade (BERNUCCI *et al.*2010).

4.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A composição granulométrica do CBUQ deve estar dentro das faixas estabelecidas pelo DNIT 031:2004-ES, sendo considerada para fins comparativos, nesse caso, a faixa C.

O resultado da granulometria dos agregados que constituem o CBUQ pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5 – Resultados granulometria CBUQ

Análise granulométrica (%) passante nas peneiras									
CP nº	RUA RUBIS	3/4"	1/2"	3/8"	nº 4	nº 10	nº 40	nº 80	nº 200
1		100,00%	100,00%	98,06%	85,28%	51,40%	15,77%	7,26%	3,62%
2		100,00%	100,00%	96,55%	78,77%	58,77%	25,83%	8,10%	4,09%
3		100,00%	100,00%	96,98%	77,51%	54,79%	23,82%	5,49%	2,48%
CP nº	RUA CALCÁRIO								
1		100,00%	100,00%	96,92%	78,19%	56,12%	24,47%	6,02%	1,91%
2		100,00%	100,00%	96,10%	72,81%	54,65%	23,94%	5,35%	2,40%
3		100,00%	100,00%	96,89%	78,47%	58,02%	25,86%	6,83%	3,25%
Especificação DNIT faixa C		100 ± 7%	80 - 100 ± 7%	70 - 90 ± 7%	44 - 72 ± 5%	22 - 50 ± 5%	8 - 26 ± 5%	4 - 16 ± 3%	2 - 10 ± 2%

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os valores em destaque no Quadro 4 não atendem os requisitos exigidos pela norma. Não foi fornecido o traço determinado no projeto, porém pode-se dizer que, no momento da execução do projeto, não foi feita a adequação do traço determinado. O percentual de material passante nas peneiras citadas anteriormente foi maior do que o percentual mais a tolerância da norma do DNIT, sendo assim, foi possível constatar que a granulometria dos agregados do CBUQ das amostras está mais fina que o recomendado.

Conforme a análise, o material está mais fino que o especificado em norma, por essa razão ele pode ter excedido o valor de vazios internos preenchidos por ar, que, segundo Balbo (2007), deve ser entre 3% e 5%. Isto pode vir a gerar manifestações patológicas, pois, se esses vazios excederem o limite mínimo na mistura compactada, a camada de revestimento não sofrerá deformações por acomodação dos materiais, refletindo em uma diminuição da sua estabilidade e possivelmente no seu rompimento, podendo causar, por exemplo, trincas e fissuras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de pesquisas realizadas em campo, foi possível identificar e quantificar as principais manifestações patológicas na camada asfálticas das ruas do bairro Barreiro, situado na cidade de Patos de Minas (MG), sendo que as mais incidentes foram remendos, trincas e fissuras. Com isso, foi possível se ter uma percepção das vias mais conservadas e das vias menos conservadas, tanto por meio da análise in loco,

quanto por meio da avaliação objetiva, sendo que nesta foi calculado o IGG de cada via para a escolha das duas ruas, rua Rubis e rua Calcário, que apresentaram conceito de degradação do pavimento regular e ótimo respectivamente, para que essas pudessem ter amostras analisadas por meio de ensaios laboratoriais. A avaliação subjetiva coincidiu com a objetiva porque não apresentou desvios quanto aos resultados de conceito de degradação do pavimento das ruas.

Foram retiradas amostras dos pavimentos asfálticos das duas vias escolhidas e executadas aferições das espessuras das suas dimensões. Sequencialmente foram realizados os ensaios de teor de betume e granulometria com intuito de se ter um maior ramo de características da pavimentação executada nas ruas do bairro. Com os resultados obtidos através do ensaio de aferição das espessuras, foi possível notar que as amostras retiradas do pavimento com um estado de conservação menor não apresentam uma espessura conforme especificado em norma de 3,0 cm nem de acordo com informações passadas sobre a execução que seria de 2,5 cm. Já o pavimento considerado de melhor conservação, a espessura, encaixa nos valores previamente citados.

No ensaio de teor de betume, os resultados obtidos estão dentro do padrão determinado por norma; em quantidade menor, pode causar uma falha na aglomeração dos materiais e, em excesso, gerar uma manifestação patológica, a exsudação. Em contrapartida, por meio dos resultados alcançados no teste de granulometria, as vias não estão de acordo com o estabelecido em norma. O material mais graúdo auxilia na resistência do revestimento, mas o analisado apresenta uma quantidade de finos em excesso; esse fato pode prejudicar a deformação por acomodação dos materiais, gerando, assim, manifestações patológicas como as fissuras.

Tendo em vista tais resultados, conclui-se principalmente que a pavimentação executada não está de acordo com o que deveria ter sido feito, seguindo as especificações de norma, ou até mesmo tendo adaptações necessárias para o presente caso estudado. É provável que as manifestações patológicas presentes nas vias possam ser resultado dos valores encontrados nos ensaios do revestimento, por não estarem de acordo com a norma.

Ressalta-se que, para se ter uma boa conservação do pavimento asfáltico, além deste ser realizado de forma correta, seguindo as especificações, deve ser realizada uma manutenção preventiva sempre que necessário, reduzindo assim o aparecimento de manifestações patológicas, evitando a necessidade de intervenções corretivas, que são mais onerosas.

Pode-se considerar que o tráfego do bairro, as ações de agentes naturais e as camadas prévias ao revestimento asfáltico podem contribuir para o surgimento de manifestações patológicas.

Para próximos trabalhos, sugere-se que sejam analisadas, de uma forma mais profunda, as camadas que formam o pavimento, como análise da base e sub-base. Pode-se também realizar o ensaio Marshall para se ter informações sobre o teor de ligantes e verificar qual é o adequado para a situação. Recomenda-se também um estudo acerca da análise e levantamento do tráfego no bairro, já que pode também ter um impacto nas manifestações patológicas presentes no revestimento.

REFERÊNCIAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. 7. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Leide Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2017**: Relatório Gerencial. 20. ed. Brasília, 2017. 406 p. Disponível em: [http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2017\)%20-%20BAIXA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20BAIXA.pdf). Acesso em: 02 abril de 2017.

BRASIL. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf. Acesso em: 06 abril de 2018.

BRASIL. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte, 005:2003. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 006/2003b: **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento**. Rio de Janeiro, 2003b.

BRASIL. DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 006/2003c: **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento**. Rio de Janeiro, 2003c.

BRASIL. DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ES 031: **Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico**. Rio de Janeiro, 2004.

MARQUES, Geraldo Luciano De Oliveira. **Pavimentação**. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>. Acesso em: 31 março de 2018. (Notas de aula)

RODRIGUES, Auro de Jesus. **Metodologia científica**. São Paulo: Avercamp, 2006.

SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA. SEINFRA 01: **Memorial de especificação técnica para execução, acompanhamento e fiscalização de implantação de infraestrutura urbana no município de Patos de Minas**. Patos de Minas, 2013.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007, 1 v.

LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO PARA FINS DE LOTEAMENTO UTILIZANDO DIFERENTES INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS¹

Allyson Tolentino Mendes

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: allysoneng9@gmail.com

Rodrigo Mendes de Oliveira

Professor do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: rodrigomo@unipam.edu.com.br

RESUMO: O levantamento planialtimétrico é um dos projetos essenciais para realização de um loteamento. A partir dele, é possível reconhecer o relevo, as dimensões e os contornos de um terreno, possibilitando ao profissional a projeção de todos os lotes de uma forma precisa e confiável. Atualmente existem diversos aparelhos capazes de realizar medidas que possibilitam reproduzir o terreno com todas as informações necessárias, porém poucos são os estudos que confirmam a precisão e a qualidade final do levantamento. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo verificar a precisão de um levantamento planialtimétrico para projeto geométrico de um loteamento, utilizando-se GPS geodésico, por meio do método RTK; GPS de simples frequência, utilizando-se o modo de posicionamento relativo estático pós-processado, e Estação Total, por meio do método de irradiação. A área do loteamento estudada pertence à zona de adensamento 3 e está situada no município de Patos de Minas-MG. Após a realização de todos os levantamentos, os resultados das discrepâncias horizontais e verticais dos pontos topográficos de todo levantamento, além das diferenças de áreas dos lotes, foram apresentados em tabelas e mapas. As maiores desigualdades se estabeleceram no GPS de simples frequência, com áreas das quadras de até 372,83 m² a mais que os demais aparelhos, remetendo, nos lotes, uma diferença de até 83,64 m². Finalizou-se o estudo com as curvas de nível e perfis gerados pelos levantamentos. Ressaltam-se as diferenças de cotas de até 2,35 m na comparação do GPS L1 com GPS RTK e Estação Total. Diante todos os resultados e desempenhos de cada aparelho, frisou-se a ineficiência do GPS L1 para realização de levantamentos que requerem precisões de áreas ou curvas de nível, sendo este aparelho indicado apenas para aproximação de área. Já os levantamentos realizados pelos aparelhos GPS RTK e Estação Total apresentaram grandes semelhanças.

PALAVRAS-CHAVE: Estação Total. GPS. Planialtimetria. Precisão.

¹ Trabalho apresentado na área da Engenharia Civil vinculado a categoria (Comunicação Oral)- Novas tecnologias e ferramentas para gestão empreendedora do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

ABSTRACT: The planialtimetric survey is one of the essential projects for the realization of a land subdivision, since from it it is possible to recognize the relief, the dimensions and the contours of a surface, allowing the professional the projection of all the lots in an accurate and reliable form. Currently there are several devices capable of performing measurements that will enable to reproduce the surface with all the necessary information, however only a few studies confirm the accuracy and final quality of the survey. Considering the above, the present study aimed to perform a verification of the precision of a planialtimetric survey for the geometric design of a subdivision using GPS geodesic using the RTK method, simple frequency GPS using the post-processed static relative positioning mode and Total Station by irradiation method. The studied area of the subdivision belongs to the zone of densification 3 and is located in the municipality of Patos de Minas-MG. After all the surveys, the results of the horizontal and vertical discrepancies of the topographic points of each survey, in addition to the differences of the plot areas, were presented through tables and maps, whose greatest inequalities were established in simple frequency GPS, with areas of up to 372.83 square meters more than the other appliances, sending in the lots a difference of up to 83.64 m². The study was completed with the level curves and profiles generated by each survey, where differences of up to 2.35 m in the comparison of GPS L1 with GPS RTK and Total Station were emphasized. In view of all the results and performances of each device, the inefficiency of the GPS L1 was emphasized in order to carry out surveys that require area precisions or contours, and this device is only recommended for area approximation. The surveys performed by the GPS RTK and Total Station devices showed similarities.

KEYWORDS: Total Station, GPS, Planialymetry, Precision.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei Federal 9.785 (1999), que altera o Decreto-Lei 6.766 (1979) que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, antes de se iniciar um projeto de loteamento, é necessário ter em mãos o projeto da gleba a ser fracionada, contendo os limites do terreno, curvas de nível, localização de construções existentes e etc. Percebe-se, portanto, que é de suma importância conhecer todas as características físicas do terreno onde o loteamento será implantado.

Diante da busca do melhor aproveitamento urbanístico, condicionado pelo fracionamento de terras, surge a necessidade de se realizarem medidas precisas. Para isso, é necessário o envolvimento de profissionais adequados. McCormac (2011) cita que esse profissional é conhecido como topógrafo, apto a realizar todos os levantamentos de medição para determinação dos limites do lote, além de gerar os documentos legais do imóvel, por meio de levantamentos cadastrais.

A constante evolução tecnológica tem alterado significativamente as funcionalidades e a eficácia dos aparelhos topográficos em obter medidas acuradas e precisas. Há algumas décadas, o ato de determinar diretamente distâncias, áreas e perímetro de um terreno era algo considerado impossível, mas, nos dias atuais, tornou-se uma atividade simples devido à infinidade de funcionalidades oferecidas

pelos modernos aparelhos topográficos, como a estação total, que fornece medidas angulares e de distâncias de forma rápida e confiável (CASACA; MATOS; DIAS, 2014).

Além das estações totais utilizadas nos levantamentos topográficos, os receptores GPS (*Global Positioning System*), criados no final do século passado para posicionamento de navegação, foram utilizados para outras funções, como posicionamento geodésico e agricultura. Com a sua evolução, passaram a ser utilizados também em serviços topográficos. Esse sistema permite ao usuário uma abrangência maior da área de estudo, a partir do rastreamento de sinais emitidos por, no mínimo, quatro satélites em órbita ao redor da Terra, sendo capazes de determinar as coordenadas de localização do ponto onde se encontra estacionada a antena do receptor GPS na superfície terrestre (MONICO, 2008).

Com o passar dos anos, a precisão do receptor GPS foi aumentada, e o tempo de coleta, reduzido. Esse aperfeiçoamento foi realizado no método de posicionamento relativo cinemático em tempo real, gerando um dos métodos de posicionamento mais evoluídos da atualidade, conhecido como RTK (*Real Time Kinematik*) (MONICO, 2008).

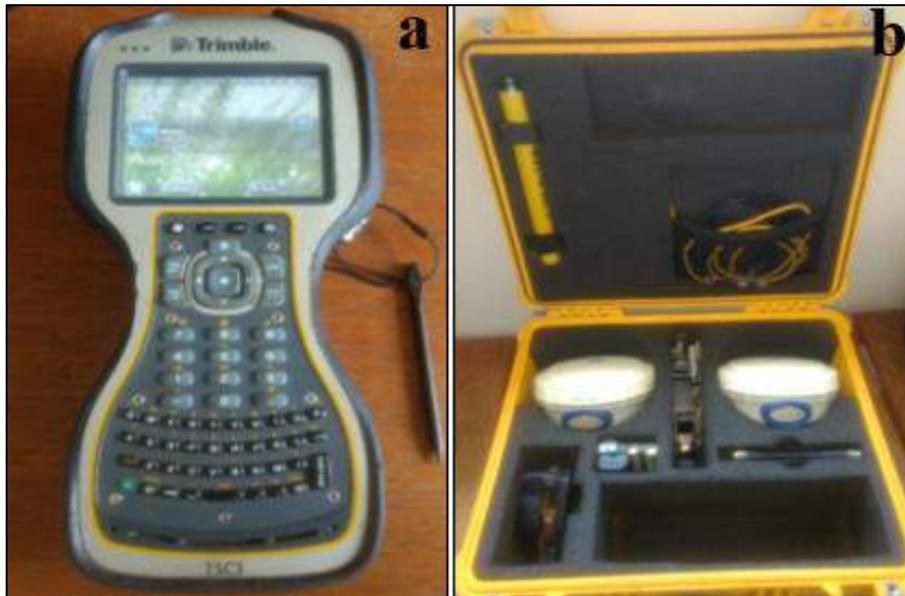
Todo processo de medição está sujeito a erros e a interferências. Apesar da grande evolução tecnológica sofrida na topografia, ainda existem alguns parâmetros que limitam os usos dos seus aparelhos e condições a serem respeitadas para efetivação de um levantamento topográfico aceitável. Sendo assim, o presente projeto teve como objetivo verificar a precisão de um levantamento planialtimétrico para projeto geométrico de um loteamento, utilizando-se GPS RTK, GPS de simples frequência e Estação Total.

2 DESENVOLVIMENTO

O levantamento de dados para realização do projeto foi realizado em uma área urbana situada no município de Patos de Minas-MG, no mês de agosto de 2018, em dias com nuvens dispersas, evitando-se possíveis erros de distorção do sinal satélite e refração atmosférica. Foram utilizados três diferentes levantamentos para formulação dos resultados, por meio dos seguintes aparelhos: Estação Total, GPS de simples frequência (L1) e GPS geodésico (RTK). Posteriormente, os dados foram processados em softwares específicos para geração dos mapas e discussão dos resultados obtidos. Para materialização dos pontos limites das quadras e ruas, bem como dos pontos de instalação da base do GPS RTK e Estação Total, além do ponto de apoio para zeragem do ângulo horizontal da Estação Total, fixaram-se pregos no asfalto, com o uso de uma marreta; posteriormente, foram demarcados com um círculo de tinta a sua volta para melhor identificação e visualização.

O levantamento geodésico da área foi realizado por meio dos seguintes aparelhos: receptor GPS, marca TRIMBLE, modelo TSC3; base de correção equipada com antena e coletora (*Rover*), marca TRIMBLE, modelo R6m, 72 canais paralelos capazes de rastrear o GPS e GLONAS e frequências L1/L2, L2C e L5, com precisão pós processada horizontal de 3 mm + 0,1 ppm rms e vertical de 3,5 mm + 0,4 ppm rms, com alcance do rádio interno de até 5 quilômetros; tripé para instalação da base de correção e um bastão para acoplamento do receptor GPS e *Rover* (Figura 1).

Figura 1 – Coletora Trimble modelo TSC3 (a); Conjunto Base e Rover marca Trimble modelo R6 (b)



Fonte: autores, 2018.

A base do equipamento foi instalada em um ponto interno do loteamento (Figura 2), obtendo-se um período de rastreamento de satélites igual a 2 horas e 15 minutos. Foram 56 pontos necessários para determinar os limites de todas as quadras e gerar as curvas de nível; entre esses pontos, está também o ponto de ré, necessário para o levantamento com a Estação Total. O tempo que o receptor *Rover* permaneceu em cada ponto foi de cinco segundos.

O segundo aparelho utilizado foi o GPS de simples frequência, da marca Trimble, modelo Juno AS, possuindo 12 canais paralelos com uma antena interna capaz de rastrear os sinais satélites, através da portadora L1, com precisão dos dados pós processados entre um a três metros. Foi utilizado o modo de posicionamento relativo estático pós-processado, permanecendo, em cada ponto topográfico, um período de rastreamento de três minutos (Figura 2), contado pelo próprio aparelho, tomando todos os vértices que delimitam a área estudada.

Figura 2 – Base do GPS RTK sendo instalada (a); aparelho GPS L1 estacionado em um ponto (b)



Fonte: autores, 2018.

Para obtenção dos dados por meio da Estação Total, utilizou-se um aparelho da marca Leica, modelo TC605L, com precisão de cinco segundos (Figura 3); um tripé para instalação e nivelamento do aparelho e um Prisma de dois metros de extensão (Figura 3) para as visadas de ré e irradiações dos pontos de interesse.

Figura 3 – Estação Total (a); Prisma (b)



Fonte: autores, 2018.

Com a Estação Total, os pontos de detalhes foram coletados por meio do método de irradiação. O ponto de instalação do equipamento foi o mesmo em que se instalou a base do GPS RTK. Para esse levantamento, foi necessária a presença de um auxiliar para posicionar o prisma em todos os pontos do loteamento.

Durante o levantamento com cada aparelho, foram cronometrados os tempos de realização. Os tempos de execuções, juntamente com as áreas encontradas, serviram de parâmetros para que houvesse as comparações entre os levantamentos topográficos.

O *software* utilizado para tratamento e exportação dos dados coletados pelo GPS RTK foi o Trimble Business Center (TBC). A base do levantamento foi corrigida 48 horas depois de ser realizado o levantamento, no site do IBGE, pelo método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Após a correção da base, os pontos levantados foram corrigidos no TBC e, em seguida, exportados em formato DXF (*Drawing Exchange Format*) para produção dos mapas no *software* AutoCad.

A importação e a correção diferencial dos dados coletados com o GPS de simples frequência foram realizadas pelo *software* computacional GPS PATHFINDER OFFICE versão 5.0. Utilizaram-se, para correção das posições, as bases das estações de Lagoa formosa - MG, Rio Paranaíba e Uberlândia, por serem as mais próximas do local em estudo. Após corrigidos os pontos, foram exportados em formato DXF e posteriormente editados no *software* AutoCad para geração das quadras do loteamento.

Os dados coletados pela Estação Total foram descarregados no Programa TOPOGRAPH 98 SE. Para início do processo, inseriram-se, no *software*, as coordenadas do ponto onde a Estação Total foi instalada, obtidas anteriormente com o GPS RTK, ajustando, assim, todas as outras coordenadas dos pontos do loteamento. Posteriormente, geraram-se as curvas de nível e exportou-se o arquivo em formato DXF, para criação dos mapas de elevações.

O TOPOGRAPH 98 SE também foi utilizado para geração das curvas de nível dos dados obtidos pelo GPS RTK e GPS L1. As diferenças de distâncias horizontais e verticais e a área das quadras e lotes para comparação dos resultados foram processadas por meio do *software* Excel da Microsoft.

O aparelho GPS de simples frequência (L1) foi disponibilizado pelo Laboratório de Topografia, localizado no segundo piso do bloco H do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, assim como o programa *Pathfinder Office*, para processamento dos dados. A Estação Total, os acessórios Prisma e Tripé e o GPS RTK foram disponibilizados pela empresa Caixeta Engenharia de Agrimensura Ltda, além do computador com os *softwares* Topograph, TBC e Convert to Rinex, adequado para processamento dos dados coletados pela Estação Total e GPS. Os pregos, marreta e tinta foram adquiridos pelo próprio autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise do trabalho se deu com a planimetria do terreno, dando continuidade com o estudo altimétrico. Ao fim das duas análises, foi possível distinguir quais as possíveis interferências que levaram aos resultados encontrados, além das vantagens e desvantagens de cada aparelho, definindo-se qual possui o melhor custo benefício.

Antes de se levantarem as áreas de todas as quadras do loteamento, processaram-se as coordenadas dos pontos de vértices de cada uma, obtendo-se,

então, uma relação quantitativa, que mostrou as diferenças horizontais em metros de cada ponto coletado com os três aparelhos. Concomitantemente, foram calculados e analisados a média e o desvio padrão das discrepâncias desses pontos, além de seu valor máximo e mínimo, expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatística descritiva das discrepâncias horizontais dos pontos

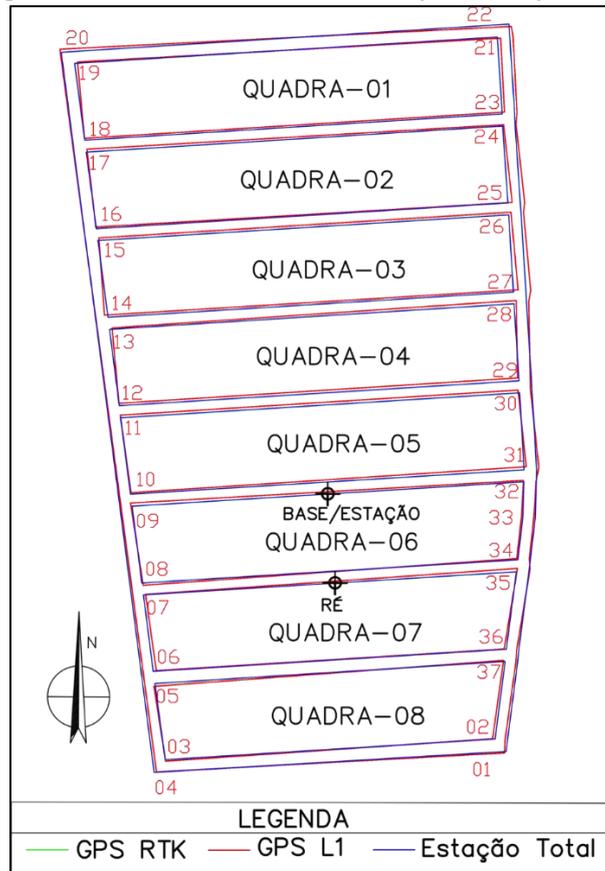
Aparelhos	Discrepância horizontal			
	Mínimo (metros)	Máximo (metros)	Média (metros)	Desvio padrão (metros)
GPS RTK x GPS (L1)	0,9032	3,1223	1,7041	0,5357
GPS (L1) x Estação Total	0,8969	3,0913	1,6945	0,5315
GPS RTK x Estação Total	0,0078	0,0960	0,0460	0,0243

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A média dos pontos que menos sofreu variação nas distâncias horizontais foi entre o GPS RTK e a Estação Total, apenas 0,0460 m, com um desvio padrão de 0,0243 m. Esses mesmos aparelhos, quando comparados com o GPS de simples frequência (L1), apresentaram uma média de 1,7041 m em relação ao GPS RTK e 1,6945 m entre a Estação Total, com desvio padrão de 0,5357 m e 0,5315 m, respectivamente.

Essas diferenças horizontais dos pontos afetam diretamente as áreas que seus vértices formam; sendo assim, após a ligação com polilinhas dos pontos de cada levantamento, realizou-se a interpolação em coordenadas dos três mapas no *software* AutoCad. Gerou-se, então, um total de oito quadras do loteamento (Figura 4). A quadra que mais sofreu variação em sua área, comparando-se apenas o GPS RTK com a Estação Total, foi a quadra de número 01, visto que a área apresentada por esse primeiro aparelho foi equivalente a 11.843,4159 m²; com a Estação Total, o valor foi de 11.857,1617 m², apresentando-se, assim, uma diferença de 13,7458 m².

Figura 4 – Loteamento levantado pelos 3 aparelhos



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Analisando-se a parcela de solo com o aparelho GPS L1, a área que mais apresentou variância em relação ao GPS RTK e a Estação Total foi a quadra de número 06, com uma diferença de 372,8355 m² a mais que o GPS RTK e 369,716 m² maior que a área aferida com a Estação Total. Assim como foi mostrada a estatística dos pontos na Tabela 1, a Figura 4 ilustrou como a diferença de área entre o GPS RTK e a Estação Total foi mínima, tendo suas linhas que formam as quadras bastante indefinidas; já com GPS L1, o deslocamento da quadra foi bastante visível nos vértices de número 27 e 25, por exemplo.

Após a análise das quadras, procedeu-se ao estudo mais aprofundado com a interferência dessas áreas em cada lote. Como a área estudada está contida na Zona de Adensamento (ZA) 3 da cidade de Patos de Minas – MG, foram realizadas as divisões dos lotes, tomando-se como frente mínima para lotes de esquina 12,00 m e para os demais lotes 11,00 m; a área mínima respeitada foi de 200,00 m² para cada lote, de acordo com a Lei Complementar nº 320 do município de Patos de Minas- MG (2008).

Comparando-se os aparelhos GPS RTK com GPS L1 e Estação Total com GPS L1, obtiveram-se lotes com áreas bem distintas. Mas, como as discrepâncias entre os pontos coletados pelo GPS RTK e Estação foram muito baixas, os valores comparados de ambos os aparelhos com o GPS L1 foram próximos. Sendo assim, optou-se por apresentar, na Tabela 2, somente a relação RTK e GPS L1, que mostra a quantidade de

lotes e suas correspondentes áreas da quadra de número 06, pois foi a que apresentou a maior discrepância de área em todo o loteamento aferido por ambos os aparelhos.

Tabela 2 – Lotes dimensionados pelo GPS RTK e GPS L1 na Quadra 06

GPS RTK		GPS L1	
Área (m ²)	Quant. de lote	Área (m ²)	Quant. de lote
357,37	01	441,01	01
257,80 a 257,99	32	260,06 a 273,45	32
321,34	01	361,05	01
323,40	01	293,96	01
301,80	01	293,59	01
258,60	01	274,29	01
263,87	01	254,20	01
332,48	01	371,54	01
357,55	01	343,48	01
366,40	01	333,46	01

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conforme mostrou a Tabela 2, o aumento mais significativo foi de 83,64 m²; além deste, houve outras variâncias como 39,71 m², 29,44 m² e 39,06 m² nos lotes, sendo todas as áreas maiores com o GPS L1. Sabendo-se que a discrepância de área mais significativa encontrada nas comparações feitas entre o GPS RTK e a Estação Total foi na quadra de número 01, foi estabelecida a quantidade de lotes por área, elaborando-se a mesma divisão geométrica da quadra para ambos os aparelhos. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Lotes dimensionados pelo GPS RTK e Estação Total na Quadra 01

GPS RTK		Estação Total	
Área (m ²)	Quant. de lote	Área (m ²)	Quant. de lote
256,86 a 257,55	38	257,15 a 257,60	38
264,00	02	264,00	02
249,61 a 249,63	03	250,20 a 251,10	03
281,42	01	285,60	01
258,58	01	260,00	01
252,66	01	254,20	01

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Diferentemente da comparação RTK e GPS L1, a diferença de área na quadra 01, igual a 13,7458 m², encontrada com os aparelhos GPS RTK e Estação Total, não apresentou elevada significância quando realizado o fracionamento da quadra. Assim como mostrou a Tabela 3, a maior diferença entre todos os lotes da quadra 01 foi de 4,50 m² a mais que o mesmo atribuído pelo GPS RTK.

Além das coordenadas levantadas para representação planimétrica das quadras, foram coletadas as suas respectivas cotas e a de mais outros 18 pontos

aleatórios do loteamento para análise altimétrica, por meio da geração de mapas de elevações do terreno. Após a obtenção de todas as cotas com os três aparelhos, calcularam-se as discrepâncias entre cada uma. Os resultados da média e do desvio padrão estão expressos na Tabela 4, assim como os valores máximos e mínimos.

Tabela 4 – Média e desvio padrão das discrepâncias verticais dos pontos

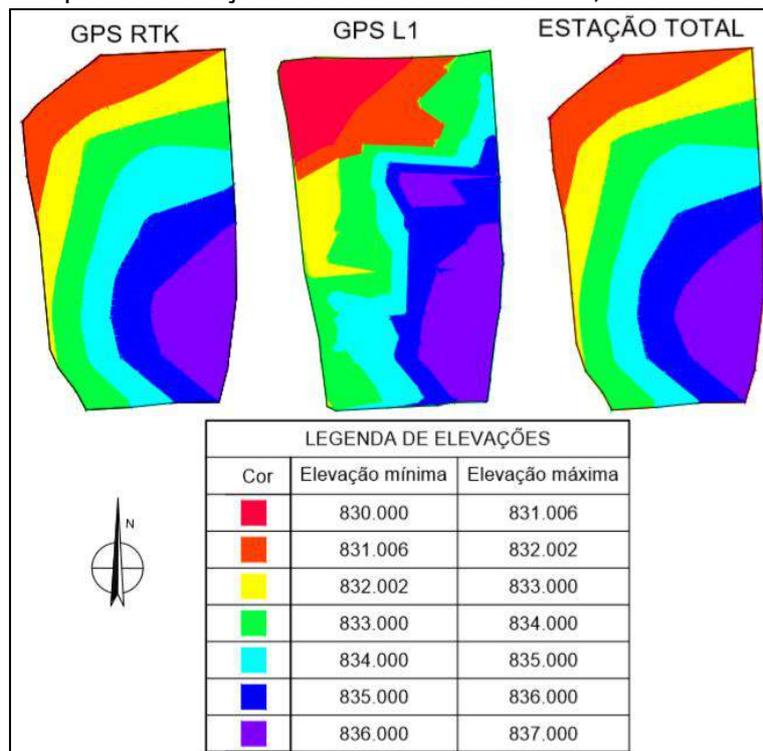
Aparelhos	Discrepância vertical			
	Mínimo (metros)	Máximo (metros)	Média (metros)	Desvio padrão (metros)
GPS RTK x GPS (L1)	0,003	2,350	0,7203	0,5967
GPS (L1) x Estação Total	0,010	2,306	0,7130	0,5881
GPS RTK x Estação Total	0,001	0,0530	0,0314	0,0087

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Comparando-se as discrepâncias verticais e horizontais dos pontos, observou-se uma nítida diminuição nas diferenças de cotas entre os aparelhos RTK e GPS L1, mesmo com o desvio padrão um pouco maior nas cotas, visto que a média das diferenças verticais dos pontos entre o GPS RTK e GPS L1 foi de 0,7203 m; nas discrepâncias horizontais, o valor foi de 1,7041 m, ou seja, uma diminuição de 0,9838 m das cotas para as coordenadas horizontais. Essas diferenças se apresentaram bem parecidas quando comparado o GPS L1 com a Estação Total.

Devido às defasagens entre RTK e GPS L1, Estação Total e GPS L1 serem muito próximas, as diferenças das cotas entre os aparelhos RTK e Estação Total foram muito baixas, conforme mostrou a Tabela 4. Comparando-se as discrepâncias horizontais e verticais, também houve uma leve queda, já que a média horizontal foi de 0,0460 m e a vertical foi de 0,0314 m, com um desvio padrão diminuindo também cerca de 0,0156 m. Para uma melhor visualização das interferências causadas por ambos aparelhos, geraram-se os mapas de elevações para os três aparelhos (Figura 5) no AutoCad Civil 3D, identificando-se por cores as diferenças de cotas.

Figura 5 – Mapas de elevações obtidos com o GPS RTK; GPS L1 e Estação Total



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Por meio do mapa de elevações, Figura 5, é possível visualizar uma nítida variância obtida com o GPS L1 em relação ao RTK e Estação Total, já que estes apresentaram curvas muito semelhantes. Com suas linhas distorcidas, as curvas originadas com o GPS L1 apresentaram cotas elevadas em vários pontos do terreno, enquanto em outros, menores. É possível notar uma modificação na forma geométrica do mapa obtido pelo GPS L1, pois, no seu canto superior esquerdo, obtiveram-se cotas de 830 m, o que não foi encontrado com os mapas do RTK e Estação Total, que possuíam cotas mínimas de 831 m.

Após os resultados obtidos dos levantamentos planimétricos e altimétricos do loteamento, é possível destacar uma grande diferença em ambos os levantamentos feitos pelo GPS L1, apresentando diferenças de área nas quadras de até 372,8355 m² a mais se comparadas com o RTK e 369,716 m² a mais que a Estação Total. Essas diferenças podem ser associadas à própria precisão do aparelho, que está entre 2 e 3 metros após a correção diferencial, expressa nas especificações técnicas da revendedora Embratop (2018).

Esse nível de precisão do aparelho e os resultados obtidos condizem com as conclusões de Silva (2002), que considera o modelo de GPS de simples frequência, conhecido como de navegação, inadequado para determinação de áreas urbanas ou rurais, sendo utilizado apenas para aferição de aproximação de áreas e divisões de pastagens.

Ao contrário do GPS L1, com os aparelhos GPS RTK e Estação Total houve pequenas discrepâncias verticais e horizontais nos pontos de todo loteamento, que

podem ser explicadas pelas interferências dos erros instrumentais ou pessoais, classificados como acidentais ou sistemáticos.

Diante da necessidade de um auxílio para posicionar o prisma da Estação Total no ponto de interesse, destaca-se a possibilidade de aquele desaprumar este em seu eixo, o mesmo acontece na operação com GPS RTK no posicionamento do *Rover*. Ressalta-se que se optou por todos os levantamentos serem realizados sem a presença de um Bipé, acessório para suporte do Prisma, GPS L1 e *Rover*, pois, nos levantamentos gerais, os profissionais não costumam utilizar esse equipamento, buscando agilizar os serviços.

Para analisar qual aparelho possui o melhor custo benefício, é preciso considerar, além do preço de cada um, alguns fatores que podem impossibilitar ou dificultar os levantamentos, exigindo-se, assim, um maior tempo nas execuções. Como no loteamento não havia obstáculos que dificultassem a leitura do prisma pela Estação Total, não houve a necessidade de mudança do aparelho para visualização de pontos de interesse; caso contrário, gastar-se-ia um tempo maior em função da locomoção e reinstalação do equipamento.

Salientam-se também as condições ideais para o levantamento em RTK, ressaltando-se as interferências causadas pelo multicaminhamento e perda de sinal satélite, acarretando falhas na comunicação entre satélite, base e *Rover*, devido à presença de árvores e edificações, além das condições climáticas. Boscatto (2014) cita que a precisão do método RTK pode diminuir quando a linha de comunicação da rádio entre a Base e *Rover* excede o seu limite de extensão. Todos esses fatores não preponderaram sobre o levantamento, pois não havia árvores ou construções ao redor, além da base instalada no próprio loteamento, com distância máxima entre base e *Rover* de apenas 312 m, medida bem inferior ao alcance do rádio interno do modelo RTK utilizado, definido nas suas especificações técnicas como sendo 5 km.

Sabendo-se que a NBR 13133:1994 recomenda para uma melhor referência o conhecimento das coordenadas de, pelo menos, dois pontos de partida para o levantamento topográfico com a Estação Total, utilizou-se o GPS RTK para construção desses apoios topográficos. De acordo com Vargas (2001), por meio da inserção de coordenadas em levantamentos topográficos, é possível inserir os resultados dos levantamentos no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Para mensuração dos tempos de realização de cada levantamento, é importante enfatizar o período necessário para obtenção das coordenadas da base do método em RTK. Nessa ocasião, o levantamento topográfico perdurou por mais de duas horas para construção dessa base, com a coleta de todos os pontos finalizada em 1 hora e 05 minutos. Já o tempo gasto com a Estação Total foi equivalente a cerca de 2 horas e com o GPS L1, 6 horas. Desconsiderando-se o tempo de construção de base no método RTK, tem-se um levantamento mais rápido e com menos mão de obra.

Ao se realizar uma pesquisa em relação aos preços de cada aparelho, constatou-se que o GPS RTK, em comparação com a Estação Total, possui um custo cinco vezes maior, enquanto o GPS L1 encontra-se com o menor valor entre os três aparelhos. Apesar de o aparelho RTK possuir um valor elevado, ele dispensa a presença de um auxiliar topógrafo; sendo assim, reduz-se o custo com encargos

trabalhistas e salários, compensando a sua diferença de preço, além de ele evitar uma possível fonte de erro.

4 CONCLUSÃO

Por meio dos mapas gerados, é possível concluir que o GPS L1 foi o que proporcionou resultados mais dispersos em relação aos encontrados pelo GPS RTK e Estação Total, o que foi observado principalmente pelo mapa de elevação. Dessa forma, fica nítida a imprecisão do aparelho GPS L1 para projetos de loteamento ou qualquer outro que exija precisões de áreas ou de curvas de nível e perfis, sendo reforçada a indicação desse aparelho apenas para uma estimativa de área.

Os resultados dos aparelhos GPS RTK e Estação Total apresentaram poucas alterações; sendo assim, ressalta-se a praticidade, na operação, do GPS RTK na execução do levantamento, podendo ser realizada por apenas uma pessoa com uma agilidade e precisão que só dependem do sinal satélite para sua efetivação. O mesmo não acontece com a Estação Total, devido à necessidade de um auxiliar para posicionar o prisma nos pontos topográficos, além da presença de obstáculos que podem dificultar a leitura de mira, tornando necessária a mudança do aparelho e a construção de poligonais ou abertura de caminhos para leitura.

Portanto, apesar de o GPS RTK possuir um custo maior que a Estação Total, as suas funcionalidades garantem um levantamento mais rápido e prático, além de fornecer o projeto do loteamento em coordenadas georreferenciadas. Em virtude das semelhanças nos levantamentos topográficos de ambos os aparelhos, os dois podem se complementar, dependendo das circunstâncias que se encontra o terreno a ser representado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13133**: execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências**. Brasília, 1979.

BRASIL. Lei n. 9.785, de 29 de janeiro de 1999. **Altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9785.ht

BOSCATTO, Flávio. **Diretrizes para o levantamento topográfico e geodésico do patrimônio cultural material**. 2014. 264 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2014.

CASACA, João Martins; MATOS, João Luís de; DIAS, José Miguel Baio. **Topografia geral**. 4. ed. atual. e aum. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

EMBRATOP. Trimble Juno SA – **Descrição**.

Disponível em: <https://www.embratop.com.br/produto/trimble-juno-sa/>.

MCCORMAC, Jack. **Topografia**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MONICO, José Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações** 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008. 476 p.

PATOS DE MINAS (Município). Lei nº 320, de 31 de dezembro de 2008. **Institui a revisão da Lei de zoneamento, uso e ocupação dos terrenos e edificações no município de Patos de Minas**. Patos de Minas, 2008.

SILVA, Sérgio Teixeira. **Análise comparativa entre equipamentos eletrônicos (GPS) para levantamento de dados topográficos**. 2002. 40 p. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. Belo Horizonte, 2002.

VARGAS, Rosane Maciel de Araújo. **Análise da aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) em levantamento topográfico de vias urbanas**. 2001. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ANÁLISE ORÇAMENTARIA E VIABILIDADE CONSTRUTIVA DE UMA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE EM *STEEL FRAME* E ALVENARIA CONVENCIONAL DE VEDAÇÃO¹

Alan Getúlio de Ázara

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: alangetulio@hotmail.com

Denner dos Santos Costa

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: denner.s.costa@hotmail.com

Rogério Borges Vieira

Professor orientador do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: rogeriobv@unipam.edu.br

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo comparar os métodos construtivos *Steel Frame* e Alvenaria de Vedação. Como objeto de estudo, adotou-se uma UBS construída em *Steel Frame* na cidade de Patos de Minas – MG. Foi comprovado no orçamento que a construção em alvenaria de vedação seria menos onerosa. Diante da cultura local, viu-se que o método de *Steel Frame* ainda não é tão difundido; outro fator que também dificulta a sua inserção na cidade é a falta de matéria prima local e mão de obra especializada.

PALAVRAS-CHAVE: *Steel Frame*. Alvenaria de Vedação. Custos. UBS.

ABSTRACT: The objective of the present work was to compare the *Steel Frame* and Masonry Construction methods. As object of study, a UBS was built at *Steel Frame* in the city of Patos de Minas - MG. It has been proven in the budget that the construction in masonry of fence would be less onerous. In view of the local culture, *Steel Frame*'s method is not yet widespread, another factor that also makes it difficult to enter the city is the lack of local raw materials and skilled labor.

KEYWORDS: *Steel Frame*. Budget. Masonry Fence. Cost. UBS.

INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil vem, a cada ano, expandindo-se, aprimorando-se e revolucionando-se. É uma das áreas que movimentam uma grande parte da economia mundial, sendo uma das maiores geradoras de emprego, produtos e renda.

Devido a essa movimentação na economia, o mercado vem sempre exigindo melhores resultados na entrega final de cada serviço prestado, aumentando, assim, a

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 – *Smart Cities V* Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

maior concorrência entre as construtoras, ocasionando a busca por métodos alternativos, que se sobressaíam sobre métodos convencionais já utilizados.

Pereira (s/d) afirma que alvenaria de vedação é o método construtivo mais utilizado para vedar e separar os ambientes no Brasil, composto por blocos cerâmicos sobrepostos, utilizando-se argamassa como artifício colante.

A diversidade tecnológica em materiais e em métodos construtivos, a necessidade de entregar produtos em menor tempo, a qualidade final das instalações, as diversas utilizações, o atendimento aos requisitos normativos de desempenho tratados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), entre tantos outros argumentos técnicos, fazem com que a investigação e a comparação de métodos tradicionais com métodos inovadores como o *Steel Frame* sejam o cerne deste trabalho e lancem luz aos olhos dos leitores a respeito do assunto.

O objetivo geral foi analisar as características construtivas de uma obra em *Steel Frame* versus a construção tradicional em Alvenaria de Vedação, métodos aplicados em obras públicas de Unidades Básicas de Saúde (UBS). Para tanto, foi analisada a viabilidade econômica para implantação comparada com uma mesma unidade de saúde em concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos de vedação. Foram feitas adaptações de projetos, levantamentos de serviços, elaboração de orçamentos, construção de cronogramas executivos. O local de implantação a cidade de Patos de Minas - MG.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

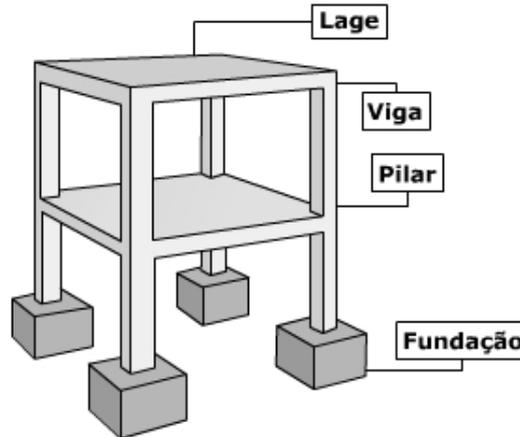
Construção civil é o termo que abrange a confecção de edifícios, de estradas e de outras infraestruturas, em que participam arquitetos, engenheiros civis e profissionais da área. Essa atividade é de grande importância por ser geradora de emprego para a sociedade e por absorver grande número de mão de obra em diversos setores. Além disso, contribui para o desenvolvimento do país, aumentando seu PIB e reduzindo seu déficit habitacional (SILVA, 2011).

ALVENARIA DE VEDAÇÃO E ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Segundo Prudêncio (2013), o sistema de concreto armado e alvenaria de blocos cerâmicos é o mais utilizado no país. Por esse motivo, é conhecido como método convencional. É composto por elementos básicos como pilares, vigas e lajes de concreto armado, sendo os vãos preenchidos com tijolos cerâmicos para vedação (VASQUES, 2014).

Para alvenaria de vedação, são executadas cintas de amarração, baldrames, pilares, vigas e laje, constituídos por concreto armado. A próxima etapa consiste na execução das alvenarias (fechamento, divisória ou estrutural), revestimentos da parede (chapisco, reboco), execução do contra piso etc (REMY, 2012). A figura 1 é um esquema demonstrativo das estruturas do sistema de concreto armado.

Figura 1 – Esquema Fundação, Pilares, Vigas e Laje



Fonte: Fernandes, 2016.

O sistema convencional de construção é composto por elementos de fundação (sapatas, vigas, baldrame, blocos, estacas e radier), paredes de alvenaria de vedação por blocos (cerâmicos ou de concreto), amarradas por pilares e vigas de concreto armado, laje (EPS, Pré-moldada, Maciça, Protendida etc.) e estrutura de telhado.

STEEL FRAME

O método *Steel Frame* é muito utilizado em diversos países, sendo muito empregado nos Estados Unidos, na Inglaterra, no Canadá e na França. Porém, no Brasil, o método ainda não é tão conhecido, sendo empregado na maioria das vezes em obras públicas de Unidades Básicas de Saúde (UBS) e, com menor frequência, em obras residenciais públicas ou privadas.

Para Pedroso (2014), o sistema construtivo *Light Steel Frame*, também conhecido como construção LSF ou estrutura em aço leve, faz parte do sistema CES (Construção Energética Sustentável). Trata-se de uma denominação internacional, empregada para definir o material construtivo que utiliza o aço galvanizado como principal elemento estrutural, gerando elementos de baixo peso. A figura 2 mostra a construção de uma casa em *Steel Frame*.

Figura 2 – Construção de Residência em *Steel Frame*



Fonte: JOB, 2011.

Segundo Hass e Martins (2008), o sistema *Steel Frame* geralmente é montado sobre uma fundação tipo radier; executada sobre isolamento hidrófugo e com as alimentações elétricas e hidráulicas já instaladas. A fundação tipo radier é a mais utilizada, porém serão necessários cálculos estruturais para indicar a fundação mais adequada para cada tipo de solo.

ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

Orçamentos na construção civil têm como objetivo projetar, com precisão, os resultados econômicos a serem obtidos no momento da conclusão de uma obra. Por meio dos projetos, é possível fazer levantamentos de quantitativos dos insumos e de mão de obra para qualquer sistema construtivo.

Antes de começar a elaborar um orçamento, deve-se examinar cuidadosamente algumas condições e fatores que nem sempre estão expressos no projeto, mas que influenciam diretamente o custo da obra (TISAKA, 2011).

METODOLOGIA

Foram feitas modificações de planilhas orçamentárias, desenvolvimentos de cronogramas, levantamentos de serviços, quantitativos de materiais, adaptação de projetos prévios, com finalidade de comparação dos custos e dos métodos executivos. Além disso, puderam-se vislumbrar a viabilidade econômica no sistema de *Steel Frame* e a implantação do método construtivo na cidade de Patos de Minas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obra da UBS em *Steel Frame* é do modelo T2T e está localizada na Rua Guilherme Borges de Queiroz s/n do bairro Jardim Paulistano na cidade de Patos de

Minas – MG. Tem uma metragem de 519m², é composta por diversas salas de atendimento, sala de vacinação, banheiros para portadores de necessidades especiais. Foi escolhida por ser uma das únicas obras feitas nesse método construtivo na cidade; dessa forma, a disponibilidade de projetos, planilhas e visitas foram obtidas com maior facilidade. A figura 3 mostra a UBS de estudo, em processo de finalização de construção.

Figura 3 – UBS Jardim Paulistano – Patos de Minas MG



Fonte: arquivo da Secretaria de Obras Públicas de Patos de Minas, 2017 .

LEVANTAMENTO DE DADOS

De acordo com Eckert (2017), durante o levantamento da composição orçamentária é preciso fazer um estudo detalhado dos projetos da obra, do modelo construtivo utilizado, do prazo determinado para conclusão da obra e da quantidade de mão de obra. Com o grande desenvolvimento do mercado da construção, planejar e orçar um empreendimento cuidadosamente é um trunfo na formação do preço de venda, tornando-se assim mais competitivo.

No levantamento de dados feito, viu-se a necessidade de se atualizarem os valores dos serviços presentes na planilha orçamentária para o ano de 2018, em que a base de dados era referente ao ano de 2014. Cada tipo de serviço é caracterizado por códigos, podendo ser encontrados em bases de dados do tipo SINAPI da Caixa Econômica Federal, atualizados mensalmente com parâmetros de cada estado, SETOP da região do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais e cotações de mercado.

As planilhas foram divididas em itens, que são as etapas construtivas, subitens, que dividem as etapas em serviços menores. Apresentam também os valores totais de cada um dos itens informados. A figura 4 trata de um resumo do orçamento de *Steel Frame*.

Figura 4 – Orçamento de *Steel Frame*

PLANILHA DE PREÇOS					DATA: 17/09/2014	
OBRA: UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE - T2T					DATA BASE: jul/18	
LOCAL: BAIRO JARDIM PAULISTANO - PATOS DE MINAS - MINAS GERAIS						
Item	Código	Descrição	Und.	Qty.	PREÇO CUSTO 2018	
					Unitário	Total
1		SERVIÇOS PRELIMINARES				RS45.760,85
2		INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS				RS1.684,22
3		MURO DE DIVISA				RS70.256,41
4		ANDAIME				RS9.616,62
5		FUNDAÇÃO - RADIER				RS64.504,25
6		ESTRUTURAS METÁLICAS E FECHAMENTOS LIGTH STEEL FRAME				
6.1	EST-MET-015	FORNECIMENTO, FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE ESTRUTURA METÁLICA (AÇO ESTRUTURAL PARA PÓRTICO E CAIXA D'ÁGUA)	KG	3.375	RS10,50	RS35.437,50
6.2	COTAÇÃO	FORNECIMENTO E MONTAGEM DE PERFIS METÁLICOS DE PAREDES EXTERNAS E INTERNAS, DE TELHADO, DA LAJE E ESCADA EM ESTRUTURA LIGHT STEEL FRAMING	M2	519	RS551,20	RS286.012,17
6.3	COTAÇÃO	FORNECIMENTO E MONTAGEM DOS FECHAMENTOS DAS PAREDES EM LIGHT STEEL FRAMING COM REVESTIMENTO EXTERNO E INTERNO, BARREIRA DE VAPOR DAS PAREDES E TELHADO, ISOLAMENTO TERMO-ACUSTICO DAS PAREDES E FORROS, SUBSTRATOS DOS PISOS DA LAJE E ESCADA E FORRO DE GESSO ESTRUTURADO	M2	519	RS285,00	RS147.883,65
6.4	72840	TRANSPORTE DA ESTRUTURA METÁLICA E LIGHT STEEL FRAMING, INCLUSIVE REVESTIMENTO E FORRO	CARRETA	2	RS3.510,00	RS7.020,00
TOTAL ITEM = 6						RS476.353,32

Fonte: autores, 2018.

Depois de concluída a atualização dos preços da obra em *Steel Frame*, foi elaborada uma nova planilha orçamentária de uma obra em alvenaria de vedação, que manteve algumas etapas construtivas da planilha original. Foram modificadas apenas as etapas relacionadas à estrutura da nova edificação (elementos de fundação, estrutura e fechamento em alvenaria de vedação).

Depois de realizados todos os levantamentos, cálculos e dimensionamentos, foi elaborada a nova planilha orçamentária da UBS (Unidade Básica de Saúde) em Alvenaria de Vedação, seguindo o mesmo modelo da planilha anterior em *Steel Frame*. A figura 5 mostra parte da planilha orçamentária, com enfoque na etapa estrutural do método.

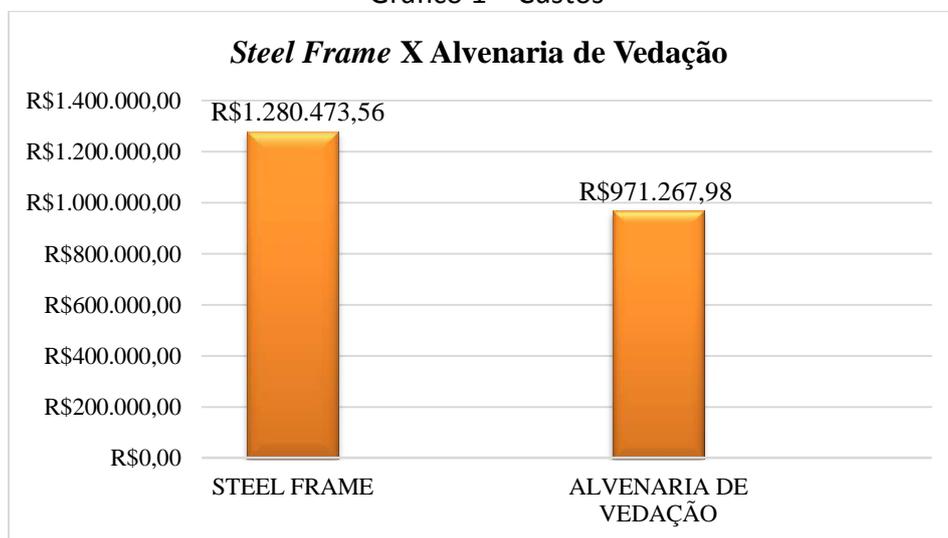
Figura 5 – Orçamento de Alvenaria de Vedação

PLANILHA DE PREÇOS					DATA: 17/09/2014	
OBRA: UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE - T2T					DATA BASE:	jul/18
LOCAL: BAIRO JARDIM PAULISTANO - PATOS DE MINAS - MINAS GERAIS					BDI:	
Item	Código	Descrição	Unid.	Qty.	PREÇO CUSTO 2018	
					Pr. Unitário	Pr. Total
1		SERVIÇOS PRELIMINARES				RS45.760,85
2		INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS				RS1.684,22
3		MURO DE DIVISA				RS70.256,41
4		ANDAIME				RS9.616,62
5		FUNDAÇÃO				RS67.914,52
6		ESTRUTURA				
6.1	92270	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, COM MADEIRA SERRADA, E = 25 MM. AF 12	M2	210	R\$71,41	R\$14.996,10
6.2	ARM-AÇO-020	CORTE, DOBRA E ARMAÇÃO DE AÇO CA-50/60	KG	1.250	R\$7,89	R\$9.860,92
6.3	ARM-AÇO-015	CORTE, DOBRA E ARMAÇÃO DE AÇO CA-60	KG	482	R\$7,87	RS3.790,98
6.4	COTAÇÃO	CONCRETO USINADO BOMBEADO FCK=25MPA, INCLUSIVE COLOCAÇÃO, ESPALHAMENTO E ACABAMENTO	M3	33	R\$390,00	R\$12.870,00
6.5	74141/002	LAJE PRE-MOLD BETA 12 P/3,5KN/M2 VAO 4,1M INCL VIGOTAS TIJOLOS ARMADURA NEGATIVA CAPEAMENTO 3CM CONCRETO 15MPA ESCORAMENTO MATERIAIS E MAO DE OBRA.	M2	484	R\$75,34	R\$36.473,60
6.6	93182	VERGA, CONTRA-VERGA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 10X10CM, FCK=20MPA (PREPARO COM BETONEIRA) AÇO CA60, BITOLA FINA, INCLUSIVE FORMAS TABUA 3A	M	124	R\$24,07	R\$2.995,51
TOTAL ITEM: 06						RS80.987,11

Fonte: autores, 2018.

Ao se analisarem ambos os orçamentos para melhor visualização e entendimento, foi elaborado o gráfico 1, que mostra os valores referentes aos métodos construtivos.

Gráfico 1 – Custos



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com o gráfico 1, concluiu-se que, diante dos orçamentos dos métodos construtivos de Alvenaria de Vedação e de *Steel Frame*, o custo da obra em alvenaria se mostra menos oneroso; a partir disso, pode-se calcular o custo por metro quadrado de ambos; o valor encontrado foi de R\$2.539,01 para *Steel Frame* e R\$1.925,90 para Alvenaria de Vedação e estrutura de concreto armado.

A análise dos métodos construtivos demanda um levantamento de tempo de execução. Para isso, foram levantadas as horas de trabalho por serviço, com a finalidade de se encontrar a equipe necessária para cada etapa construtiva e de se montar um cronograma executivo de ambos os métodos.

CRONOGRAMAS EXECUTIVOS

Para Faria (2011), o cronograma mostra, em forma de linha do tempo, o começo e o fim de cada uma das etapas da obra, sendo possível analisar o andamento das frentes de serviço. O levantamento de horas/homem teve como embasamento somente as etapas estruturais e de vedação de cada um dos métodos, ou seja, as etapas de fundação, hidráulica, elétrica, acabamentos, pintura, cobertura e paisagismo foram desconsiderados para comparação, por apresentarem diferenças irrelevantes quando confrontadas.

A montagem e a construção em *Steel Frame* podem variar em função de cada projetista ou da empresa executora. Além disso, quanto maior o nível de industrialização, maior é a racionalização. O processo de montagem pode ser feito de duas maneiras: modular, em que os perfis são montados na obra, formando os painéis e sendo afixados na fundação; industrializada, em que os perfis já vêm pré-montados de fábrica, cabendo aos montadores somente a alocação na fundação (FREITAS, 2006).

De acordo com dados levantados a partir de visitas técnicas e consultorias, constatou-se que, para a execução da UBS em *Steel Frame*, a equipe de trabalhadores do canteiro de obras, na etapa de execução da estrutura e fechamento, era composta de 4 funcionários (2 montadores de *Steel Frame* e 2 ajudantes de montadores). Com as informações obtidas, calculou-se que, para a execução da estrutura e fechamentos da UBS, seriam gastos 99 dias úteis.

Portanto, a execução da estrutura em *Steel Frame* pôde ser feita por 4 funcionários, totalizando 307,20 horas gastas pelos montadores e 204,80 horas pelos ajudantes. Foi calculado também o custo de ambos os funcionários, seguindo parâmetros vigentes de salários do SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil na cidade de Patos de Minas – MG (2018), considerando os impostos e encargos incidentes.

Conforme calculado, encontrou-se o valor referente à mão de obra requerida para *Steel Frame*. O tempo de execução da parte estrutural considerado foi de 5 meses, sendo elaborada a projeção do custo total, nos meses trabalhados, de R\$61.526,09.

Realizou-se também o levantamento de horas gastas para as etapas de execução da estrutura em concreto armado e da alvenaria de vedação. Foram buscados os índices de produtividade da TCPO 13 (2010) e calculados os totais referentes às funções dos funcionários. A partir dos dados levantados, constatou-se que, para executar as etapas no prazo de 6 meses, seria necessário formar uma equipe de funcionários.

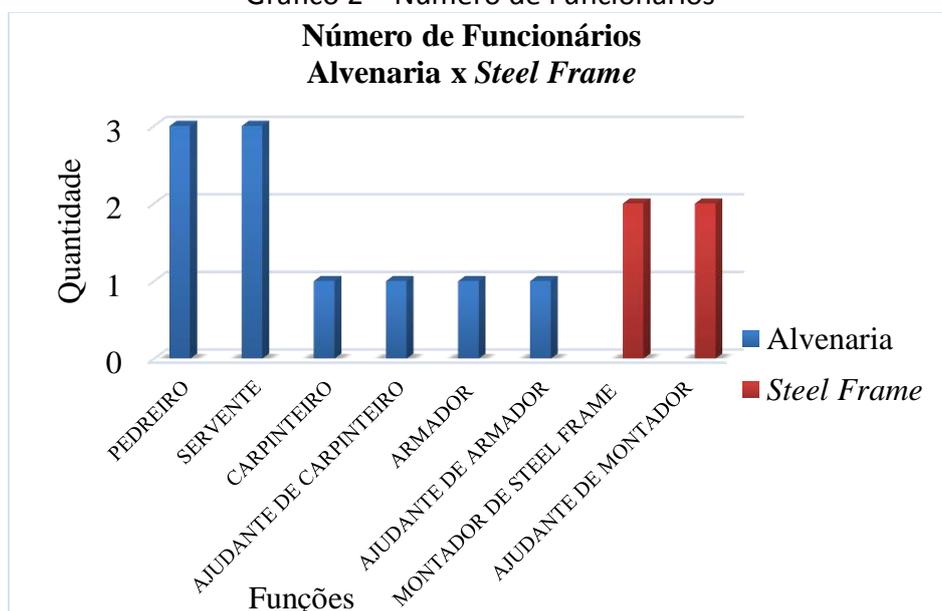
Para isso, a execução da estrutura de concreto armado e o fechamento em alvenaria de vedação contariam com 3 pedreiros, 3 serventes, 1 carpinteiro, 1 ajudante de carpinteiro, 1 armador e 1 ajudante de armador, com uma quantidade de horas de

3330.2, 3466.72, 700.32, 77.07, 185.18, 112.58, respectivamente. Assim, utilizando-se parâmetros da SINDUSCON (2018), calculou-se o custo desses funcionários, fechando um valor, ao final dos 6 meses, de R\$114.974,49.

Segundo Santiago (2008), é necessário um maior quadro de equipe para execução de obra, seguindo os sistemas construtivos convencionais, por serem considerados pouco produtivos. Dessa forma, os métodos convencionais não se mostram suficientes para suprir a demanda por construções. Abrem-se, assim, espaços para novos métodos mais rápidos, para se conseguir sanar déficit habitacional brasileiro.

O gráfico 3 compara as equipes dimensionadas em ambos os métodos construtivos.

Gráfico 2 – Número de Funcionários



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Ao se analisarem os custos de mão de obra, viu-se que o valor encontrado para a equipe da execução da obra em *Steel Frame* foi menor do que o valor encontrado para a equipe de alvenaria de vedação e estrutura de concreto armado, ou seja, na análise somente das estruturas e fechamentos, o custo de mão de obra final aos 6 meses de execução em *Steel Frame* se mostra mais atrativo.

Souza (2006) afirma que a construção, de modo geral, é considerada como uma indústria caracterizada pela deficiência e má qualidade de produtividade no uso da mão de obra. Isso se torna cada vez mais preocupante, tendo em vista o crescimento da competição e o aumento de mercado.

Por fim, elaboraram-se os cronogramas físicos de ambos os métodos construtivos planilha 1, contendo os serviços de modo geral a serem executados, contendo percentuais estimados em *Steel Frame*, elaborados de acordo com as consultorias feitas, e em Alvenaria de Vedação, seguindo dados reais com ajuda do orientador.

Planilha 1 – Cronogramas

SERVIÇOS	1 Mês		2 Mês		3 Mês		4 Mês		5 Mês		6 Mês	
	S.F	ALV.										
FUNDAÇÃO	100%	100%										
ESTRUTURA			25%	50%	25%	50%	20%		20%		10%	
INSTALAÇÕES		10%		10%		10%	80%	40%	20%	20%		10%
COBERTURA								50%	100%	50%		
ACABAMENTOS										40%	100%	60%

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com as visitas técnicas feitas, dados levantados e auxílio do orientador, os percentuais referentes de cada etapa foram estipulados seguindo um parâmetro de obras realizadas e conhecimentos práticos pessoais fornecidos pelo orientador.

VANTAGENS E DESVANTAGENS

O peso de uma estrutura feita em *Steel Frame* com acabamentos, de acordo com a Fastcon (2015), gira em torno de 250kg/m², enquanto o peso aproximado das estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação é de 1.250kg/m³.

Outra vantagem é que os materiais e produtos que compõem o *Steel Frame* são padronizados tecnologicamente e produzidos industrialmente; os processos envolvidos de produção são rigorosamente controlados para qualidade. Perfis possuem durabilidade e longevidade muito elevada, a montagem é facilitada, há rapidez na execução (FREITAS, 2006).

Uma das maiores desvantagens existentes em executar uma obra em *Steel Frame* é a necessidade de mão de obra especializada no canteiro (SANTIAGO, 2008).

Crasto (2005) aponta que há uma velocidade alta na montagem da estrutura, minimização do trabalho na obra, precisão dimensional muito grande como vantagens. Porém, uma desvantagem do método de *Steel Frame* é que o construtor necessita de um ambiente apropriado para montar os componentes.

Quanto à alvenaria de vedação, têm-se como vantagens a grande disponibilidade de material, maior aceitação do cliente devido à cultura, materiais mais baratos (PEREIRA, s/d).

Souza (2012) cita como desvantagens em utilizar alvenaria de vedação a baixa produtividade de execução, o peso próprio por metro quadrado elevado, o índice de desperdício e perdas altos.

Ainda de acordo com Souza (2012), o método apresenta algumas vantagens, como ótima aceitação pelo usuário, facilidade e baixo custo de componentes, bom comportamento em relação aos testes de estanqueidade e resistência ao fogo.

De modo geral, para a construção de obras diversas, ao se considerarem as vantagens e as desvantagens de cada um dos métodos, cabe aos construtores e executores a decisão de por qual deles optar, analisando-se todas as características, custos, e tempo desejado para conclusão da obra.

CONCLUSÃO

De acordo com o Ministério da Saúde (2013), a utilização do método construtivo em *Steel Frame* traz resultados satisfatórios, promovendo mais rapidez nos processos de contratação e construção das UBS, além de ser um método de construção racionalizada ou industrializada, gerando, assim, maior eficácia e velocidade quanto à execução.

Ao se analisarem as características dos métodos executivos *Steel Frame* e Alvenaria de Vedação, viu-se uma discrepância entre as etapas de execução, podendo ser analisados os materiais utilizados, que são diferentes, mas, ao mesmo tempo, trazem um resultado próximo, como acabamentos, hidráulica, elétrica, esquadrias e pinturas.

Quando confrontados os métodos em relação aos custos, pode ser comprovado que a obra da UBS, se feita em Alvenaria de Vedação e estrutura em concreto armado, de acordo com o orçamento elaborado, fecharia com o valor de R\$971.267,98; se feita em *Steel Frame*, o valor orçado seria de R\$1.280.473,56, tendo uma diferença de 31,84%; tais valores foram levantados a partir das bases de dados SINAPI (2018), SETOP (2018) e cotações de mercado.

Conforme previamente demonstrado, o custo por m² em alvenaria de vedação obtido foi de R\$1.925,90, enquanto em *Steel Frame* o m² tem custo de R\$2.539,01, comprovando a diferença de 31,84% do custo total da obra.

Para as análises de orçamento e prazo de execução feitas entre os métodos, conforme explicado, utilizou-se como parâmetros somente as estruturas e fechamentos; não foram considerados, nesse trabalho, instalações elétricas, hidráulicas, cabeamentos, acabamentos de pintura, piso, esquadrias e paisagismo.

Portanto, a execução da UBS em Alvenaria de Vedação e estrutura de concreto armado provou, com base no orçamento, ter o menor custo dentre os métodos estudados. Porém, devido à mão de obra não ser especializada, o cronograma é quem dita as regras, pois o Ministério da Saúde (2013) exige rapidez na execução e qualidade de serviços, fatores que ficam a desejar no método construtivo de alvenaria de vedação.

Para levantamento de pessoas necessárias para a execução da obra em *Steel Frame*, foram feitas visitas técnicas e consultorias com empresas do ramo. Foi possível quantificar os funcionários, elaborando o custo mensal deles. E para quantificar os funcionários na obra em alvenaria de vedação, foram elaborados levantamentos de serviços, obtendo-se, a partir da TCPO 13 (2010), os índices que foram utilizados para calcular as horas cabíveis a cada uma das funções.

O resultado obtido nos levantamentos das equipes trouxe um quadro de funcionários de cada método, sendo o de *Steel Frame* composto por 2 montadores de estrutura e 2 ajudantes de montadores; já em Alvenaria, a equipe seria composta por 3 pedreiros, 3 serventes, 1 carpinteiro, 1 ajudante de carpinteiro, 1 armador e 1 ajudante de armador, ressaltando que foi considerada apenas a etapa de execução das estruturas de ambos os métodos.

Insumos necessários para a inserção do método de *Steel Frame* no país estão disponíveis, porém sofrem uma grande resistência por parte dos usuários, devido à

natureza dos componentes utilizados, que é diferente dos materiais maciços utilizados em métodos convencionais. Para uma maior aceitação desse método, é preciso divulgar aos usuários e aos profissionais afins experiências bem-sucedidas e como funciona a tecnologia (SANTIAGO, 2008).

A aplicação e uso do método de *Steel Frame* na cidade de Patos de Minas – MG pode se tornar complicado devido à falta de mão de obra especializada, de empresas e de fábricas com sede na cidade, acarretando a mobilidade de pessoas, materiais e equipamentos. Porém, em cidades com disponibilidade de mão de obra, material e empresas, obras feitas em *Steel Frame* conseguem se mostrar mais viáveis e atrativas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: edificações Habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 2018. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>.

CRASTO. R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 255f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufop.br/handle/123456789/6246>.

ECKERT. D. G. **Comparativo orçamentário utilizando os sistemas construtivos convencional e Light Steel Framing**. 2017. 134f. Trabalho de conclusão de curso (Universidade Tecnológica Federal Do Paraná). 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8617/1/PB_COECI_2017_1_19.pdf.

FARIA. R. Planejamento, cronograma físico-financeiro. **Artigo Equipe de Obra**, 2011. Disponível em: <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/35/cronograma-fisico-financeiro-213994-1.aspx>.

FASTCON. C. S. **Steel Frame Passo-a-Passo**. 2015. Disponível em: <http://fastcon.com.br>.

FERNANDES, L. A. **Aulas IFPI** :Instituto Federal do Piauí: desenho arquitetônico, projetos estruturais e técnicas construtivas. 2016. Disponível em: <https://desenhoarquitetonicosite.wordpress.com>.

FREITAS, A. M. S. **Steel Framing**: arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual de Construção em Aço). Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-manuais.php>.

HASS, D. C. G; MARTINS L. F. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo Steel Frame como método construtivo para habitações sociais**. 2011, 76f. TCC de graduação (Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba. Disponível em:
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/361/1/CT_EPC_2011_2_14.PDF.

JOB, R. *Steel Frame*, o que é?. **Casa e Construção**. 2011. Disponível em:
<https://casaconstrucao.org/materiais/steel-frame/>>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Estruturas compostas formadas por perfis formados a frio**: manual de Construções em Aço. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Valdir_Silva/publication/267331523_Estruturas_compostas_por_perfis_formados_a_frio_dimensao_pelo_metodo_das_larguras_efetivas_e_aplicacao_conforme_ABNT_NBR_147622010_e_ABNT_NBR_63552012.pdf>. Acesso em: 22 set. 2018.

PEREIRA, C. **Principais tipos de Sistemas Construtivos**. [s/d]. Escola de Engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br>>.

PEDROSO, S. P. **Steel Frame na Construção Civil**. 2014, 14f. (Artigo 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional). Disponível em:
<https://www.fag.edu.br/upload/ecci/anais/559532ca64bc5.pdf>.

PRUDÊNCIO, M. V. **Projeto e análise comparativa de custo de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos, convencional e Light Steel Framing**. 2013, 66f. (Monografia Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1862>.

REMY, F. Etapas de uma obra, passo a passo. **Revista Digital de Construção Civil**, 2012. Disponível em: <http://engenheirofabioremy.blogspot.com.br/2010/07/etapas-da-obra-passo-passo.html>.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS DE PATOS DE MINAS. Secretaria de Fiscalização de Obras de Infraestrutura Urbana. **UBS Jardim Paulistano Patos de Minas MG**. 2017. Patos de Minas.

SETOP Secretaria de Estados de Transportes e Obras Públicas. **Consulta à Planilha Preço SETOP**. 2018. Disponível em:
<http://www.transportes.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-setop>.

SANTIAGO, A. K. Light Steel Framing como alternativa para a construção de moradias populares. *In*: CONSTRUMETAL – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, 2008. Disponível em: <
<https://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/23->

light-steel-framing-como-alternativa-para-a-construcao-de-moradias-populares.pdf.

SILVA, C. I. *et al.* **História da Construção Civil**. 2011, 43f. Dissertação. (Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco. Disponível em:
<https://repositorio.ufpe.br/historiadaconstrucao+civil>.

SOUZA, U. E. L. Como aumentar a eficiência da mão-de-Obra. **Manual de Gestão da Produtividade na Construção Civil**. São Paulo: PINI, 2006. Disponível em:
piniweb17.pini.com.br/como-aumentar-eficiencia-da-mao-de-obra.aspx .

SOUZA, L. G. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e *Wood Frame*. **Revista Online IPOG**, 2012. Disponível em:
<http://www.bussinesstour.com.br/uploads/arquivos/80c5f1f09008d87d427f2c446ae349e7.pdf>.

TABELA de composição de preços para orçamentos – TCPO. 13. ed. São Paulo, 2010. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/Livros&Tutoriais/PINI-TCPO13/TCPO%2013.pdf>.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil, consultoria, projeto e execução**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Pini, 2011.

VASQUES, C. C. P. C. F. Comparativo de sistemas construtivos, convencional e *Wood Frame* em residências unifamiliares. **Revista Unilins**, 2014. Disponível em: <
<http://www.revista.unilins.edu.br/index.php/cognitio/article/view/193/188>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

PROJETO E ORÇAMENTO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NOS PADRÕES DO PMCMV VISANDO PARÂMETROS DE SUSTENTABILIDADE¹

Luana Patrícia de Moura Araújo

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: luanapma@unipam.edu.br

Mirele Ribeiro de Magalhães

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: mirele_3007_@hotmail.com

Nancy Tiemi Isewaki

Professora Especialista do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.

E-mail: nancyti@unipam.edu.br

RESUMO: Esse estudo tem por finalidade verificar a aprovação de um projeto com parâmetros sustentáveis no Programa Minha Casa Minha Vida. Para isso, foi elaborado um projeto arquitetônico e croquis complementares. Após, foi feito o levantamento quantitativo e qualitativo dos materiais e montadas as composições de custo unitário envolvendo valores de insumos e mão de obra. Por fim, chegou-se ao orçamento final, constatando a sua positividade quanto à aprovação no PMCMV em Patos de Minas.

PALAVRAS-CHAVE: PMCMV. Projetos. Orçamento.

ABSTRACT: This study aims to verify approval of a project with sustainable parameters in the My Home My Life Program. For that, an architectural design and complementary sketches were elaborated. Afterwards, all the quantitative and qualitative survey of all the materials were done and all the compositions of unitary cost involving values of inputs and manpower were assembled. Finally, it reached the final budget, noting its positiveness regarding the approval of the PMCMV in Patos de Minas.

KEYWORDS: PMCMV. Projects. Estimate.

INTRODUÇÃO

Desde o início das civilizações, o homem possui o desejo de ter um abrigo. Com o passar do tempo e com o desenvolvimento do setor da construção civil, o sonho de ter a casa própria se torna cada vez maior para a população. Programas como o financiamento Minha Casa Minha Vida (PMCMV) da Caixa Econômica Federal vem concretizando esse sonho.

¹ Trabalho apresentado no eixo temático de Engenharia Civil na categoria de comunicação oral - Novas tecnologias e ferramentas para gestão empreendedora do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

De acordo com dados do G1 (2018)², a Caixa Econômica Federal já realizou a contratação de 4.349.510 unidades habitacionais desde o lançamento do PMCMV em 2009. Desse total, 3.474.674 unidades habitacionais já foram concluídas e entregues para as famílias beneficiadas pelo Programa. Entretanto, esse tipo de programa define um modelo tipológico de moradia praticamente padrão, uma vez que as moradias devem se enquadrar dentro de um valor preestabelecido, o que dificulta a criação de modelos excepcionais.

Segundo o SindusCon-SP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (2018)³, a construção civil é um dos mais importantes setores da economia. Porém, é um dos setores que mais consome recursos naturais, desde a produção dos insumos utilizados até a execução da obra. No Brasil, são consumidos cerca de 75% de recursos extraídos do meio ambiente. Nesse mesmo contexto, Scillag (2018)⁴, acrescenta que as edificações brasileiras consomem anualmente 44% do total de energia elétrica do país e são responsáveis pelo exorbitante consumo de água potável no mundo. Em áreas urbanizadas, chegam a ser cerca de 50% da água potável fornecida à região, podendo chegar até a 84% em algumas regiões. Além disso, dentre todas as atividades produtivas, apresenta-se como a maior geradora de resíduos.

Dessa forma, o emprego de construções sustentáveis vem sendo cada vez mais intensificados na tentativa de amenização desses impactos. Seria possível desenvolver um projeto com parâmetros de sustentabilidade dentro do orçamento do PMCMV? Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é verificar a possibilidade de aprovação orçamentária de um projeto de residência unifamiliar no município de Patos de Minas, nos moldes do PMCMV, implantando soluções de sustentabilidade.

Para alcançar este propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: analisar o referencial teórico; desenvolver um projeto arquitetônico de uma residência conforme os parâmetros urbanísticos do PMCMV e do município; buscar soluções sustentáveis para a utilização de materiais com baixo impacto ambiental e que gerem economia, gerir ecologicamente a água, usar racionalmente energia ou energias renováveis e desenvolver croquis de projetos complementares que são necessários ao orçamento.

Nesse intuito, Bernardes (2012) argumenta que a adoção de soluções ambientalmente sustentáveis na construção civil nem sempre gera um aumento de preço, principalmente quando adotadas durante as fases de criação do projeto. Em alguns casos, podem até reduzir os custos finais. Mesmo que o preço de implantação de alguns sistemas sustentáveis acarrete custos maiores, esse valor deverá ser recuperado durante o tempo de uso da edificação.

Portanto, este estudo servirá como referencial teórico para pesquisas futuras e como base para aqueles que desejam construir por meio do PMCMV. A pesquisa será de abordagem quali-quantitativa. As etapas de definição de conceitos, elaboração de projetos e a inserção de quesitos de sustentabilidade se classificam como qualitativas.

² Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/mais-de-36-mil-unidades-do-minha-casa-minha-vida-estao-paralisadas-no-pais.ghtml>>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

³ Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

⁴ Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

Já a etapa que se refere ao orçamento e ao levantamento de dados identifica-se como quantitativa.

METODOLOGIA

O principal objetivo deste trabalho é a verificação da possibilidade de aprovação orçamentária de um projeto de residência unifamiliar no PMCMV, implantando soluções de sustentabilidade, no município de Patos de Minas.

A metodologia de pesquisa foi baseada em referências bibliográficas as quais definem os conceitos de habitações populares, sustentabilidade, principais meios construtivos, projetos elaborados e orçamento.

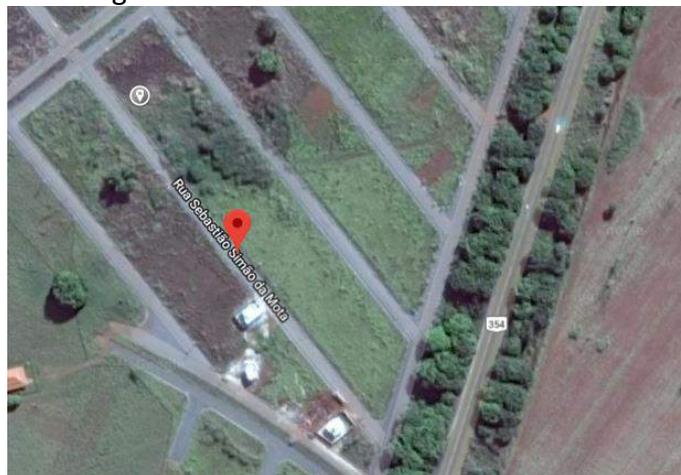
Os projetos arquitetônicos e croquis foram desenvolvidos conforme diretrizes apresentadas por Diez (2012, p.18), que explica que “em toda construção deve-se levar em conta a sua solidez (*firmitas*), a sua utilidade (*utilitas*) e a sua beleza (*venustas*). Uma obra arquitetônica é única e indivisível, deve ser concebida como um todo formal, funcional e técnico”.

De acordo com os preceitos do autor citado acima, foi desenvolvido o projeto arquitetônico e os croquis dos demais projetos (projeto estrutural, instalações elétricas e hidrossanitárias). O projeto arquitetônico, compatibilizado com os demais, foi elaborado de maneira a obter melhor aproveitamento do lote e melhor divisão dos espaços dentro da residência. Em todos os projetos, foram seguidas as normas técnicas da ABNT.

A faixa de renda do PMCMV determinada é a 2 (que possui variação de renda entre R\$ 2.600,00 e R\$ 4.000,00), e o valor do teto disponível para a cidade de Patos de Minas é R\$ 170.000,00

Foi adotado o modelo de lote padrão, cujas coordenadas geográficas são (-18,601618; -46,469854). O lote localiza-se no bairro Jardim Europa, no município de Patos de Minas, na zona de adensamento Za-3, inscrito na quadra 9, lote nº40. Possui dimensões de 11x20 m e área total de 220 m². Apresenta infraestrutura completa, água, esgoto, drenagem, pavimentação asfáltica e rede elétrica. O valor do lote, segundo o proprietário, é de R\$ 57.000,00.

Figura 1 – Vista satélite do lote adotado



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/search/rua+joao+sebastiao+simao+da+mota/@-18.6020453,->

46.4707689,355m/data=!3m1!1e3

O projeto arquitetônico foi desenvolvido por completo, no software AutoCAD 2014, apresentando planta baixa, cortes, situação e locação, planta de cobertura, perfis do terreno e fachada. As fachadas da residência também foram elaboradas no programa SketchUp 2018, para possibilitar um melhor entendimento por parte dos observadores.

Para o projeto elétrico, foi realizado apenas um croqui no software AutoCAD 2014, identificando os pontos de luz e de tomada.

O projeto estrutural foi elaborado no software AutoCAD 2014, também em forma de croqui, em que foi mostrada a demarcação de todos os pilares, vigas e posicionamento de vigotas na laje. Foram apresentados também o diâmetro das bitolas e a quantidade de ferragem necessária à construção da residência.

O projeto hidráulico, assim como o elétrico e estrutural, foi desenvolvido apenas por meio de croqui no software AutoCAD 2014. Foram apresentados os isométricos e a lista de materiais.

No quesito sustentabilidade, foram adotados:

- uso de arejadores nos bicos das torneiras para direcionar o fluxo da água e aumentar a sensação de vazão;
- válvulas de descarga com dois acionadores, sendo um com maior vazão, usado para limpeza de sólidos, e outro com menor vazão, usado para limpeza de líquidos;
- um jardim de inverno entre os cômodos sala e cozinha com o intuito de proporcionar maior quantidade de luz e ventilação natural, além de deixar o ambiente mais verde;
- projeção de área permeável em torno de toda a residência, possibilitando o processo de infiltração das águas no solo;
- implantação de placas fotovoltaicas para aproveitamento dos raios solares, transformando água fria em água quente e, conseqüentemente, diminuindo os gastos com energia elétrica.

O orçamento teve como base para cálculo o projeto arquitetônico e os croquis dos projetos hidrossanitário, elétrico e estrutural. Para cálculo de mão de obra e de materiais, foram utilizadas, como suporte, as seguintes tabelas: SINAPI (indicada pela Caixa Econômica Federal), TCPO, SEINFRA e EMOP, com exceção de alguns materiais para os quais foram utilizados o valor de mercado, por exemplo, os materiais adotados como quesito de sustentabilidade e outros.

Os resultados estão apresentados em tabela do Excel, que correlacionou quantidade, valor de insumos e valor de mão de obra de cada item cotado.

A análise final do presente trabalho refere-se ao estudo entre o valor final encontrado no orçamento, com base nos projetos e na implantação de meios sustentáveis, e o valor disponibilizado pela Caixa Econômica Federal para financiamento no PMCMV. O objetivo foi alcançar um padrão de moradia que atenda a critérios de sustentabilidade, utilizando materiais com pequeno impacto ao meio ambiente, gerenciando melhor o uso da água, utilizando a energia solar como meio de economia e aproveitamento os recursos renováveis disponíveis no ecossistema, sem desviar do valor disponível para o financiamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na elaboração de orçamento de uma edificação, é muito importante classificar e discriminar os diversos serviços que podem ocorrer durante a execução da obra. Dessa forma, é necessário sistematizar um roteiro a ser seguido na execução do orçamento, de modo que nenhum serviço seja omitido e que obedeça ao projeto aprovado em conformidade com o estabelecido em memoriais descritivos ou em especificações técnicas. De acordo com as circunstâncias de cada caso, a discriminação dos serviços pode ser detalhada em seus pormenores (YAZIGI, 2014).

Todo projeto pode ser subdividido em determinadas fases de desenvolvimento, o que permite um melhor controle total de recursos gastos para atingir as metas estabelecidas. Esse conjunto de fases é conhecido como ciclo de vida, que possibilita que sejam avaliadas várias similaridades que podem ser encontradas em todos os projetos, independentemente de seu contexto, aplicabilidade ou área de atuação (VARGAS 2007).

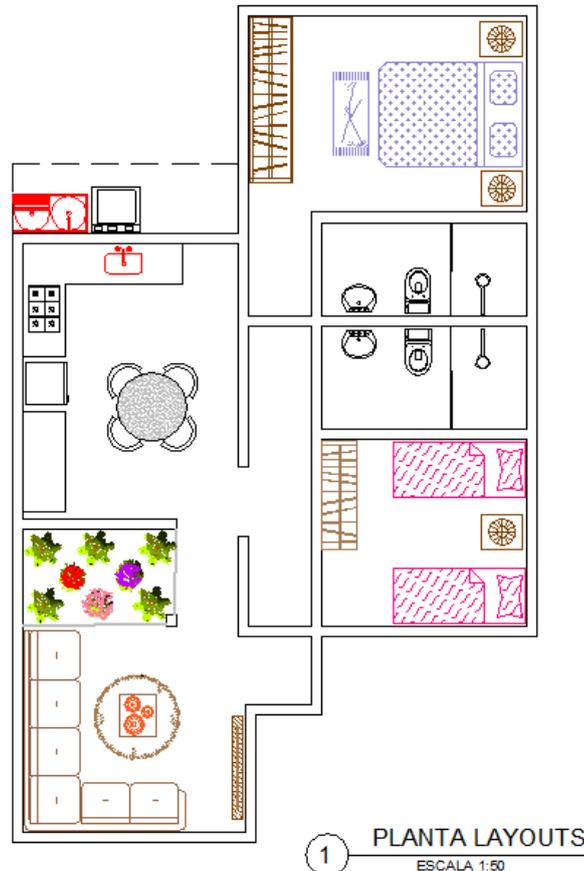
Os projetos foram elaborados para proporcionarem maior conforto aos habitantes, tanto na distribuição de cômodos, quanto na inserção de elementos sustentáveis, sem que o custo ultrapassasse o valor do teto do PMCMV, que estipula um valor de 170 mil reais para cidades acima de 100 mil habitantes no estado de Minas Gerais. Foram feitas várias análises e adequações para se chegar ao projeto final de acordo com todas as especificações impostas pela Caixa Econômica Federal.

Foi discutida a elaboração dos principais elementos do projeto arquitetônico e dos croquis complementares. São mostradas as principais tabelas de levantamentos de quantitativos e listas de materiais necessários para o orçamento, sendo elas: tabela de esquadrias, alvenaria, revestimento interno, revestimento externo, forma e concreto, lista de materiais hidrossanitários, lista de materiais elétricos e quantitativo de ferragens. São apresentados os resultados obtidos na planilha orçamentária.

O projeto arquitetônico é a base para a concepção de todos os outros projetos, necessitando assim de análise redobrada, visando a atender as necessidades dos projetos complementares. Para sua realização, utilizou-se um lote com dimensões de 11 metros x 20 metros, correspondendo a uma área total de 220 m². O projeto da residência possui área total de construção equivalente a 70,67 m², sendo distribuídos entre sala, cozinha, banheiro social, suíte para casal, quarto duplo de solteiro, hall, área de serviço e circulação.

A Figura 2 representa a planta baixa humanizada, com a divisão de cômodos.

Figura 2 – Planta baixa humanizada

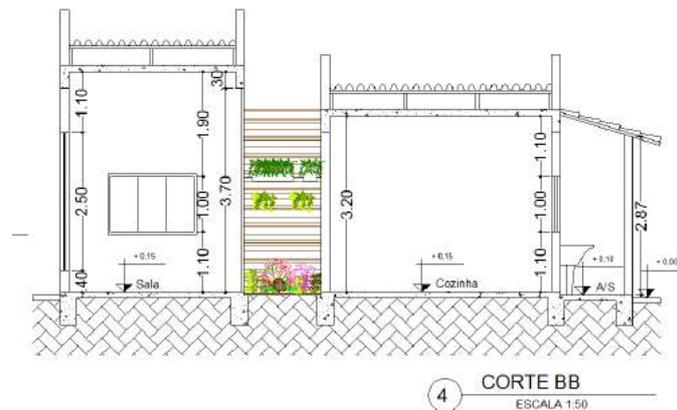


Fonte: elaborada pelos autores no software AutoCAD, 2018.

Entre a sala e a cozinha, foi colocado um jardim de inverno, que, além de deixar a residência mais verde e mais agradável, facilita o cultivo de plantas e proporciona maior quantidade de luz e ventilação natural. Contudo, na sua construção, deve-se tomar cuidado quanto à impermeabilização, pois a sua ausência pode gerar problemas na estrutura, decorrentes de infiltração.

Na sala, foi adotado pé direito de 4 metros, visando a um maior conforto e a uma arquitetura diferente dos modelos convencionais do programa PMCMV. A Figura 3 representa o corte longitudinal BB, em que pode ser identificada a sala, o jardim entre os cômodos e a área de serviço ao lado da cozinha.

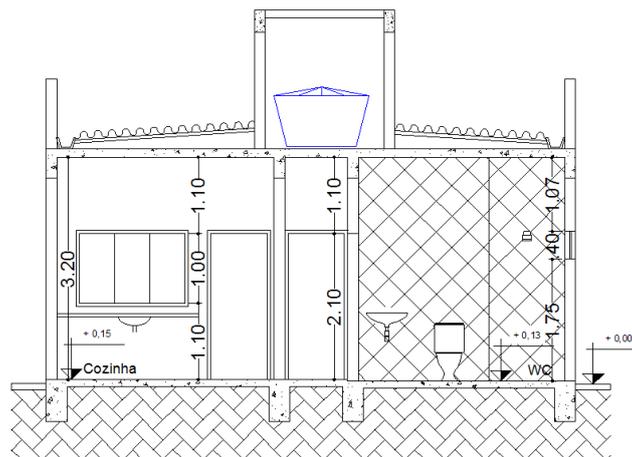
Figura 3 – Corte BB



Fonte: elaborada pelos autores no software AutoCAD, 2018.

A Figura 4, representada pelo corte transversal AA, ilustra o posicionamento da caixa de água, que foi propositalmente alocada sob a laje próxima aos banheiros, cozinha e lavanderia, com a finalidade de reduzir custos com instalações hidráulicas.

Figura 4 – Locação da caixa d'água

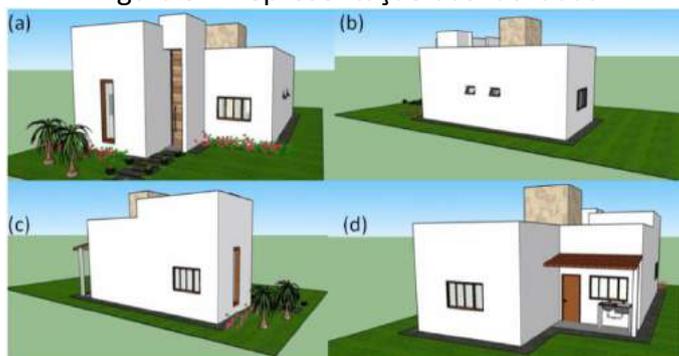


Fonte: elaborada pelos autores no software AutoCAD, 2018.

Na elaboração da fachada, foi criado um modelo distinto dos modelos tradicionais do PMCMV. Como a área da edificação já estava máxima, não foi possível a execução da garagem, porém foi previsto um espaçamento frontal para futuras ampliações. Para a área externa, foi planejado paisagismo, que será de acordo com a preferência do proprietário. Além de facilitar o processo de infiltração das águas no solo, deixa o ambiente mais verde e mais bonito; além disso, a sustentabilidade é um dos objetivos deste trabalho.

A Figura 5 representa as quatro vistas das fachadas, sendo elas: (a) frontal, (b) lateral esquerda, (c) lateral direita e (d) fundo.

Figura 5 – Representação das fachadas



Fonte: elaborada pelos autores no programa SketchUp, 2018.

Para a realização do orçamento, foi necessário primeiramente definição dos padrões de acabamentos. Em seguida, foi feito o levantamento quantitativo de esquadrias, revestimento interno, revestimento externo, alvenaria, forma e concreto, quantitativo de ferragens, todos baseados nos projetos e croquis elaborados. Também foram descritos os materiais hidrossanitários e elétricos. Para a escolha dos acabamentos, foram levados em consideração o custo do material e a função que ele desempenha na edificação. O Quadro 1 mostra a descrição do material usado em acabamentos para o teto, paredes, pisos e esquadrias em cada ambiente.

O tipo de telhado adotado foi o de caixote, visto que, nesse modelo, há uma grande economia com a cobertura, pois pode ser utilizada a telha de fibrocimento, que além de possuir baixo custo, economiza em madeira para escoramento. Porém, nesse tipo de telhado, há um maior gasto com calhas, para o escoamento da água, e uma maior quantidade de alvenarias, devido às platibandas.

Na área de serviço, foi utilizada a telha plan (cerâmica), que, apesar de possuir um custo superior em relação à de fibrocimento, proporciona um ambiente mais fresco, pois possui um bom isolamento térmico; esta área não possui laje como o restante na residência.

O teto interno será todo de gesso corrido, economizando-se em chapisco, reboco, e pintura a base de PVA. O piso interno será em cerâmica PEI-4. Mesmo sendo um piso um pouco mais caro, possui uma resistência mais elevada, levando-se em consideração que a escala de resistência ao desgaste superficial, segundo a Téchne (2007), varia de PEI-0 (baixíssima) a PEI-5 (altíssima).

Quadro 1 – Descrição de materiais para acabamento

DESCRIÇÃO DE ACABAMENTOS PARA AMBIENTES						
AMBIENTE	TETO		PAREDES	PISO	ESQUADRIAS E ACESSÓRIOS	
	Cobertura	Teto interno	Paredes internas	Piso interno	Portas	Janelas
Quarto Suíte	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	Vidro temperado
Quarto solteiro	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	Vidro temperado
Banheiro Suíte	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Cerâmica em todo pé direito	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	Vidro temperado
Banheiro Social	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Cerâmica em todo pé direito	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	Vidro temperado
Sala	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	Cerâmica PEI-4	-	Vidro temperado
Cozinha	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Cerâmica em todo pé direito	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	Vidro temperado
Jardim de inverno	-	-	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	-	Vidro temperado	-
Circulação	Telha de Fibrocimento	Gesso corrido	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	Cerâmica PEI-4	-	-
Hall	Laje exposta	Gesso corrido	Chapisco, reboco, massa corrida e tinta PVA	Cerâmica PEI-4	Madeira compensada	-
Área de Serviço	Telha Plana	-	Cerâmica em todo pé direito	Cerâmica PEI-4	-	-

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Mediante o levantamento de quantitativos e qualitativos, foi elaborada a planilha orçamentária. Essa fase é de suma importância, pois um levantamento feito de maneira equivocada ou um preço unitário mal elaborado podem resultar em um orçamento não compatível com a realidade construtiva.

Para execução do orçamento, foi utilizada como base a TCPOweb, que é um site onde são disponibilizadas as bases de dados PINI para orçamentos e comparativos de custos, sendo esta a fonte de maior credibilidade na indústria civil brasileira. Também foram usadas as tabelas SINAPI (indicada pela Caixa Econômica Federal) TCPO, SEINFRA, EMOP e valores do próprio mercado de Patos de Minas.

Tabela 1 – Valor total da obra

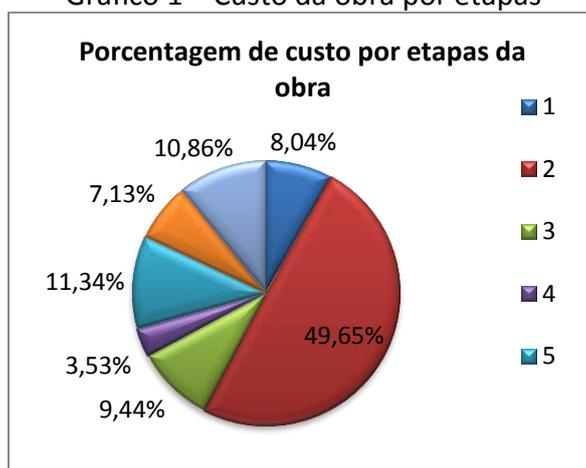
	INSUMOS	MÃO DE OBRA	VALOR TOTAL FINAL	
OBRA GERAL	R\$ 76.231,25	R\$ 35.953,14	R\$ 112.184,39	
1 FUNDAÇÃO	R\$ 6.253,81	R\$ 2.768,42	R\$ 9.022,23	8,04%
2 SUPERESTRUTURA	R\$ 29.422,79	R\$ 26.279,60	R\$ 55.702,39	49,65%
3 HIDRÁULICO	R\$ 8.756,81	R\$ 1.834,36	R\$ 10.591,17	9,44%
4 ELÉTRICO	R\$ 2.757,03	R\$ 1.204,30	R\$ 3.961,33	3,53%
5 ESQUADRIAS	R\$ 11.160,66	R\$ 1.561,44	R\$ 12.722,10	11,34%
6 DESPESAS ADMINISTRATIVAS	R\$ 8.000,00	R\$ -	R\$ 8.000,00	7,13%
7 ITENS DESUSTENTABILIDADE	R\$ 9.880,15	R\$ 2.305,02	R\$ 12.185,17	10,86%

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Para se chegar ao resultado mostrado na Tabela 1, foi feito o detalhamento do orçamento com os devidos códigos de consulta, com a unidade de cotação de cada material, com a descrição detalhada, com a quantidade de material para cada cotação, com o valor unitário de insumos e unitário de mão de obra e, por fim, com o valor total gasto para cada item.

Conforme a Tabela 1, o valor final encontrado no orçamento foi de R\$ 112.184,38, logo se obteve um resultado positivo, visto que o valor do teto do PMCMV para a cidade de Patos de Minas é R\$ 170.000,00. Dessa forma, somando-se o valor do lote adotado, que foi de R\$ 57.000,00, obtém-se um valor total R\$ 169.184,38, o que justifica que é possível a construção de uma residência com parâmetros de sustentabilidade no PMCMV.

Gráfico 1 – Custo da obra por etapas



Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

A 1ª etapa consiste na fundação, no valor de R\$ 9.022,23, sendo composta pelas fases de limpeza do terreno, armação e concretagem de vigas baldrame, montagem de formas, fornecimento de concreto, impermeabilização de vigas baldrame, aluguel de betoneira e outros.

A 2ª etapa refere-se à superestrutura. Conforme se verifica no gráfico 1, é a

etapa mais cara da obra, correspondendo a um valor de R\$ 55.702,39. É composta por vários itens: alvenaria, armação de pilares e vigas, montagem de formas, revestimentos internos e externos, fornecimento de concreto, elementos de cobertura, pintura, etc.

A 3ª etapa é relativa à parte hidrossanitária, correspondendo a um valor R\$ 10.591,17, envolvendo todas as peças, junções e canalizações necessárias para o correto funcionamento da rede de água e esgoto. Também foram incluídas nessa etapa todas as louças usadas: tanque, bacia sanitária, lavatório, e pia.

A 4ª etapa é a parte elétrica, equivalendo a um valor de R\$ 3.961,33, sendo classificada como a etapa mais barata de todas. A 5ª etapa corresponde às esquadrias, no valor de R\$ 12.722,10, sendo composta pelos seguintes materiais: portas, janelas, vergas e contravergas.

A 6ª etapa são as despesas administrativas, no valor de R\$8.000,00, que equivalem a gastos com projetos, impressões, taxas da prefeitura, ligamento de energia e água; também correspondem à reserva para imprevistos, visto que, em um orçamento analítico, podem ocorrer variações de até 5% do custo total. Caso a reserva não seja usada para este fim, o proprietário pode incrementar acabamentos.

A 7ª etapa compreende os materiais de sustentabilidade, no valor de R\$12.185,17. Nessa etapa, foram incluídos o kit fotovoltaico, arejadores, acabamento para caixa de descarga embutida e paisagismo. Para o paisagismo do jardim de inverno, foi estabelecido o valor de R\$3.000,00 e, para o paisagismo externo, o valor R\$4.000,00. Ambos foram apenas valores estimados, pois essa parte varia de acordo com a preferência de cada pessoa, sendo assim, não foi escolhido o tipo de vegetação específico para cada área.

Todas as etapas apresentadas, com exceção da etapa 6, foram quantificadas, somando-se os valores de cada insumo com a sua respectiva mão de obra. O Gráfico 2 mostra o somatório dos valores dos insumos e da mão de obra gastos por todas as etapas.

Gráfico 2 – Custo dos insumos e mão de obra



Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

O item 1 do gráfico representa a quantidade de insumos (materiais) gastos, que representa aproximadamente 68% do valor total da obra; já o item 2 mostra a

quantidade gasta com mão de obra (serviços) que equivale a aproximadamente 32% do valor total.

CONCLUSÃO

Com o intuito de criar um modelo de residência com parâmetros sustentáveis dentro de PMCMV, foram desenvolvidos o projeto arquitetônico e o orçamento de uma residência. Tal modelo, além de cumprir as especificações do programa, possui um diferencial sustentável e um upgrade na parte estética.

Para a elaboração do orçamento, tomou-se por base o projeto arquitetônico e os demais croquis dos projetos complementares, sendo eles: projeto elétrico, projeto hidrossanitário e projeto estrutural. Dispôs-se de um lote de 220 m², sendo 11,00 m de frente e fundo e 20,00 m nas laterais direita e esquerda. O projeto da residência possui a distribuição dos cômodos em sala, cozinha, suíte, banheiro suíte, quarto duplo de solteiro, banheiro social, hall de entrada, circulação, jardim de inverno e área de serviço. Contempla uma área total de 70,67 m².

O projeto arquitetônico foi concebido de maneira a trazer beleza e bem estar à residência; o croqui do projeto estrutural, para integrar solidez e segurança à edificação; o croqui dos projetos elétrico e hidrossanitário, para gerar um bom funcionamento da obra. Com todos os projetos em mãos, foram elaboradas planilhas de levantamento qualitativo e quantitativo de materiais, visando à diminuição de gastos sem comprometer o bom desempenho da edificação.

Com base no quantitativo de materiais, foi elaborado o orçamento, organizado por meio de tabelas TCPO, SEINFRA, EMOP, SINAPI. As cotações foram feitas no próprio mercado de Patos de Minas. Para fins de cálculo, foram feitas composições de custo unitário para cada serviço, multiplicando-se pela quantidade total obtida nas tabelas de quantitativos.

A partir do valor final do orçamento, foram feitas as porcentagens de custo para cada etapa da obra, sendo a etapa mais onerosa a de superestrutura, que corresponde a 49,65 % do valor total. Já a etapa de parte elétrica foi a mais barata, equivalendo a 3,51% do valor. Os itens de sustentabilidade foram cotados no mercado, exceto a parte de paisagismo, para a qual foi designado um valor para sua construção, sem escolha definida do tipo de vegetação. Foi designado também um valor de R\$ 8.000,00, que corresponde a 7,13% do valor total da obra, para suprir possíveis falhas, imprevistos ou até mesmo para a compra de outros acabamentos mais onerosos e para despesas adicionais, já que os orçamentos analíticos podem variar em até 5% do seu valor final.

O valor final do orçamento da obra foi de R\$ 112.184,38, logo pode-se afirmar que o valor encontrado no orçamento se enquadra no teto do PMCMV previsto para a cidade de Patos de Minas, que é o de R\$ 170.000,00. O valor do lote padrão escolhido é equivalente a R\$ 57.000,00, sendo assim o somatório do orçamento da obra com o da aquisição do lote tornam possível a realização de um projeto de residência dentro do PMCMV com parâmetros sustentáveis.

Mediante a análise apresentada, pôde-se constatar que a adoção de soluções sustentáveis é uma crescente nos dias atuais, uma vez que, além da amenização dos

impactos ambientais, pode ser economicamente viável e trazer redução de custos futuros, como gastos com energia e água; é o caso, por exemplo, das placas solares, dos arejadores e da válvula de descarga com acionador duplo.

Portanto, o estudo realizado foi de grande valia para nossa formação, pois, além de aliar a teoria, vista durante o curso, com a prática, possibilitou a experiência de um primeiro contato com a vida profissional do engenheiro civil.

Por fim, além da proposta deste trabalho, que foi a possibilidade de aprovação de um projeto com parâmetros sustentáveis no PMCMV, cabe a reflexão de alguns itens de pesquisa para análises futuras: o estudo com base no planejamento, análise da influência de diferentes sistemas construtivos e o uso de materiais reciclados de baixo impacto ambiental. Além disso, o trabalho pode servir como material de estudo para implantações de moradias com recursos financeiros dependentes do PMCMV, podendo-se criar um novo padrão em que seja mais bem aproveitada a relação uso e ocupação, atendendo a parâmetros de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BERNARDES, M. *et al.* **Comparativo econômico da aplicação do Sistema Light Steel Framing em Habitação de Interesse Social**. Faculdade Meridional – IMED, Passo Fundo, 2012. Disponível em: http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2014/TCC_ISABELA%20ROSSATTO%20FACCO.pdf. Acesso em: 01maio 2018.

DIEZ, Gloria. **Projeto estrutural na arquitetura**. Porto Alegre: Masquatro, 2012.

MENU G1 economia. **Caixa Econômica Federal**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/mais-de-36-mil-unidades-do-minha-casa-minha-vida-estao-paralisadas-no-pais.ghtml>. Acesso em: 08 de maio 2018.

PORTAL da arquitetura engenharia e construção. **Os verdadeiros impactos da construção civil**. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206. Acesso em: 08 de maio 2018.

VARGAS, Ricardo Viana; REEVE, Harold R. **Manual prático do plano de projeto: utilizando o PMBOK guide - 3 edition**. 3. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007. 226 p.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 14. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini, 2014.

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 5S EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE UNIFORMES EM MINAS GERAIS

Júnia Maisa Mota Gonçalves

Graduanda do curso de Engenharia de Produção do UNIPAM.

E-mail: juniamaisamotag@gmail.com

Fábio de Brito Gontijo

Professor do curso de Engenharia de Produção do UNIPAM.

E-mail: fabiobg@unipam.edu.br

RESUMO: A metodologia 5S vem sendo amplamente utilizada com o objetivo de melhorar as condições de trabalho e contribuir para o aumento da produtividade, sendo a base para a implementação dos sistemas de qualidade. Embora muitos a vejam como uma ferramenta empregada exclusivamente para a manutenção física do ambiente de trabalho, sua aplicação visa cultivar um ambiente no qual as pessoas tenham um senso de qualidade em sentido amplo, o que se faz mediante a reflexão acerca da responsabilidade e do potencial humano nas organizações. Sendo assim, este estudo de caso propõe analisar os impactos provocados pela aplicação dessa metodologia em uma indústria têxtil, cuja atividade principal fundamenta-se na produção uniformes. Trata-se de uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa, na qual os dados foram coletados gradativamente no decorrer das visitas realizadas, por meio de levantamento fotográfico, fluxogramas e observações diretas. Em seguida, utilizou-se como ferramenta auxiliar o 5W2H, a fim de elaborar um plano de ação compatível com o desenvolvimento do 5S na organização. Os resultados percebidos foram a formação de um ambiente de trabalho visivelmente mais livre, agradável e organizado; redução de desperdícios de tempo, pessoas e insumos; e maior satisfação das pessoas com o trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Controle da Qualidade Total. Metodologia 5S. 5W2H. Indústria Têxtil.

ABSTRACT: The 5S methodology has been widely used in order to improve working conditions and contribute to increase productivity, being the basis for the implementation of quality systems. Although many see it as a tool used solely for the physical maintenance of the workplace, its application aims to cultivate an environment in which people have a sense of quality in the broad sense, which is done by reflecting on responsibility and potential. human in organizations. Thus, this case study proposes to analyze the impacts caused by the application of this methodology in a textile industry, whose main activity is based on uniform production. This is an exploratory research with qualitative approach, in which data were gradually collected during the visits, through photographic survey, flowcharts and direct observations. Then, the 5W2H was used as an auxiliary tool in order to develop an action plan

compatible with the development of 5S in the organization. The perceived results were the formation of a visibly freer, more pleasant and organized work environment; reduction of waste of time, people and inputs; and greater satisfaction of people with work.

KEYWORDS: Total Quality Control. 5S Methodology. 5W2H. Textile industry.

1 INTRODUÇÃO

Pequenas e médias empresas do ramo de confecções constituem um segmento em que, muitas vezes, a inovação tecnológica não é incorporada às máquinas, em razão de exigirem grandes investimentos e o volume de vendas não ser alto o suficiente para obter o *payback* desejado. Como alternativa, atribuem o aumento de produtividade a um novo modelo de gestão, que é a base para a permanência em um ambiente de aceleração de competitividade.

Segundo dados corroborados pela Associação Brasileira de Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2018), o faturamento da cadeia têxtil no Brasil aumentou consideravelmente em 2017, se comparado ao ano anterior, resultando em US\$ 45 bilhões. O resultado levou o setor a ocupar a 2ª posição de maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (juntos).

Por conseguinte, pode-se afirmar que a indústria têxtil possui papel fundamental para o desenvolvimento econômico e social e que as indústrias necessitam adaptar constantemente seus processos internos de forma a ajustá-los a uma nova realidade, em que a produtividade é fundamental para a rentabilidade, que não será atingida com a permanência de métodos passados (TAVARES, 2002).

De acordo com Campos (2004a), a administração da empresa precisa conscientizar-se de que a mesma pode ser continuamente melhorada e que a qualidade, a produtividade e a posição competitiva dependem do resultado de cada pequeno procedimento realizado em suas operações.

Nesse contexto, o Controle de Qualidade Total (CQT) manifesta-se como uma forma de viabilizar o desenvolvimento de condições de maior produtividade das operações, possibilitando à empresa obter sua consolidação em longo prazo (CAMPOS, 2004a). Em razão disso, torna-se conveniente a implementação de programas relacionados ao CQT, tal como o 5S, que visa estabelecer uma metodologia de aprendizado contínuo e, por conseguinte, um padrão de trabalho satisfatório.

O presente estudo de caso foi realizado em uma indústria têxtil¹, situada em Minas Gerais, cuja atividade principal fundamenta-se na produção puxada² de uniformes escolares, esportivos e empresariais. O trabalho justificou-se devido à identificação da existência de um ambiente fabril fortemente desorganizado, em que se percebia desperdício de tempo, pessoas e insumos.

Dentre os problemas encontrados, pode-se ressaltar a ineficiência da comunicação entre setores e entre operações de um mesmo setor, falta de identificação de matérias-primas e materiais inerentes aos processos, excesso de

¹ O nome da empresa será mantido em sigilo.

² Sistema em que a demanda gerada pelo cliente é o “*start*” da produção.

objetos desnecessários nos locais de trabalho, disposição inadequada de móveis e equipamentos e má utilização dos espaços.

Diante do exposto e baseado no fato de que a metodologia 5S vem sendo trabalhada como um sistema organizador e transformador de pessoas e organizações abertas a filosofia da qualidade, fez-se o seguinte questionamento: qual o impacto da implementação da metodologia 5S no processo produtivo da empresa estudada?

Dessa forma, o presente estudo de caso teve como objetivo principal analisar o impacto da aplicação da metodologia 5S nessa indústria têxtil. Para se atingir esse objetivo, realizou-se um diagnóstico inicial da empresa, seguido de um estudo sobre a relevância da implementação da metodologia 5S para a melhoria do ambiente de trabalho. Logo depois, procedeu-se à elaboração de um plano de ação baseado na ferramenta 5W2H, aplicou-se a metodologia 5S e analisou-se o impacto provocado na organização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL (CQT)

De acordo com Campos (2004a), o principal objetivo de uma organização é contribuir para a satisfação das necessidades das pessoas afetadas pela sua existência, o que pode ser feito através do Controle da Qualidade Total. Essa prática gerencial visa o reconhecimento, a manutenção e a melhoria contínua dos padrões que atendem às necessidades das pessoas, a partir de uma visão estratégica com abordagem humanista.

Moreira (2011) define o CQT como uma filosofia que integra um conjunto de práticas com enfoque na melhoria contínua, na busca pela satisfação das necessidades dos clientes, eliminação de refugo e retrabalho, estímulo ao trabalho em equipe e envolvimento dos trabalhadores, os quais são incentivados a analisar, solucionar e controlar problemas relacionados aos processos em que atuam.

Para Abreu (1991), o CQT é função das atividades e do uso dos recursos disponíveis na organização, portanto, uma das melhores maneiras de influenciar positivamente os resultados é sistematizar e ordenar ações sobre os recursos existentes.

Segundo Almeida (1993), os dirigentes têm a permanente responsabilidade de aprimorar todas as atividades da organização em busca da Qualidade Total, pois a acomodação é o primeiro passo para a degradação. Assim, o CQT é utilizado com o objetivo de criar condições internas que garantam a sobrevivência das organizações em longo prazo.

Para que os resultados desejáveis sejam alcançados, é fundamental que os colaboradores de todos os setores da organização estejam envolvidos no processo de manutenção do controle da qualidade. Campos (2004a) explana que o pilar de sustentação do CQT é a prática consciente do controle de qualidade por todas as pessoas da empresa, que, por meio de educação e treinamento, assumirão a responsabilidade de gerenciar a rotina do seu processo.

2.2 PROGRAMA 5S

Para Campos (2004b, p. 40), o 5S é um método que “promove o acultramento das pessoas a um ambiente de economia, organização, limpeza, higiene e disciplina, fatores fundamentais à elevada produtividade”. Colenghi (1997) aponta que o modelo é um dos elementos facilitadores para a manutenção da economia, sendo a base para a implantação dos sistemas de qualidade.

A base para que o 5S seja considerado um condutor a ganhos efetivos de produtividade é a educação, treinamento e prática em grupo. Para isso, o programa é fundamentado em cinco etapas sequenciais, cíclicas e contínuas, formadas a partir das palavras japonesas *Seiri*, *Seiton*, *Seisoh*, *Seiketsu* e *Shitsuke*.

Para Campos (2004a), o primeiro senso, *Seiri*, baseia-se na identificação dos dados, informações, equipamentos, ferramentas e materiais necessários para o desenvolvimento do trabalho. Silva (1996) aponta como benefícios do senso de utilização a liberação de espaços, reciclagem de recursos escassos, combate ao excesso de burocracia e diminuição de custos.

A etapa seguinte, *Seiton*, consiste em organizar o processo produtivo com base na classificação realizada anteriormente, de forma que os elementos com maior frequência de uso fiquem mais próximos dos postos de trabalho correspondentes. Para Colenghi (2007, p. 165), “o objetivo é ter ‘à mão’ os elementos que irão ser utilizados no processo produtivo, de tal forma que não se perca tempo e atrase o atendimento ao cliente ou as fases do processo”.

O próximo passo é proceder com o terceiro senso, *Seisoh*, que inclui a limpeza do ambiente, a fim de que se torne mais seguro, saudável e produtivo. Para Campos (2004a), o conceito de limpeza é fator preponderante para a redução de desperdícios de matérias-primas e outros materiais, pois o ambiente sujo e desorganizado contribui para desgastes desnecessários e gasto de recursos acima das reais necessidades do sistema.

Já o quarto senso, *Seiketsu* (senso de saúde), está diretamente relacionado às condições de higiene do ambiente de trabalho e envolve ações consistentes de ordenação, limpeza e manutenção de boas condições sanitárias. De acordo com Silva (1996), refere-se ao estado atingido por meio do cultivo dos sentidos anteriores, acrescido de atitudes rotineiras e habituais relacionadas à higiene, segurança no trabalho e saúde pessoal.

Por fim, o senso *Shitsuke* refere-se à autodisciplina, educação e comprometimento dos envolvidos no processo. Espera-se que a equipe seja participativa, colaborativa e cumpra as normas e procedimentos estabelecidos pela empresa. Silva (1996) ressalta que as empresas podem estimular a autodisciplina através da perseverança na educação e no treinamento, do compartilhamento da missão, visão e valores, da atribuição de responsabilidades e da criação de um clima de confiança.

2.3 FLUXOGRAMA

Segundo Slack *et al.* (2009, p. 101), “mapeamento de processo envolve simplesmente a descrição de processos em termos de como as atividades relacionam-se umas com as outras dentro do processo”.

Para D’Ascensão (2007), todo processo tem um fluxo de operações de entrada, processamento e saída, que pode ser apresentado através de um diagrama denominado fluxograma. O autor complementa que essa técnica se utiliza de símbolos previamente convencionados, permitindo a descrição clara e precisa do fluxo, a qual permite aos analistas uma melhor compreensão e análise da situação atual.

Em conformidade com a definição acima apresentada, Colenghi (2007) enfatiza que o fluxograma é uma ferramenta de suma importância para os analistas nos processos de coletas de dados e análises de informações, e que normalmente é empregada em conjunto com a técnica de levantamento de dados conhecida como observação direta.

2.4 5W2H

Segundo Daychoum (2016), este método consiste em fazer sete perguntas, a fim de obter respostas primordiais que servirão de apoio ao planejamento de forma geral. A terminologia 5W2H tem origem nos termos da língua inglesa *What, Who, Why, Where, When, How, How Much*, e pode ser traduzida conforme tabela abaixo:

Tabela 1 - Tradução da terminologia 5W2H

5W2H	
<i>What?</i>	O que?
<i>Who?</i>	Quem?
<i>Why?</i>	Por quê?
<i>Where?</i>	Onde?
<i>When?</i>	Quando?
<i>How?</i>	Como?
<i>How Much?</i>	Quanto custa?

Fonte: A autora, 2018.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada se caracterizou como estudo de caso, pois consistiu no estudo aprofundado dos fenômenos relacionados ao processo produtivo e ao ambiente fabril de uma indústria têxtil, situada em Minas Gerais. Para Yin (2001), o poder diferenciador do estudo de caso é a sua capacidade de lidar com evidências variadas, tais como documentos, artefatos, entrevistas e observações diretas.

Em vista disso, através de visitas *in loco* que ocorreram entre os meses março e junho, foram acompanhadas as rotinas de trabalho dos diversos setores que compõem a empresa, a fim de compreender as deficiências do processo produtivo e do ambiente fabril e, posteriormente, propor soluções para os problemas apresentados. Durante as visitas, os dados foram coletados através de levantamento fotográfico, elaboração de fluxogramas e observações diretas.

Depois de especificado que esta pesquisa se tratava de um estudo de caso, se estabeleceu como estratégia de pesquisa a abordagem qualitativa, a qual utiliza informações a respeito de aspectos da organização que não podem ser quantificados. O estudo se caracteriza como qualitativo porque as deficiências do processo produtivo e do ambiente fabril, mencionadas anteriormente, foram analisadas a partir do ponto de vista do pesquisador.

Silva e Menezes (2005) explanam que a abordagem de caráter qualitativo se vale da interpretação de fenômenos e da subjetividade do sujeito que não pode ser traduzida em números. Para Rey (2007), esse tipo de pesquisa mostra-se como um sistema aberto, o qual integra as ideias do pesquisador ao momento empírico particular em que está sendo realizado o estudo, o que determina o desenvolvimento do modelo usado para produzir resultados.

Já do ponto de vista da sua natureza, pode ser classificada como aplicada, pois seu método envolve aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos. Isso porque o pesquisador utilizou a análise qualitativa das características fabris para determinar um plano de ação capaz de viabilizar soluções para os problemas encontrados. De acordo com Andrade (2003), a finalidade dessa pesquisa é atender às exigências da vida moderna, por meio da busca de soluções para problemas concretos.

Por fim, a pesquisa é considerada exploratória, uma vez que a análise dos dados possibilitou ao pesquisador maior familiaridade com o objeto de pesquisa. Para Cervo *et al.* (2007), esse tipo de pesquisa não requer a elaboração de hipóteses e restringe-se a definir objetivos e obter informações acerca do assunto de estudo, a fim de possibilitar a familiarização com o fenômeno e o desenvolvimento de percepção e novas ideias.

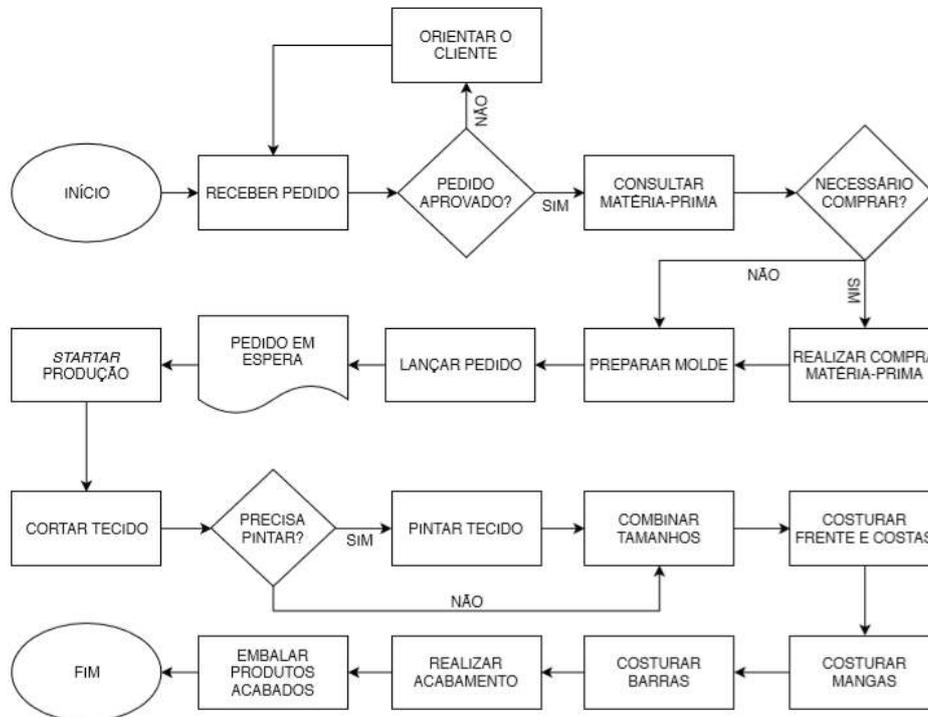
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso foi realizado em uma indústria têxtil, cuja atividade principal fundamenta-se na produção puxada de uniformes escolares, esportivos e empresariais. O processo produtivo se inicia com o recebimento dos pedidos realizados pelos clientes através da loja física ou dos representantes externos. Após a aprovação do pedido, verifica-se o estoque de matérias-primas e, caso falte algum insumo para a produção do material solicitado, realiza-se a compra dos itens necessários.

Em seguida, o pedido é direcionado ao setor de moldes e, posteriormente, ao setor de programação da produção, o qual determina quando o mesmo deve ser iniciado e finalizado para atender a data prometida ao cliente. Cada peça possui uma sequência de etapas diferentes, visto que a empresa trabalha com produtos

personalizados, de acordo com o desejo do consumidor. No entanto, de forma geral, os produtos ofertados passam pelos processos básicos descritos no fluxograma abaixo:

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo



Fonte: A autora, 2018.

Embora o processo seja claro e bem definido, identificou-se que alguns fatores poderiam estar afetando negativamente a fluidez das operações. Dentre eles podem-se mencionar a desordem do ambiente, inexistência de identificação das matérias-primas e insumos em estoque, excesso de objetos desnecessários nos locais de trabalho, disposição inadequada de móveis e equipamentos, má utilização dos espaços e falhas na comunicação e na disponibilização das informações inerentes ao processo. A inexistência de ações voltadas à melhoria contínua dos processos e do local de trabalho determinou a formação de um ambiente visualmente poluído, onde percebia-se o desperdício de tempo, pessoas e insumos.

O desperdício de tempo era percebido na procura das matérias-primas e materiais necessários para a realização das operações, os quais estavam espalhados por toda a extensão fabril de maneira desordenada, e também no frequente deslocamento do posto de trabalho até o estoque de matérias-primas.

Já o desperdício de insumos ocorria devido à grande quantidade de peças que se perdiam quando eram depositadas em locais inapropriados, formando enormes pilhas compostas por peças inacabadas de diferentes tecidos, cores e tamanhos, as quais poderiam ser aproveitadas em muitos pedidos, mas acabavam sendo desperdiçadas porque os colaboradores não dispunham de tempo ou motivação para procurá-las e recorriam ao estoque principal de matérias-primas, mais fáceis de serem localizadas.

Além dos cortes que se perdiam, havia muitas ocorrências de processamentos impróprios, os quais, muitas vezes, ocasionavam a perda total daquele tecido. Isso ocorria porque os lotes de peças não eram identificados e a ordem de fabricação não era agregada aos produtos em processo no transporte de uma operação à outra. Dessa forma, caso não houvesse um comunicado verbal feito pelo supervisor de produção (o único detentor dessas informações no setor de produção), a equipe não saberia como deveria ser o processamento daquele pedido em cada etapa, ocasionando erros e retrabalhos.

Por fim, o desperdício de pessoas era resultado das atividades que não agregavam valor realizadas pelos colaboradores, como processamento impróprio, retrabalho, excesso de produção e movimentos desnecessários, enquanto deveriam se concentrar em atividades que agregassem valor ao produto.

Após o mapeamento do processo produtivo e acompanhamento das rotinas de trabalho, foram iniciadas as atividades voltadas à implementação da metodologia 5S. Foi utilizada como ferramenta auxiliar o 5W2H, a fim de estabelecer um plano de ação que facilitasse o acompanhamento e desenvolvimento das ações propostas, conforme tabela 2:

Tabela 2: Plano de Ação

O que?	Quem?	Onde?	Por quê?	Quando?	Como?	Quanto?
Reunião com envolvidos	Todos	Fábrica	Explicar a metodologia	Antes do 5S	Convite a todos	Sem custos
Classificação dos materiais	Todos	Fábrica	Manter o necessário	Etapa <i>Seiri</i>	Uso de etiquetas	R\$ 2,40
Definição destino correto	Todos	Geral	Melhor utilização dos recursos	Etapa <i>Seiri</i>	Discussão do destino	R\$ 120,60
Organização do ambiente fabril	Todos	Fábrica	Organizar o ambiente	Etapa <i>Seiton</i>	Mudança física	Sem custos
Adequação da disposição dos itens	Todos	Fábrica	Melhor utilização dos recursos	Etapa <i>Seiton</i>	Mudança física	Sem custos
Adoção de etiquetas de identificação	Todos	Fábrica	Organizar o ambiente	Etapa <i>Seiton</i>	Uso de etiquetas	Sem custos
Adoção de ordens de fabricação	Gestores	Fábrica e adm.	Melhorar a comunicação	Etapa <i>Seiton</i>	Acompanhando pedido	Sem custos
Limpeza do ambiente	Todos	Fábrica	Eliminar sujeiras	Etapa <i>Seisoh</i>	Limpeza geral	Sem custos
Garantia de um ambiente saudável	Todos	Geral	Assegurar saúde e segurança	Etapa <i>Seiketsu</i>	Prática dos 3S's anteriores	Sem custos
Manutenção da ordem	Todos	Geral	Assegurar a aplicação do 5S	Etapa <i>Shitsuke</i>	Disciplina	Sem custos

Fonte: A autora, 2018.

A primeira etapa, *Seiri*, consistiu em identificar materiais, objetos e equipamentos desnecessários nos locais de trabalho, a fim de que fossem realocados onde tivessem maior utilidade ou descartados, caso não fossem úteis em qualquer setor. Para a realização dessa etapa, todos os itens foram identificados com etiquetas vermelhas, amarelas ou verdes, respeitando a seguinte classificação: verde: muito utilizados naquele local; amarelo: utilizados com pouca frequência naquele local; vermelho: desnecessários naquele local.

A classificação foi realizada pelo pesquisador, acompanhado de colaboradores representantes de cada setor e, ao final, os itens classificados como desnecessários foram apresentados aos gestores, os quais determinaram quais seriam realocados dentro da fábrica e quais seriam descartados no lixo, reciclados ou doados.

Foram classificados como desnecessários, dentre outros itens, tecidos, retalhos e lâmpadas velhas estocadas e inutilizadas há anos, os quais ocupavam espaços físicos

em potencial, que poderiam ser melhor aproveitados. Assim, os tecidos e retalhos foram doados a artesãos da comunidade e as lâmpadas foram destinadas a um centro de reciclagem da cidade, que atua coletando resíduos sólidos e orgânicos em diversas empresas da região.

Ainda seguindo a classificação de cores das etiquetas, deu-se início à execução do segundo senso, *Seiton*, etapa em que os elementos com maior frequência de uso foram organizados de forma a ficarem mais próximos dos postos de trabalho correspondentes. Dessa forma, os itens de etiqueta verde tiveram prioridade de proximidade em relação aos itens caracterizados pela etiqueta amarela.

Posteriormente, iniciou-se uma varredura geral por toda a extensão fabril, na qual foram organizadas as matérias-primas, materiais, produtos em processo, produtos acabados, postos de trabalho, mostruário, salas e prateleiras.

O primeiro passo foi organizar o estoque de matérias-primas por cores, visando à redução de desperdício de tempo na procura dos insumos. Essa medida também foi aplicada à sala de estoques de linhas, botões, agulhas e acessórios diversos, que foi organizada por cores e tamanhos, variando de acordo com as características de cada item.

Ao analisar a distância entre o estoque acima mencionado e o setor de costura, verificou-se que alguns colaboradores realizavam muitos deslocamentos e que esse desperdício de tempo e mão-de-obra poderia ser mitigado. O setor de costura contava com uma prateleira praticamente inutilizada, situada próxima às máquinas, a qual passou a ser alimentada com um estoque intermediário com os principais insumos, a fim de reduzir as movimentações desnecessárias até o estoque principal.

Ainda nessa etapa da metodologia houve realocações de prateleiras, a fim de melhorar a utilização dos espaços, de acordo com a necessidade de cada sala ou setor. Matérias-primas, materiais, produtos em processo e produtos acabados foram separados, retirados do chão, organizados e identificados por etiquetas.

Figura 2: Prateleiras realocadas e tecidos organizados por cores



Fonte: A autora, 2018.

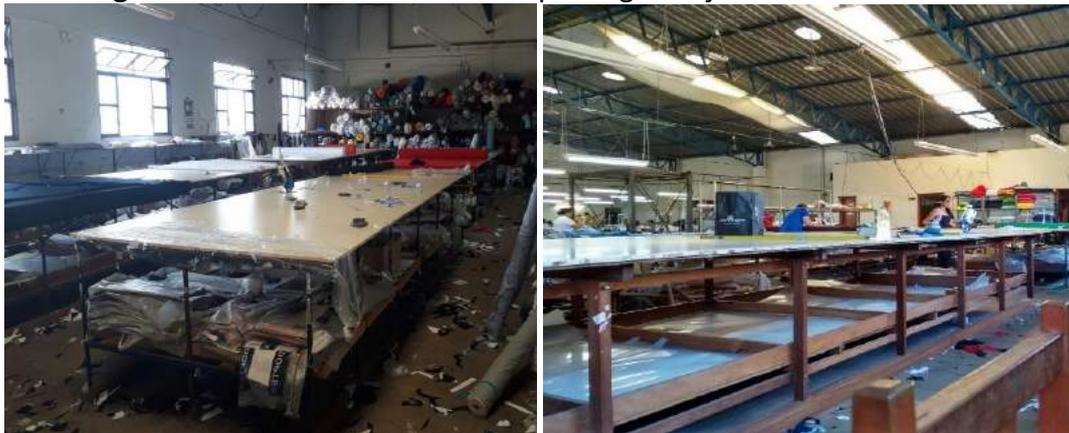
Figura 3: Prateleiras etiquetadas conforme a finalidade de cada uma



Fonte: A autora, 2018.

Posteriormente, os moldes e produtos inacabados que restaram armazenados no setor de corte após a fase de descarte também foram organizados. Ao final, a estrutura de madeira abaixo das mesas de corte ficou praticamente vazia, resultando em um ambiente visivelmente mais agradável.

Figura 4: Mesas de corte antes e após organização do setor de corte.



Fonte: A autora, 2018

Após a organização do espaço físico, decidiu-se tratar a deficiência na comunicação e transmissão de informações. Para isso, definiu-se que os produtos em processo seriam acompanhados de todos os dados necessários para a fabricação dos mesmos, conforme figura 5:

Figura 5: Ordem de fabricação agregada às peças em todas as operações



Fonte: A autora, 2018

Essa mudança no processo de repasse de informações oportunizou a redução de processamentos impróprios e, conseqüentemente, a redução de desperdícios de tempo, pessoas e insumos. Nessa etapa, já se percebia que os colaboradores demonstravam motivação em contribuir para a realização do estudo. Isso porque a metodologia 5S propõe aos indivíduos compreenderem melhor o seu papel dentro da organização, desenvolvendo a consciência de que cada pequeno procedimento realizado contribui para o resultado final do processo.

O terceiro senso, *Seisoh*, teve como objetivo realizar a limpeza do local de trabalho, a qual foi coordenada pelo pesquisador e apoiada por dois colaboradores em tempo integral, responsáveis pela limpeza geral. Em paralelo, responsáveis por cada setor delegados pelos gestores contribuía em seus setores de trabalho, cultivando o hábito de que cada um pode se tornar responsável por cuidar do seu espaço.

Já o quarto senso, *Seiketsu*, refere-se ao estado atingido com a prática dos três primeiros sentidos, que conferem aos empregados um ambiente seguro e saudável. Seus resultados não são prontamente observáveis, todavia, os benefícios são evidentes: preservar a saúde física e mental dos empregados e dar a eles condições para transformarem suas energias físicas e mentais em produtos e processos de qualidade.

Na fase final da implementação da metodologia, os colaboradores já se mostravam muito envolvidos e dispostos a transformarem em hábitos as ações realizadas em cada etapa anterior, fator fundamental para o cultivo do senso *Shitsuke*, o senso da autodisciplina, educação e comprometimento. Percebia-se o desejo e envolvimento crescentes de boa parte da equipe para manter a qualidade.

Ao final da aplicação da metodologia, percebeu-se a formação de um ambiente de trabalho visivelmente mais agradável, livre e contentador, resultado das modificações físicas realizadas por toda a extensão fabril e do excelente nível de motivação apresentado pelos colaboradores. A resistência à mudança apresentada inicialmente deu lugar a um instinto colaborativo e engajado, à medida que se desenvolvia um clima de confiança e trabalho em equipe.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste estudo de caso, pôde-se analisar o impacto físico e comportamental provocado pela implementação da metodologia 5S na empresa, atingindo os objetivos propostos inicialmente. Por meio da organização do ambiente de trabalho e o desenvolvimento de uma cultura de qualidade em cada procedimento realizado, pôde-se concluir que os problemas inicialmente identificados foram tratados ou mitigados e que o impacto provocado pela implementação da metodologia foi positivo para os gestores e funcionários.

Espera-se que os resultados positivos atingidos por meio desta pesquisa sejam fatores motivacionais e contribuam para a busca constante de melhorias voltadas ao processo produtivo e ao ambiente fabril, tanto com a manutenção do 5S, quanto com a aplicação de novas ferramentas e métodos que sustentem a formação de um ambiente de qualidade e produtividade.

REFERÊNCIAS

ABIT. **Perfil do setor**. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>.

Acesso em: 24 jun. 2018.

ABREU, Romeu Carlos Lopes de. **CCQ: Círculos de controle de qualidade: A integração trabalho-homem-Qualidade Total**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1991. 217 p.

ALMEIDA, Léo Grieco de. **Gerência de processo: mais um passo para a excelência**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993. 128 p.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Nova Lima: Indg Tecnologia e Serviços Ltda, 2004b. 266 p.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total no estilo japonês**. 8. ed. Nova Lima: Falconi, 2004a. 256 p.

CERVO, Amado Luiz *et al.* **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 162 p.

COLENGHI, Vitor Mature. **O&M e Qualidade Total: Uma Integração Perfeita**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

COLENGHI, Vitor Mature. **O&M e Qualidade Total: Uma Integração Perfeita**. Uberaba: V.M. Colenghi, 2007.

DAYCHOUM, Merhi. **40 Ferramentas e técnicas de gerenciamento**. São Paulo: Brasport, 2016.

D'ASCENÇÃO, Luiz Carlos M. **Organização, sistemas e métodos**: análise, redesenho e informatização de processos administrativos. São Paulo: Atlas, 2007.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 624 p.

REY, Fernando González. **Pesquisa qualitativa e subjetividade**: os processos de construção da informação. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2007.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis/SC: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2005.

SILVA, João Martins da. **O ambiente da qualidade na prática**: 5S. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703 p.

TAVARES, Maria das Graças de Pinho. **Cultura organizacional**: uma abordagem Antropológica da Mudança. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 88 p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

PROJETO DE FONTE CHAVEADA TIPO *FLYBACK* PARA ALIMENTAR UM *RASPBERRY PI*¹

Clésio Eurípedes Ferreira Pacheco

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.
E-mail: clesioefp@unipam.edu.br

Pedro Junior Ashidani

Professor orientador do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.
E-mail: pedroja@unipam.edu.br

RESUMO: Devido o *Raspberry Pi* não vir com fonte de alimentação própria, este projeto veio com o propósito de prototipar uma fonte chaveada do tipo *Flyback*, que, de acordo com suas características de funcionamento e eficiência em baixas potências, mostrou-se a melhor opção para aplicação diante às demais topologias de fontes chaveadas existentes. O projeto foi realizado com o suporte de pesquisa em projetos de fontes tipo *Flyback* e fornecimento dos componentes pelo Laboratório de Eletrônica do UNIPAM.

PALAVRAS-CHAVE: Flyback. Fonte chaveada. Raspberry pi.

ABSTRACT: Because Raspberry Pi does not come with its own power supply, this project came with the purpose of prototyping a switched source of the Flyback type that according to its characteristics of operation and efficiency in low power has proved the best option for application in front of the others topologies of existing switched sources. The project was carried out with the support of research in projects of Flyback type sources and supply of the components by the Laboratory of Electronics of UNIPAM.

KEYWORDS: Flyback. Raspberry pi. Switched source.

1 INTRODUÇÃO

O crescente número de interligações entre os sistemas elétricos existentes, ocasionados pelo aumento de demanda por energia elétrica nas últimas décadas, tornou a operação e o controle desses sistemas uma tarefa literalmente complexa. No setor industrial, isso só se tornou possível graças à evolução tecnológica dos componentes de chaveamento dos conversores de energia estáticos.

Atualmente no mundo e em particular no Brasil, o sistema de transmissão de energia elétrica predominante é o trifásico alternado senoidal (CA), que, após receber um tratamento específico, é disponibilizado ao consumidor em valores eficazes de tensões padronizadas, como, por exemplo, no sistema residencial brasileiro predomina

¹Trabalho apresentado na temática Sistemas Elétricos de Potência - Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

o monofásico senoidal, sendo disponibilizados ao usuário valores de tensões iguais a 127 ou 220V (Volts), com frequência fixa e igual a 60Hz (Hertz) (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2016).

Os conversores de tensão em Corrente Contínua (CC/CC) são utilizados quando a fonte de alimentação disponível é de corrente contínua (barramento CC), que, geralmente, provém de um conversor CA/CC fixo (constituído por diodos retificadores ou por um banco de baterias), cuja função é alimentar uma carga que necessita de alimentação de tensão CC ajustável. A transformação de uma fonte de tensão CC fixa em uma fonte de tensão CC ajustável é feita por meio de técnicas de chaveamento de dispositivos semicondutores de potência, tais como modulação por frequência (*Frequency Modulation*, FM), modulação por largura de pulsos (*Pulse-Width Modulation*, PWM), entre outras. O processo mais utilizado é a modulação por largura de pulsos (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2013).

Ahmed (2000) e Rashid (2014) reforçam que os conversores de tensão CC/CC atuais utilizam como elemento de chaveamento o dispositivo semicondutor Transistor Bipolar de Porta Isolada (*Insulated Gate Bipolar Transistor*, IGBT) ou o Transistor de Efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor (*Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*, MOSFET). Com esses dispositivos, o bloqueio é feito naturalmente, através da retirada do sinal do terminal de porta, resultando em um circuito que opera em frequências superiores a 100kHz, proporcionando uma considerável diminuição no tamanho do transformador (menor peso e espaço) e, conseqüentemente, a utilização de elementos armazenadores de energia.

Esses conversores proporcionam um controle de aceleração suave e frenagens regenerativas ou dinâmicas de motores de corrente contínua com alta eficiência. Os conversores de tensão CC/CC mais antigos utilizavam como chave ideal (ch) o dispositivo semicondutor denominado Retificador Controlado de Silício (*Silicon Controlled Rectifier*, SCR) para realizar o chaveamento. No entanto, esse dispositivo exige que o bloqueio seja forçado e uma maneira de realizá-lo é utilizar um circuito RLC (resistor, indutor e capacitor) ressonante, que, em virtude de suas características elétricas, limita a frequência de chaveamento em aproximadamente 10kHz.

Devido à importância e necessidade do uso das fontes de alimentação nos circuitos eletroeletrônicos, o objetivo deste trabalho é a construção de um protótipo de fonte chaveada com a topologia *Flyback* para alimentação de um *Raspberry Pi*, o qual é um computador do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor de computador ou TV, e usa um teclado e um mouse padrão, desenvolvido no Reino Unido pela Fundação *Raspberry Pi*. Todo o hardware é integrado numa única placa. O principal objetivo é promover o ensino em Ciência da Computação básica em escolas, inclusão e empoderamento social, sendo multiplataforma, considerando as mais consagradas marcas de videogames do mundo é também como parte deste processo uma excelente plataforma, tanto para a indústria quanto para a casa inteligente e os IOT - Internet das Coisas, marcando e melhorando o nível de empregabilidade (OLIVEIRA; ZANETTI; NABARRO, 2018).

Para execução deste trabalho serão necessários:

- Estudo das topologias de fontes chaveadas;
- Concepção de cálculos do projeto;

- Desenho do circuito impresso;
- Especificação e aquisição de componentes;
- Montagem do protótipo;
- Testes funcionais e de desempenho.

Todo circuito eletroeletrônico necessita de uma fonte de alimentação, e as fontes chaveadas, devido ao seu tamanho reduzido e ao alto rendimento, mostram-se uma solução importante de engenharia. Esta pesquisa permeia inúmeras possibilidades de aplicações de fontes chaveadas, norteadas aqueles que se interessarem pelo campo da eletrônica de potência e no desenvolvimento de dispositivos chaveados de alto desempenho com custo reduzido.

Várias áreas de conhecimento são necessárias para contemplar esse tema, tais como eletrônica analógica, sistemas de controle, eletromagnetismo, etc., sendo um trabalho que irá sintetizar e integrar vários conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

O conversor *flyback* foi escolhido em relação às demais topologias de fontes chaveadas por necessitar de poucos componentes para confecção de seu esquemático, conforme afirmado por Barbi (2001) e, principalmente, por ser eficiente para trabalhar em potências até 150W, sendo o mais adequado para fornecer o nível de potência necessário para a alimentação do *Raspberry Pi*.

2 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, serão abordadas e discutidas a definição de conversores e as topologias de fontes chaveadas, baseado em alguns autores, dentre eles, destacam-se Arrabaça e Gimenez (2013; 2016), Mello (2011), Rashid (2014), Ahmed (2000), Barbi (2001).

2.1 CONCEITOS DE CONVERSORES

Os conversores CC/CC podem ser definidos como circuitos que transformam uma tensão em outra. Outra definição comum é fazer uma analogia bastante conhecida em engenharia eletrônica, com relação ao processamento de sinais, na qual se refere à conversão CC/CC como um processamento de potência, no qual tanto o sinal de entrada quanto o de saída são “potência”, sendo que essa potência na entrada pode ser fornecida por uma fonte de tensão ou corrente, e a potência na saída pode ser entregue como corrente ou tensão. O tipo de potência pode ser CC ou CA tanto na entrada quanto na saída. Para esse processo é necessário um sinal que controle, onde o circuito de processamento de potência e o sinal de controle fornecem as características de funcionamento do conversor (MELLO, 2011).

Mello (2011) ressalta ainda que, para um conversor ter alguma utilidade, é necessário que a sua saída seja controlada de maneira a atender as especificações de projeto. Por exemplo, caso seja necessário uma tensão de 5V regulada na saída e a tensão de entrada pode variar de 50 a 100V, tanto o conversor quanto o circuito de controle devem ser capazes de processar essas informações e fornecer um sinal de

controle que atenda às especificações de projeto.

Fazendo uma analogia com um transformador de tensão CA/CA, Arrabaça e Gimenez (2013) dizem que o conversor CC/CC pode ser estudado como um transformador de tensão CC, cuja relação de espiras varia continuamente com o tempo, permitindo assim aumentar ou diminuir a tensão CC, que é aplicada à carga. Os autores citam algumas aplicações para esses conversores:

Para uso em baixas potências:

- Fonte de alimentação para celulares;
- Fonte de alimentação para *Raspberry Pi*, *iPods*, *laptops* e *notebooks*;
- Fonte de alimentação que utilizam *Leds*;
- Carregadores para pilhas recarregáveis etc.

Para média e alta potências:

- Acionamento de motores CC;
- Reguladores de tensão elétrica a fontes chaveadas;
- Em motores automotivos elétricos de corrente contínua (CC) utilizados em carros elétricos, metrô, etc.

2.2 TOPOLOGIAS DE FONTES CHAVEADAS

As fontes chaveadas possuem circuitos básicos para conversão de tensão CC/CC, que são formados por um indutor e um capacitor, que são componentes armazenadores de energia, os quais, segundo Arrabaça e Gimenez (2013), são:

- Conversor *Buck* (abaixador de tensão);
- Conversor *Boost* (elevador de tensão);
- Conversor *Buck-Boost* (abaixador-elevador de tensão).

Existem ainda outros circuitos de fontes chaveadas CC/CC mais elaborados a partir destes citados anteriormente, que possuem, geralmente, dois capacitores e dois indutores para armazenamento de energia, conforme apresentado por Arrabaça e Gimenez (2013), sendo:

- Conversor CUK: esta fonte pode fornecer para a carga, um valor de tensão maior, igual ou menor que a tensão de entrada, porém com inversão de polaridade.
- Conversor SEPIC: este circuito funciona conforme o CUK, porém não há inversão de fase. Sua principal característica é isolação entre a fonte de alimentação e a carga, sendo aplicado geralmente em carregadores de baterias de celulares e *notebooks*.
- Conversor ZETA: esta configuração tem o mesmo princípio de funcionamento e características do conversor SEPIC, porém é mais usado para correção de fator de potência.

Complementando as ideias de Arrabaça e Gimenez (2013), Horowitz e Hill (2017) e Hart (2012) afirmam que, por meio da incorporação de um transformador dentro do circuito de comutação dos conversores citados anteriormente, é possível

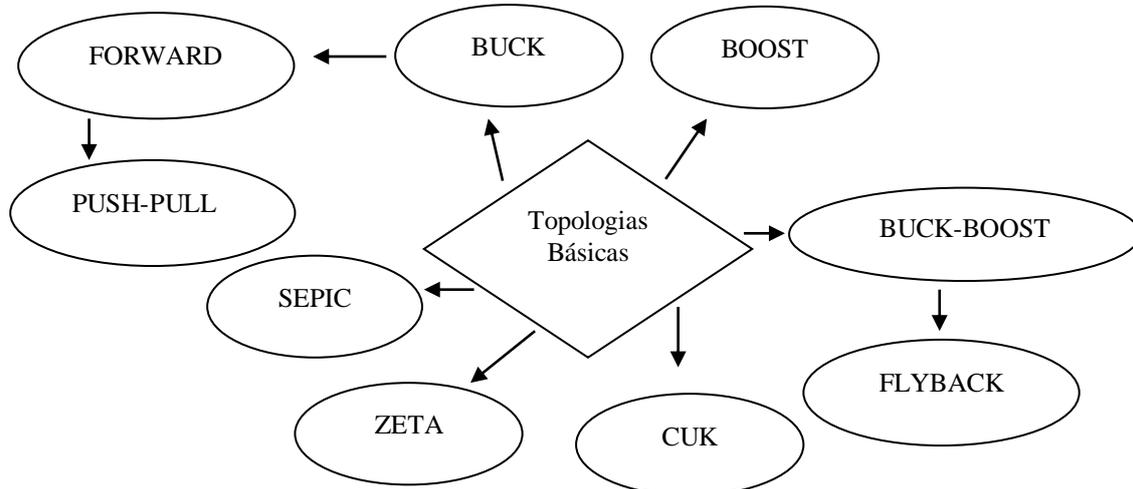
atender a três propósitos importantes: (a) fornecimento de isolamento galvânica, que é essencial para conversores que são alimentados a partir da rede elétrica CA; (b) mesmo que o isolamento não seja necessário, a relação de espiras do transformador proporciona uma conversão intrínseca de tensão, de modo que podem ser produzidas grandes relações *step-up* ou *step-down* enquanto fica em uma faixa favorável do ciclo de trabalho de chaveamento; e (c) pode-se enrolar vários secundários para produzir múltiplas tensões de saída e é assim que essas fontes de alimentação dos computadores atuais geram saídas de +3,3V, +5V, +12V, e -12V, tudo ao mesmo tempo.

Barbi (2001) afirma que a incorporação de uma bobina ou um transformador nas topologias básicas de fontes chaveadas dá origem às seguintes topologias de conversores:

- Conversor *Flyback*: é uma derivação do conversor *buck-boost* com ou sem isolamento galvânica.
- Conversor *Forward* ou Conversor Direto: é derivado do conversor *buck* com isolamento galvânico entre o primário e secundário.
- Conversor *Push-Pull*: é um arranjo de dois conversores *forward* com excitação bidirecional do transformador por meio de um enrolamento primário dividido.

Neste trabalho foi abordado o conversor tipo *Flyback*, o qual é bastante utilizado em carregadores de celulares, *notebooks*, dentre outros. Foi utilizado também devido ao seu alto desempenho, necessitando de uma pequena quantidade de componentes discretos e baixo custo de confecção. Na figura 1, são apresentadas as topologias básicas de fontes chaveadas.

Figura 1 – Topologias básicas de fontes chaveadas



Fonte: Adaptado de Arrabaça; Gimenez, 2013, p.18.

2.3 DESCRIÇÃO DOS ESTÁGIOS DE UMA FONTE CHAVEADA

Embasado na teoria de Barbi (2001), segue a descrição de Vieira (2009) sobre os estágios de uma fonte chaveada:

- Filtro RF: nas fontes chaveadas, as interferências por radiofrequência (RFI)

podem ser transmitidas através de terminais de entrada e de saída ou por radiação direta. A radiação emitida para o exterior pode ser reduzida colocando-se a fonte dentro de uma caixa metálica fazendo uma blindagem, sendo devidamente perfurada para permitir a remoção do calor. As RFI que são transmitidas pelos terminais exigem componentes indutivos e capacitivos responsáveis por atenuar tais sinais, visando à filtragem dos harmônicos indesejáveis.

- Retificador com filtro capacitivo: esse circuito é responsável por converter a tensão CA da fonte de alimentação em uma tensão CC, dando origem a um “barramento CC”. Os diodos têm a função de retificar o sinal, enquanto o capacitor visa reduzir o “ripple” (ondulação) deste sinal vindo da ponte retificadora. O dimensionamento do capacitor é de vital importância, pois altas capacitâncias geram transientes (picos/ondulações) na corrente com elevada amplitude. Este elevado valor de pico de corrente se deve ao processo de carga inicial dos capacitores de entrada, sendo que estes capacitores se encontram inicialmente descarregados, exigindo um alto valor de corrente durante a partida. Este pico de corrente na partida poderá danificar os componentes do circuito ou causar o rompimento do fusível de proteção.
- Proteção: este item engloba o fusível de entrada e outros sub-circuitos de proteção mais robustos, como: tempo morto, partida suave (“soft starter”), comutação suave e “snubbers”. Tais itens possuem a função de limitar a dissipação de potência indevida sobre os demais itens do sistema, principalmente sobre a chave comutadora.
- Fonte Auxiliar: tem como função alimentar o CI (Circuito Integrado) de controle. Normalmente, nessas fontes, que utilizam transformadores, é projetado um enrolamento a mais somente para tal aplicação.
- Comando: o circuito de comando é geralmente executado por “CIs” dedicados ou microcontroladores. Embora existam circuitos que operem com Modulação em Frequência, o método de controle mais utilizado é o de Modulação por Largura de Pulso. Esses controladores podem trabalhar por controle de tensão ou corrente. Por outro lado, as características específicas de cada CI variam de acordo com a aplicação, das proteções implementadas, do grau de desempenho esperado, etc. De forma geral, as características que os atuais CIs possuem são as seguintes: um oscilador programável com frequência fixa até 500kHz; uma referência de tensão integrada; um amplificador de erro integrado; um sinal PWM linear, com ciclo de trabalho de 0 a 100%; tempo morto ajustável; inibição por sub-tensão; uma elevada corrente de saída no acionador, que é geralmente de 100 a 200mA; opção de saída simples ou dupla; “soft starter”; limitação digital de corrente; com capacidade de sincronização com diversos osciladores. Como se pode verificar, este CI já apresenta em seu corpo diversos itens de proteção integrados, reduzindo-se, assim, a quantidade de componentes a se utilizar no projeto como um todo.
- Isolamento: o processo de implementação de uma fonte de tensão sem acoplamento com a rede deve ter a previsão da capacidade de oferecer na saída uma tensão com boa regulação. Outra característica deve ser o

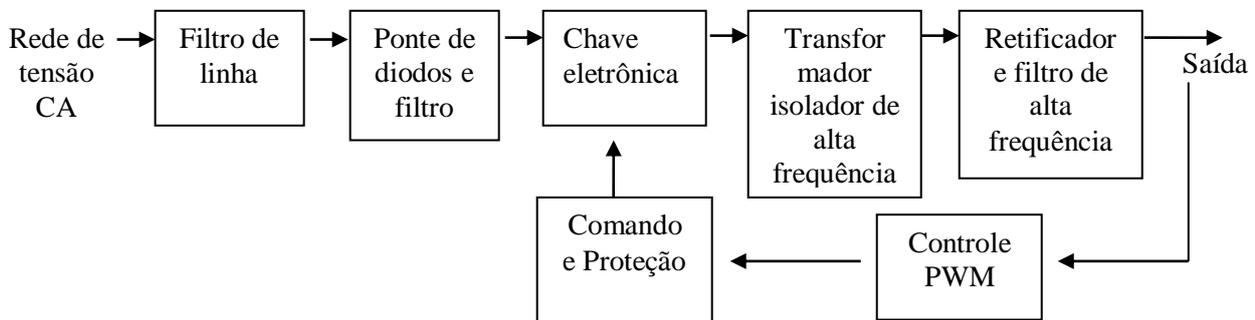
isolamento entre a entrada e a saída, para proteger o usuário de choques devido à fuga de corrente e do elevado potencial da entrada. Para conversores abaixadores, a utilização de um transformador proporciona também a redução da tensão entre primário e secundário pela razão de espiras, permitindo uma melhor regulação da carga na saída.

- Filtro de Saída: com exceção do conversor tipo *Flyback*, no qual o enrolamento do secundário compõe o próprio filtro de saída, as demais fontes chaveadas isoladas apresentam o seu indutor e capacitor de filtragem localizado após o transformador. Ao projetar essas fontes, a capacitância de saída é um grande fator que deve ser considerado, pois a RSE (Resistência Série Equivalente) do capacitor de saída inclui um polo na função de transferência do conversor, o que exige um compensador de maior ordem. Neste trabalho não será abordada a matemática e diagramas de blocos da função de transferência do filtro.

Vieira (2009) ressalta ainda que outro fator importante a ser observado é a vida útil dos capacitores eletrolíticos, que é muito menor perante aos demais capacitores constituídos de matérias diferentes, e que sempre que possível deve se optar por não utilizar capacitores eletrolíticos.

A Figura 2 representa o diagrama de blocos básico dos estágios de uma fonte chaveada.

Figura 2 – Diagrama de blocos dos estágios de uma fonte chaveada



Fonte: Adaptado de Arrabaça; Gimenez, 2013, p.20.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para realização deste trabalho foi baseada em revisão bibliográfica e webliográfica sobre as diferentes topologias de fontes chaveadas, encontradas em livros, revistas, periódicos e artigos científicos.

A revisão bibliográfica também é denominada de revisão de literatura ou referencial teórico. “A Revisão Bibliográfica deve ser considerada como parte de um projeto de pesquisa, no qual revela explicitamente o universo de contribuições científicas de autores sobre um tema específico”. (SANTOS; CANDELORO, 2006, p. 43).

Segundo o site dicionário informal (2015), revisão webliográfica é a bibliografia de sites utilizados em uma pesquisa ou estudo.

O protótipo do projeto da fonte chaveada tipo *flyback* foi realizado de acordo

com os procedimentos básicos e as equações de projeto ressaltadas por Ahmed (2000), Barbi (2001), Hart (2012), Horowitz e Hill (2017), Mello (2011), Mohan (2014), Rashid (2014) e dentre outros autores que realizaram pesquisas e projetos relacionados à área de eletrônica de potência e afins.

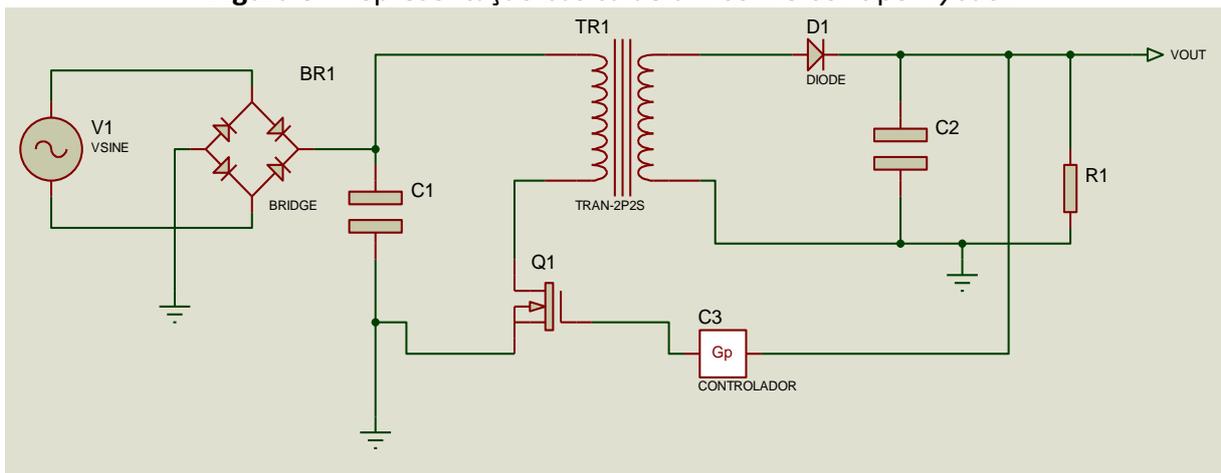
Seguindo o raciocínio de Barbi (2001), primeiramente foram definidas a tensão e corrente de saída, ou range de trabalho da fonte (caso seja uma fonte universal), frequência da rede, tensões máximas e mínimas da rede, proteções necessárias, rendimento, regulação da carga e da linha, resposta transitória, tensão de isolamento e nível de interferência eletromagnética. Posteriormente, foi definida a topologia do conversor, frequência de comutação, interruptor principal (Mosfet, IGBT, transistor, etc.), isolamento e procedimento dos cálculos do estágio de entrada (retificador e capacitor de filtro) e saída (retificador e filtro com indutor e capacitor - LC), cálculo do transformador de isolamento de alta frequência e da fonte auxiliar, escolha do CI gerador de sinal PWM, projeto dos circuitos de compensação e proteção e cálculo do filtro de Interferências Eletromagnéticas.

3.1 LEVANTAMENTO DA FONTE TIPO *FLYBACK*

Este trabalho foi iniciado com o estudo de uma fonte fornecida pelo Laboratório de Eletrônica do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, com o intuito de analisar o funcionamento e compreender seus parâmetros básicos e fazer a adequação necessária dos componentes eletrônicos também disponibilizados pelo laboratório para execução do projeto final.

Para compreensão do conversor tipo *Flyback*, a figura 3 representa o esquemático básico desta topologia, com variações de acordo com os parâmetros relativos a cada tipo de projeto.

Figura 3 - Representação básica de um conversor tipo *Flyback*



Fonte: Autoria Própria, 2018.

O parâmetro inicial para projetar a fonte tipo *flyback* foi a definição dos valores de tensão e corrente na sua saída, que neste caso são 5V e 3A, constatando uma potência efetiva de 15W. A alimentação da fonte é definida pela tensão da rede da

concessionária de energia elétrica, que em questão é 127Vac, que deve ser retificada por uma ponte de diodos convencional, transformando AC em DC e um capacitor eletrolítico projetado para filtrar as imperfeições deste sinal. Como o valor de tensão DC após o capacitor de filtro é relativamente alto (de 150 a 170V) em relação à maioria da tensão de funcionamento dos equipamentos residenciais, este deve ser chaveado para acionar as bobinas do transformador e, neste caso, foi escolhido um Mosfet, que é acionado por um CI que gera pulsos PWM e enviando um sinal de tensão pulsante em alta frequência $FS=70\text{kHz}$ ao transformador, induzindo uma tensão de 5V em seu secundário. A frequência de chaveamento do Mosfet foi utilizada para calcular e enrolar as bobinas do transformador em conformidade com o núcleo de ferrite com área efetiva $AeAw=0,5\text{cm}^4$, que foi fornecido pelo Laboratório de Eletrônica do UNIPAM, projetado juntamente com os demais componentes utilizados para confecção do protótipo.

Para que a potência entregue à carga ficasse estabilizada, foi utilizado um optoacoplador para colher uma amostra do sinal na saída, enviando esse sinal para um amplificador comparador de tensão, que verifica se este e o sinal de referência são compatíveis, e com isso controlar o tempo de chaveamento do Mosfet e manter o sinal da saída sempre constante. A tensão induzida CA no secundário passa novamente por um retificador em meia onda e por um de filtro pi, que é composto por dois capacitores e um indutor, disponibilizando uma tensão contínua para alimentar o *Raspberry Pi*.

4 RESULTADOS PARCIAIS

A execução do projeto partiu de uma pesquisa sobre projetos de fontes chaveadas tipo *flyback* e posteriormente adaptando circuitos de uma fonte do laboratório e realização de cálculos para adaptação dos componentes eletrônicos disponíveis no Laboratório de Eletrônica do UNIPAM.

Após a montagem do transformador utilizando núcleo de ferrite em carretel plástico, cobre com seção de 21AWG (*American Wire Gauge*), sendo mostrada sua referência de medidas na tabela 1, foi realizada a validação deste em uma *proto-board*, e posteriormente será confeccionada a placa de circuito impresso.

Tabela 1 – Referências de bitolas dos fios em AWG

AWG	Diâmetro em mm	Área em mm ²		AWG	Diâmetro em mm	Área em mm ²
1	7.35	42.40		16	1.29	1.31
2	6.54	33.60		17	1.15	1.04
3	5.86	27.00		18	1.024	0.823
4	5.19	21.20		19	0.912	0.653
5	4.62	16.80		20	0.812	0.519
6	4.11	13.30		21	0.723	0.412
7	3.67	10.60		22	0.644	0.325
8	3.26	8.35		23	0.573	0.259
9	2.91	6.62		24	0.511	0.205
10	2.59	5.27		25	0.455	0.163
11	2.30	4.15		26	0.405	0.128
12	2.05	3.31		27	0.361	0.102
13	1.83	2.63		28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08		29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65		30	0.255	0.503

Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de uma fonte chaveada não é trivial como proposto na escolha do projeto principalmente devido às suas peculiaridades de funcionamento dos componentes em cada etapa de montagem e validação. Apesar das dificuldades de adaptação dos componentes, este trabalho gerou um grande conhecimento agregado com tudo que foi visto nas disciplinas ao longo do curso, atingindo, assim, os objetivos propostos pelo projeto, que era fornecer uma alimentação estável para o *Raspberry Pi*.

REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Pearson, 2000.

ARRABAÇA, Devair Aparecido; GIMENEZ, Salvador Pinillos. **Conversores de energia elétrica CC/CC para aplicações em eletrônica de potência**: conceitos, metodologia de análise e simulação. São Paulo: Érica, 2013.

ARRABAÇA, Devair Aparecido; GIMENEZ, Salvador Pinillos. **Eletrônica de potência**: conversores de energia (CA/CC): teoria, prática e simulação. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**: projetos de fontes chaveadas. Florianópolis: Edição do Autor, 2001.

HART, Daniel W. **Eletrônica de potência**: análise e projetos de circuitos. Porto Alegre,

RS: AMGH, 2012.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **A arte da eletrônica: circuitos eletrônicos e microeletrônica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

MELLO, Luiz Fernando Pereira de. **Projetos de Fontes Chaveadas: teoria e prática**. São Paulo: Érica, 2011.

MOHAN, Ned. **Eletrônica de potência: curso introdutório**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

OLIVEIRA, Cláudio Luis Vieira; ZANETTI, H. A. P.; NABARRO, C. B. M. **Raspberry Pi Descomplicado**. São Paulo: Érica, 2018.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência: dispositivos, circuitos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

SANTOS, V. D.; CANDELORO, R. J. **Trabalhos acadêmicos: uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre/RS: AGE Ltda, 2006. 149 p.

VIEIRA, Igor da Costa. **Projeto de um conversor Flyback auto-oscilante de baixo custo para LED's de potência**. Belo Horizonte/MG: UFMG/PPGE. 2009. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/307M.PDF>. Acesso em: 03 mar. 2018.

WEBLIOGRAFIA. Disponível em: <https://www.dicionarioinformal.com.br/webliografia/>. Acesso em: 07 maio 2018.

ESTUDO DE ACESSO AO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO MATRIZ ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA¹

Douglas Antonio Freitas

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: douglasaf@unipam.edu.br

Márcio Arvelos Moraes

Professor do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: marcioam@unipam.edu.br

RESUMO: O Brasil tem crescido cada vez mais e, se tratando de energia renovável, a energia fotovoltaica tem um grande potencial no país, pois possui um clima favorável. Podemos perceber que a radiação solar é conveniente a este modelo de geração, que possui em média 5.0KWh/m². A geração fotovoltaica tem recebido um incentivo do Ministro de Minas Energia (MME) e, com isso, o estado de minas tem crescido cada vez mais em termos de geração fotovoltaica. O governo vem instigando os seus consumidores a gerar sua própria energia elétrica, através do Programa Geração Distribuída de Energia Elétrica ProGD, que foi consolidado no ano de 2015 pelo MME. O consumidor que conecta o sistema de geração elétrica na rede de distribuição passa pelo processo de acesso da concessionária de sua região, seguindo os protocolos de acesso e período de liberação do acesso. A geração fotovoltaica tem uma grande relevância no quesito aspecto social e ambiental, não degradando o meio ambiente e se tornando uma fonte de energia limpa.

PALAVRAS-CHAVE: Fotovoltaico. Geração distribuída. ANELL.

ABSTRACT: Brazil has been growing more and more in renewable energy resources, photovoltaic energy has great potential in the country because it has a favorable climate. We can see that solar radiation is convenient for this generation model, which has an average of 5.0KWh/m². Photovoltaic generation has received an incentive from the Minister of Mines and Energy MME, with this the State of Minas Gerais has been growing increasingly in terms of photovoltaic generation, The government has been encouraging its consumers to generate their own electricity through the Program of Distributed Generation of Electric Power ProGD, which was consolidated in the year 2015 by MME. The consumer that connects the electric generation system in the distribution network, passes through the access process of the concessionaire of its region, following the protocols of access and period of access liberation. The photovoltaic generation has a great relevance in the social and environmental aspect, not degrading the environment and becoming a source of clean energy.

KEYWORDS: Photovoltaic; Distributedgeneration; ANELL.

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 - Estudo de acesso ao sistema de geração distribuída utilizando matriz energética fotovoltaica - V Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura - outubro de 2018.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição, durante muito tempo, baseou-se em uma topologia em que a geração era centralizada e, na maioria das vezes, encontrava-se distante da carga (LUIS, 2012). Dessa forma, o sistema operava sem a presença intermediária de fontes geradoras, configurando um sistema radial, com o objetivo de distribuir energia elétrica de forma econômica, confiável e segura (LUIS, 2012).

Esse cenário de distribuição centralizada vem mudando no Brasil, após a criação de novos agentes no mercado de energia, denominados Produtores Independentes de Energia (PIE) e Autoprodutor de Energia Elétrica (APE), de acordo com a lei das concessões 9075/95 e com o decreto nº 2003 de 10/09/1996. (LUIS, 2012).

Assim, com o acesso de novos agentes no mercado, surgiu uma nova topologia de distribuição de energia elétrica, conhecida como geração distribuída, que configura um modelo no qual há geração de energia realizada em pontos diversos da rede, através de sistemas geradores que ficam localizados na própria unidade consumidora (casas, empresas e indústrias), que é ligada a rede elétrica de distribuição pública. (FONTES, 2018).

Podem-se classificar dois tipos de operação em relação à geração distribuída que leva em consideração a forma de ligação entre concessionária e consumidor. Dessa forma, quando houver uma ligação em paralelo da cogeração com a concessionária denomina-se como geração *on-grid*, caso a cogeração atenda somente o consumidor, sem que haja ligação com a rede de distribuição, denomina-se geração *off-grid*. (NARUTO, 2017).

Do ponto de vista do sistema elétrico, a geração distribuída pode trazer benefícios na qualidade e confiabilidade do suprimento, atendendo à demanda de ponta e funcionando como reserva operativa. Além disso, os esquemas de cogeração podem atender áreas remotas com baixa densidade de carga. (PINHO, 2014).

O Brasil possui uma das tarifas energéticas mais caras do mundo, sobre a qual incidem ainda altas cargas tributárias e valores diferenciados devido à sazonalidade da matriz energética, que acabam deixando o valor da conta de luz elevado, despertando nos consumidores o interesse por investirem em sistemas de cogeração conectados à rede.

Dessa maneira, devido às condições climáticas brasileiras e os incentivos governamentais, o sistema de geração distribuída proveniente da energia fotovoltaica tem se popularizado no país, tornando a fonte de cogeração mais utilizada por consumidores de pequeno porte.

Isto posto, observa-se que boa parte dos consumidores que tem interesse em investir em cogeração fotovoltaica para se desvencilhar parcialmente da sazonalidade e inflações incidentes na tarifa de energia possui dúvidas quanto à forma de restituição do excedente de energia produzido e quais parâmetros a considerar para dimensionar um sistema fotovoltaico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MICRO E MINIGERAÇÃO

Conforme a Agencia Nacional de Engenharia Elétrica, a micro e minigeração distribuída representa na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes.(ANEEL, 2018)

2.2 ACESSO À DISTRIBUIÇÃO

Conforme a solicitação de acesso, cada acessante deverá se informar com a concessionária de sua região, onde será informado qual o tipo de geração exemplo: micro ou minigeração distribuída para melhor atender a necessidade do contratante. Portanto, a solicitação terá que ser realizada por meio de um responsável técnico da área com cadastro e situação regular no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia CREA.

Os arquivos necessários para serem anexados junto com o formulário de solicitação são o Diagrama Unifilar Básico – DUB, Memorial descritivo da geração e a Anotação de Responsabilidade Técnica ART.

Portanto, se é minigeração, deverá incluir o projeto elétrico.

O módulo fotovoltaico a ser utilizado, juntamente com o inversor, tem que ser usado um certificado de características. É um número na concessão do Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia- INMETRO.

De acordo com Agência Nacional de Engenharia Elétrica, as distribuidoras locais deverão se adequar e revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referencial os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais. (ANEEL, 2018)

Conforme o formulário de acesso, a central geradora deverá ser caracterizada como micro ou minigeração distribuída. Nestes requisitos são obrigatórias as etapas de solicitação e de parecer de acesso. A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante ou consumidor, que, uma vez entregue à acessada ou distribuidora, requer a prioridade de atendimento, conforme a ordem cronológica de protocolo de cada distribuidora. A solicitação de acesso deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso para micro e minigeração distribuída disponível (ANEEL, 2018).

O formulário específico para cada caso deve ser protocolado na distribuidora, acompanhado dos documentos pertinentes, não cabendo à distribuidora solicitar documentos adicionais àqueles indicados nos formulários padronizados. Caso a documentação esteja incompleta, a distribuidora deve recusar o pedido de acesso e

informar o acessante sobre todas as informações pendentes. Então, o acessante realizará uma nova solicitação de acesso após a regularização das pendências identificadas (ANEEL, 2018).

Como resposta à solicitação de acesso, a distribuidora deverá emitir o parecer de acesso, que é um documento formal obrigatório apresentado pela acessada, sem compromisso com o acessante, em que são informadas as condições de acesso e os requisitos técnicos que permitam a conexão das instalações do acessante com os respectivos prazos (ANEEL, 2018).

No caso de obra para atendimento, o parecer de acesso deve também apresentar o orçamento da obra, contendo a memória de cálculo dos custos orçados, do encargo de responsabilidade da distribuidora e da eventual participação financeira do consumidor.

O prazo máximo estabelecido para elaboração do parecer é de 15 dias para microgeração e de 30 dias para minigeração. Esses prazos são dobrados, caso haja necessidade de obras de melhorias ou reforços no sistema de distribuição da concessionária local (ANEEL, 2018).

O procedimento de acesso é simples e rápido, assim como os requisitos de proteção necessários para garantir a segurança das pessoas e a qualidade da energia injetada na rede. Deve-se observar que a distribuidora tem a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos micro e minigeradores distribuídos e pelo envio dos dados à ANEEL para fins de Registro (ANEEL, 2018).

2.3 APOIO E INCENTIVO DO GOVERNO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

De acordo com o Ministro de Minas Energia, o estado de Minas Gerais vem sendo referência para todo o resto do Brasil quando se fala de energia solar FV, com altos índices de irradiação solar e outros fatores que aumentam a rentabilidade dos sistemas fotovoltaicos. Minas Gerais ocupa por anos a liderança nacional na geração distribuída em energia solar, reflexo também de seu governo pró-solar, que acaba de anunciar novo incentivo à tecnologia. (MME, 2015).

Conforme o Ministro de Minas Energia, o ProGD foi desenvolvido para incentivar o consumidor a produzir sua própria energia e reduzir Gastos com a eletricidade. E também houve mudança para as concessionárias de distribuição de energia, que foi consolidada no ano de 2015, após um processo na direção do MME, em que teve uma entrega por 30 anos e sem pagamento de acréscimo de concessão. As distribuidoras deverão cumprir metas de qualidade e de investimento, o que deverá trazer melhorias na geração distribuída, acarretando uma melhor qualidade de energia para o consumidor. (MME, 2015).

Portanto, o governo de Minas aprova a Lei nº22. 866 de 08 de janeiro de 2018, que traz a criação de um fundo para garantir empréstimo e condições vantajosas para pequenas e grandes empresas nas montagens de geradores fotovoltaicos.

O fundo de fomento e desenvolvimento socioeconômico do estado de Minas (Fundese) disponibilizará recursos financeiros para microgeração e minigeração distribuída a serem realizados no Brasil (BUZATTO, 2018).

2.4 DIMINUIÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O Brasil tem sido cada vez mais significativo no seguimento de geração de energia limpa solar fotovoltaica. Em alguns estados foram implantadas indústrias no seguimento de produção de painéis fotovoltaicos, que levou em uma diminuição significativa. Foi uma grande conquista para o consumidor brasileiro, abrindo um novo caminho de oportunidade e condição de implantar um sistema em sua residência ou até mesmo em um comércio.

O processo de fabricação é muito delicado. A célula fotovoltaica é a vida útil do painel, feito através de um processo físico e químico a luz do sol e transformado em energia elétrica. A célula fotovoltaica significa aproximadamente 60% do valor do painel pronto para ser utilizado. Para que se obtenha uma maior durabilidade no painel são agregados ao processo de produção alguns fatores.

Há uma sequência de como é realizado dentro da indústria. O primeiro passo é realizar a limpeza do vidro, pois, se não for realizado com cuidado e de uma forma correta, pode criar bolhas. O vidro não pode ter gordura porque será colada uma camada de filme no vidro. O segundo passo do processo será a interligação das células. Esse processo é bastante crítico, são chamados de *strings*, onde são interligados com fios de cobre ou alumínio. Na sequência, o terceiro passo traz o sistema de montagem da matriz das células, conhecido também como "*layup*". É o processo de coletar as séries de células fotovoltaicas interconectadas e as posicionar sobre o vidro e o EVA. Esse processo é delicado e precisa ser feito por uma máquina especial para evitar quebrar as células e garantir o perfeito alinhamento delas no painel solar (PORTAL SOLAR, 2018).

De acordo com o passo a passo, o quarto item é realização da interconexão manual ou automatizada. De uma maneira simples, os *strings* de células são soldadas e assim é criada uma ligação elétrica entre elas. O quinto passo é a colocação do EVA sobre a matriz da célula. Assim, o painel está pronto para receber também o sexto item, que é a laminação. Esse processo tem um grande fator na vida útil do painel.

Os passos a seguir são basicamente os últimos ajustes para término no processo de fabricação. Terão, então, os seguintes itens: corte de rebarba, ligação da caixa de junção, molduras de alumínio para proteger a placa, e, por fim, o teste ou inspeção, em que será classificada a eficiência do painel.

Conforme descrito, pode-se chegar a algumas conclusões sobre a diminuição do custo de produção. A principal matéria prima do painel é retirada do silício, ganhando um tratamento, passando por um processo físico e químico, trazendo a célula fotovoltaica com um custo de 60% de todo o painel. O processo produtivo industrial conta com diversos equipamentos modernos e de alto custo, sendo eles importados. Por mais que houve uma diminuição no produto final nos últimos anos, o custo de fabricação é alto (PORTAL SOLAR, 2018).

2.5 CONSCIENTIZAÇÃO SOCIAL E AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA

A energia solar FV é de grande relevância, se analisados o aspecto social e ambiental de uma geração e quais os cuidados devem ser tomados a respeito. Com a ampliação do uso desse tipo de energia, algumas preocupações são levantadas. Uma

delas é o impacto da energia solar em uma análise de todo o seu ciclo de vida. Outra, de certa forma complementar à primeira, é o fim da vida dos equipamentos de um sistema fotovoltaico.

Ao final de 2016, a estimativa é que o fluxo acumulado de resíduos da indústria solar tenha chegado a 43 500-250 000 toneladas. Isso representa 0,1%-0,6% da massa acumulada de todos os painéis instalados, que atualmente é de 4 milhões de toneladas.

Considerando que a média de vida útil de um painel solar é 30 anos, quantidades de resíduos anuais são esperadas para o começo da década de 2030. Para 2050, espera-se que o número de equipamentos desativados seja quase que equivalente ao de novos produtos instalados. Lidar com o resíduo fotovoltaico será um desafio, mas abre caminho para novas oportunidades de mercado, além de uma iniciativa interessante ao perfil sustentável que os países devem seguir em sua economia nos próximos anos.

3 METODOLOGIA

Este tópico descreve a metodologia utilizada para realizar o estudo de caso de uma unidade consumidora comercial que visa acessar o sistema da geração distribuída com a produção de energia através de um sistema fotovoltaico.

Foi realizado o levantamento da curva de demanda da unidade consumidora comercial. Esse levantamento foi necessário para obter qual o período de maior consumo no dia, devendo mostrar quanto é gasto de energia por mês ou por ano.

Após levantar da curva de demanda, foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender às necessidades da UC comercial.

Todos esses métodos citados são conforme as especificações da ANEEL, levando a um melhor resultado e confiabilidade do processo de conexão à rede de distribuição da concessionária local.

4 RESULTADOS PARCIAIS

Foram analisados os dados do Supermercado Lima, que fica localizado no bairro Caramuru, na cidade de Patos de Minas. A área construída é 490m² e sua coordenada geográfica latitude: 18º 34' 16.8"S longitude: 46º 31' 30"W. Esses dados foram retirados do site cresesb e são importantes para o estudo de irradiação solar. A região de Patos de Minas tem a capacidade de 5.55 KWh/m².dia, com uma inclinação de 19%. Após a coleta de dados de carga elétrica no Supermercado, foi obtida a potência elétrica de diversas cargas. Observando o quadro 1, podemos analisar que temos cargas que fica ligada por 24h e outras por volta de 16h, por exemplo, as lâmpadas e computadores. Os equipamentos moedor de café e máquina de fatiar têm uma média de 3h ligadas por dia.

Quadro 1: Cargas elétricas do Supermercado Lima

Cargas	Unidade	Tensão V	Potência W	Horas Ligado	kwh/mês
Lâmpadas	30	127	200	16h	144
Freezer	3	220	117.5	24h	84.6
Geladeira	4	220	548	24h	394.56
Mesa de frios	2	220	384.1	24h	276.6
Geladeira de frios	1	220	950	24h	684
Balcão de frio	2	220	198	24h	142,56
Moedor de café	1	220	675	3h	486
Maquina de fatiar	1	220	240	3h	172,8
Balança	4	220			0
Computador	8	127	200	16h	144
Impressora	1	127	45	16h	32,4
Refletor	11	220	200	8h	144
Total					1949,76

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

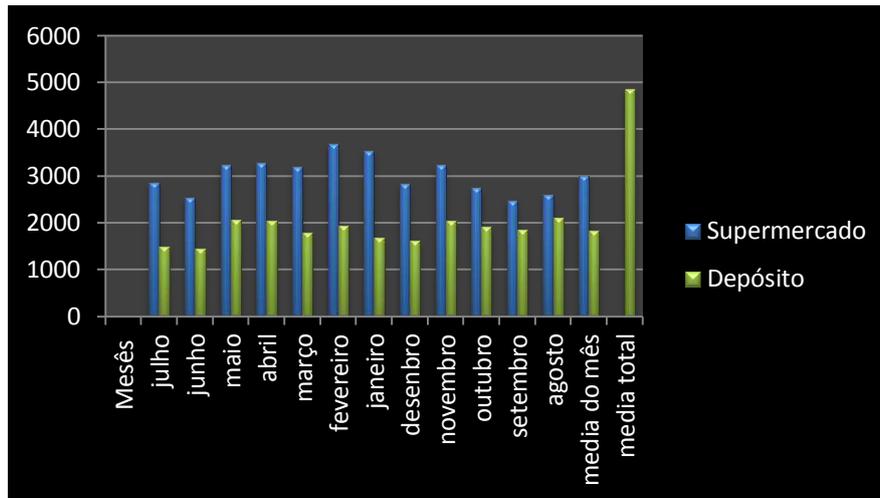
Foram realizados os cálculos do consumo de energia elétrica, tendo base na conta de energia elétrica. A concessionária de distribuição de energia elétrica vigente é a Cemig, conforme os dados coletados da conta de energia elétrica do Supermercado Lima. A UC está sendo alimentada em dois ramais de entrada, sendo o primeiro para a demanda do supermercado, em que estão sendo realizados os cálculos, e o segundo ramal de entrada faz parte do depósito onde está o estoque de produtos do supermercado. O quadro 2 representa o consumo de energia mensal.

Quadro 2: Consumo mensal UC, 2018

Meses	Supermercado	Meses	Depósito
Julho	2865	Julho	1505
Junho	2544	Junho	1462
Maio	3238	Maio	2054
Abril	3280	Abril	2044
Março	3200	Março	1806
Fevereiro	3677	Fevereiro	1945
Janeiro	3549	Janeiro	1698
Dezembro	2841	Dezembro	1627
Novembro	3239	Novembro	2049
Outubro	2738	Outubro	1918
Setembro	2485	Setembro	1851
Agosto	2587	Agosto	2100
Média	3020,25	Média	1838,25

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados retirados da conta de energia elétrica gerada pela concessionária Cemig-D (2018).

Gráfico1: Consumo anual da UC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Na conta de luz, energia é a potência de cada equipamento multiplicado pelo número de horas de funcionamento e é dado em KWh. Para se calcular a energia de geração de um sistema fotovoltaico, é necessário entender o consumo de energia diário e mensal. O consumo de energia diário é aquele que está sendo utilizado no decorrer das 24h, sendo medido e armazenado no medidor de energia elétrica. Para que possamos entender melhor o consumo médio mensal, o primeiro passo é coletar os dados dos últimos 12 meses, em seguida a soma total do ano, e, depois, dividir por 12, portanto chegará ao consumo médio C_m

$$C_m = C_t / 12$$

Como pode observar no quadro 2, o valor do consumo médio já foi calculado, então basta escrever o valor para seguir a sequência nos cálculos.

$$C_m = 4858,5 \text{ KWh} - 50 \text{ KWh}$$

$$C_m = 4808,5 \text{ KWh}$$

O valor que foi descontado do consumo médio é chamado de taxa de disponibilidade para rede bifásica.

O consumo diário é simplesmente o valor médio dividido pelos dias do mês

$$C_d = 4808,5 \text{ KWh} / 30 \text{ dias}$$

$$C_d = 160,30 \text{ KWh} / \text{dia}$$

Os dados no quadro 3 foram retirados do site do Cresesb, que são de irradiação solar diária, média e mensal $\text{KWh}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Quadro 3: Cresesb

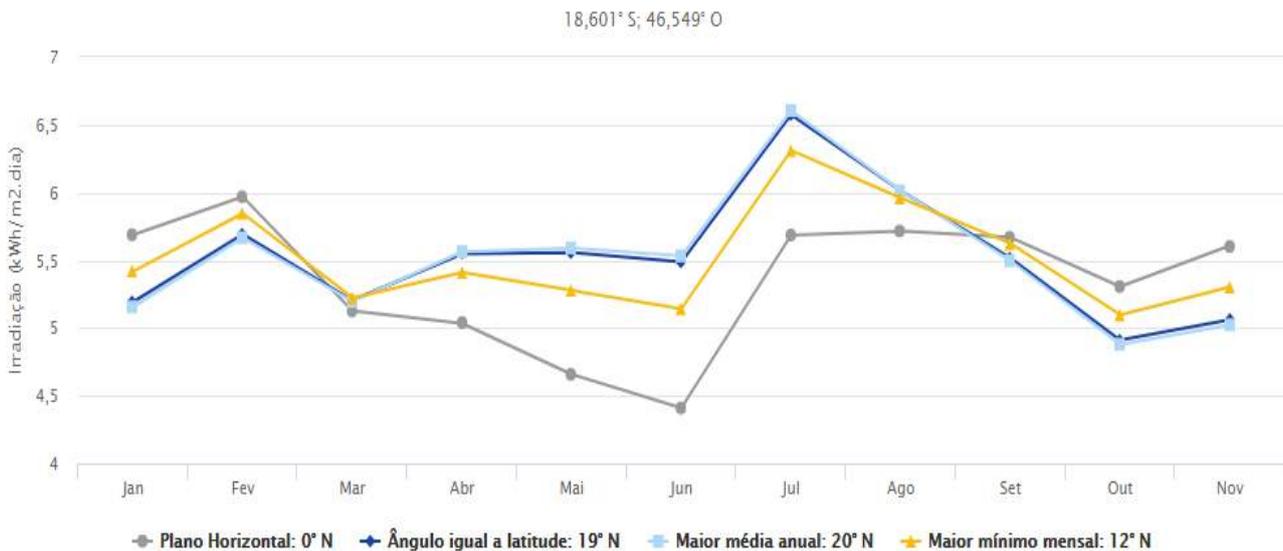
Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Patos de Minas
Município: Patos de Minas , MG - BRASIL
Latitude: 18,601° S
Longitude: 46,549° O
Distância do ponto de ref. (18,57° S; 46,51° O) :5,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,69	5,97	5,13	5,03	4,66	4,41	4,72	5,69	5,72	5,67	5,31	5,61	5,30	1,56
✓	Ângulo igual a latitude	19° N	5,19	5,69	5,20	5,55	5,56	5,49	5,80	6,57	6,01	5,52	4,91	5,06	5,55	1,66
✓	Maior média anual	20° N	5,16	5,67	5,20	5,56	5,59	5,53	5,84	6,61	6,01	5,50	4,88	5,02	5,55	1,73
✓	Maior mínimo mensal	12° N	5,42	5,85	5,22	5,41	5,28	5,14	5,46	6,31	5,96	5,62	5,10	5,30	5,51	1,21

Fonte: Site cresesb, 2018

Gráfico 2: Irradiação da região de Patos de Minas, 2018



Fonte: Site Cresesb, 2018

Após a coleta de dados de irradiação solar da cidade de Patos de Minas, chegamos ao valor de 5.55KWh/dia. Para saber os números de horas, os fabricantes de painéis fotovoltaico consideram o valor de 1KWh/m². Este valor é considerado entre o horário de 11h às 13h, em que os painéis fornecem potência nominal. Número de horas é : $N_h = 5.55KWh / 1K Wh \rightarrow 5.55h$

O cálculo de demanda do sistema:

$$D = Cd/Nh$$

$$D = 160.30KWh/5.55h$$

$$D = 28.88KW$$

Após o cálculo de demanda, serão dimensionados os painéis fotovoltaicos. O painel a ser utilizado é do fabricante Canadian solar, com potência de 330W. De acordo com os dados de demanda e do painel, podemos calcular o número de módulos fotovoltaicos. De acordo com os cálculos do projeto, serão necessários 90

módulos para que se obtenham níveis de tensão e corrente conforme o MPP.
 $N_m = 28.88 \text{KW} / 330 \text{W} \rightarrow = 87.51$

Quadro 4: Especificação técnica painel fotovoltaico Canadian

Máxima Potência (Pm):	330 Watts
Tolerância:	0 ~ + 5 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	37,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,88 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	45,6 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,45 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 ts
Eficiência do Painel:	16,97%
Coeficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,41 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,053 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,31 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	43±2°C

Fonte: Site neosolar, 2018

Serão utilizados 4 inversores, conforme a potência calculada do sistema. O fabricante fronius contém em sua descrição os dados mostrados nos quadros 5 e 6.

Quadro 5: Dados entrada do inversor fronius

Quantidade de MPP Tracker	2,0
Corrente máx. de entrada ($I_{cc \text{ máx}}$)	18 / 18 A
Corrente máx. de curto-circuito do campo do módulo	27 / 27 A
Faixa de tensão de entrada CC ($U_{cc \text{ mín}} - U_{cc \text{ máx}}$)	80 - 1000 V
Alimentação de tensão inicial ($U_{cc \text{ inicial}}$)	80,0 V
Tensão nominal de entrada ($U_{cc,r}$)	710,0 V
Faixa de tensão MPP ($U_{mpp \text{ mín}} - U_{mpp \text{ máx}}$)	270 - 800 V
Faixa de tensão MPP utilizável	80 - 800 V
Quantidade de conexões CC	2 + 2
Potência máxima do gerador fotovoltaico ($P_{cc \text{ máx}}$)	12,3 kWpeak

Fonte: Site fronius, 2018

Quadro 6: Dados saída do inversor fronius

Potência nominal CA ($P_{ca,r}$)	8200,0 W
Potência máx. de saída ($P_{ca \text{ máx}}$)	8200,0 VA
Potência máxima de saída ($I_{ca \text{ nom}}$)	35,7 A
Acoplamento à rede ($U_{ca,r}$)	1~ NPE 220/230 V
Faixa de tensão CA ($U_{mín} - U_{máx}$)	180 - 270 V
Frequência (f_r)	50 / 60 Hz
Faixa de frequência ($f_{mín} - f_{máx}$)	45 - 65 Hz
Fator de distorção	< 5 %
Fator de potência ($\cos \phi_{ca,r}$)	0,85 - 1 ind./cap.

Fonte: Site fronius, 2018

De acordo com os dados do *datasheet* inversor e dos painéis, será possível calcular o número de *string* e valores de tensão dos painéis em série ou paralelo. Conforme for realizado o arranjo, o nível de tensão deverá ficar na faixa de 270V~800V o ponto, máxima de potência de operação dos painéis fotovoltaico MPPT. A máxima corrente que o inversor suporta é de 18A, portanto o cálculo das *strings* deverá obedecer aos níveis de tensão e corrente para que inversor não seja danificado. O cálculo da *string* será realizado através da expressão, com os valores encontrados nos cálculos acima N_m número de módulos dividido pelo N_{ms} número de módulos por *string*.

$$S = N_m / N_{ms}$$

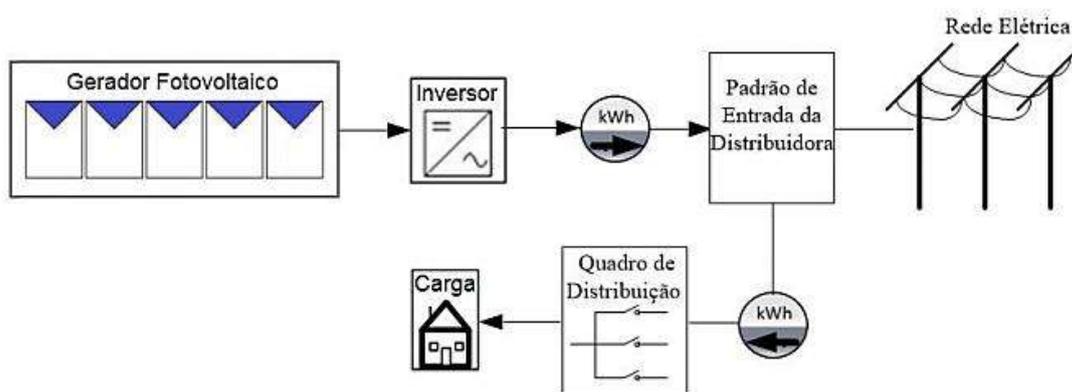
$$S = 90/15$$

$$S = 6$$

O valor do módulo foi arredondado para 90 painéis. Para que o valor possa ser dividido as *strings*, neste arranjo ficará da seguinte maneira: para dois inversores serão ligadas duas *string* de 15 módulos em série, logo em seguida serão ligadas as duas em paralelo, isto para um inversor. Este processo repetirá por mais um inversor; os outros dois inversores serão ligados uma *string* de 20 módulos em série.(FRONIUS, 2018)

As *string* serão compostos por 15 módulos fotovoltaicos, ligados em série. Este esquema de ligação fornecerá uma tensão de 558V e uma corrente de 8.88A. No arranjo final, foram utilizados dois arranjos de 30 módulos, sendo que cada esquema é composto por duas *string* em paralelo. Após ligarmos em paralelo, a tensão de 558V se mantém, a corrente é somada, ficando com 17,86^a. Em seguida as *strings* de 20 módulos em série ficarão com a tensão de 740V e uma corrente de 8.8^a. A figura 1 nos mostra o diagrama unifilar de como é o sistema fotovoltaico.(NEOSOLAR, 2018)

Figura 1 - Sistema de medição simultânea



Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica. Indd

4.1 CUSTO DO SISTEMA

O sistema é constituído por 90 módulos de potência 330W. Por painel, o valor é de R\$ 90.765,00. Também serão necessárias 23 estruturas de acomodação dos painéis fotovoltaicos, o valor total da estrutura é R\$ 32.338,00. Serão utilizados 45 conectores macho e 45 conectores fêmea, resultando em um total de 90 conectores - o valor total

de conectores é R\$ 1.980,00. O projeto utilizou 4 inversores da Fronius com potência de 8200W, tendo um custo de R\$ 11.490,00 cada unidade - total R\$ 45.970,00. Também serão utilizados 3 *string* Box, com o valor de R\$ 2.010,00. Os cabos utilizados são os AWG 12 de silicone, preto e vermelho - o valor é de R\$ 39,00 por metro e o sistema utilizará 100 metros. O custo total do material será de R\$ 176.963,00.

O custo com projeto e instalação somou R\$17.693,00, totalizando um valor de R\$194.656,00 para aquisição do sistema.

4.2 VIABILIDADE DO SISTEMA

Com um valor médio mensal de R\$ 4.858,50 na conta de energia, chegamos a uma economia de 90% do valor na conta de luz, economizando R\$ 4.372,65. Sabemos que os painéis fotovoltaicos nos oferecem 15 anos de garantia com potência máxima, caindo a eficiência para 80%, após os 25 anos de utilização. Isso mostra que o sistema é viável, e o cálculo utilizado é bem simples, sem levar em consideração depreciação do dinheiro e outros métodos de reajustes.

O dinheiro investido no sistema pode ser recuperado em até 4 anos, como nos mostra a equação $meses = \frac{investimento}{economia} \rightarrow = \frac{R\$194.656,00}{R\$4.372,00} = 44,52$ meses. Dividindo este valor por 12 meses chegaremos em 3.7 anos, este período de tempo é o necessário para o investimento se pagar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É viável para uma unidade comercial situada na cidade de Patos de Minas o investimento em um sistema de geração de energia fotovoltaica. Percebemos que o cenário de geração, transmissão e distribuição e todos os encargos vigentes pelas concessionárias têm mostrado que a energia elétrica tende a ficar cada vez mais cara. Então, o sistema tendo sua vida útil de 25 anos, com a eficiência de 80%, torna-se atrativo aos consumidores, os quais passarão a micro ou mini geradores de energia elétrica. A taxa de radiação solar diária na região de Patos de Minas fica próxima aos 5.55 Wh/m²/dia, trazendo um cenário muito favorável à utilização da energia solar fotovoltaica.

No ano de 2012, a ANELL deu um grande passo. Com a normativa nº 482, abriram-se as portas para investimentos em fontes renováveis, através da mini e micro geração, transformando aquisição de um sistema de energia renovável acessível para conectar o sistema *grid tie* ou *on grid* junto a rede de distribuição da concessionária vigente de sua localidade. (FAEDO, 2014)

O sistema de compensação de energia é aquele em que o consumidor gera sua própria energia elétrica, conectando na rede de distribuição. Se o consumidor gerar mais energia elétrica do que consome, o mesmo será recompensado em forma de crédito com a concessionária, crédito acumulativo, com até 60 meses para ser utilizado pelo consumidor.

No Brasil temos um grande potencial para sistema de energia fotovoltaico, melhorando e diversificando a matriz energética nacional através de fontes de energia sustentáveis.

O custo de um sistema fotovoltaico ainda apresenta um elevado preço no mercado, visto que a maior parte dos equipamentos são fabricados fora do Brasil. Existem fabricantes nacionais, mas ainda não têm um preço competitivo, comparados com os equipamentos importados com a mesma qualidade.

O sistema tem como vantagem um baixo índice de impacto ambiental, deixando um futuro melhor para a sociedade, comparado com outras fontes de energia elétrica não renováveis.

REFERÊNCIAS

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL . **Consumo**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf. Acessado em: 01 jul. 2018.

BUZATTO, V. H. (2018). **Sun volt**. Disponível em: <http://www.sunvoltenergiasolar.com.br/minas-gerais-aprova-lei-para-financiamento-de-energia-solar/>. Acesso em: 09 jul. 2018.

FAEDO, Alessandro. **Viabilidade de um Sistema de Energia Fotovoltaica Residencial Ligado a Rede**. 2014. 14 f. Tese (Pós-graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos>. Acesso em: 30 out. 2018.

FONTES, Ruy. **Geração Distribuída da ANEEL Avança com Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/geração-distribuida-da-aneel>. Acesso em: 10 maio 2018.

LUIS, Cecília Martins. **Avaliação do Impactos da Geração Distribuída para Proteção do sistema Elétrico**. 2012. 136 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MME (2015). **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030. Acesso em: 03 maio 2018.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede distribuição**. 2017. 84 f. Tese (Tcc) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NEOSOLAR. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/>. Acessado em: 30 out. 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). **Manual de Engenharia Fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Atualizada e Revisada, 2014. 529 p.

PORTAL SOLAR. **Inversor-grid-tie**. Disponível em:
<https://www.portalsolar.com.br/inversor-grid-tie.html>. Acessado em: 07 jul. 2018.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em:
<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acessado em: 05 jul. 2018.

PORTAL SOLAR. **Passo a passo da fabricação do painel solar**. Disponível em:
<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>.
Acessado em: 05 jul. 2018.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA TERMOACUMULAÇÃO NO SISTEMA DE AR CONDICIONADO DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS DE MINAS - UNIPAM¹

Delduque Garcia Mundim Júnior

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: delduque@unipam.edu.br

Cícero Luiz Fonseca

Professor do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: cicerolf@unipam.edu.br

RESUMO: Este artigo apresenta um diagnóstico energético para análise de viabilidade de implantação da termoacumulação, cujo objeto de estudo é o sistema de ar condicionado do UNIPAM. O objetivo geral é promover a eficiência energética do sistema de ar condicionado, por meio da termoacumulação. Foram realizados levantamentos de dados e cálculo de viabilidade financeira, constatando-se a possibilidade de reduzir a demanda necessária em 800kW.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico energético. Termoacumulação. Sistema de ar condicionado.

ABSTRACT: This article presents an energy diagnosis for the feasibility analysis of the implantation of the thermoaccumulation, whose object of study is the air conditioning system of UNIPAM. The objective is to promote the energy efficiency of the air conditioning system, through the medium of the accumulation. Data collection and calculation of financial viability were carried out, with the possibility of making a requirement of 800kW.

KEYWORDS: Energy diagnosis. Thermal accumulation. Air-conditioning system.

1 INTRODUÇÃO

A utilização da energia elétrica foi um fator essencial para as grandes mudanças ocorridas no final do século XX e início do século XXI, relacionadas à economia e à tecnologia, o que proporcionou diversos benefícios, dentre eles a melhoria na qualidade de vida das pessoas. Porém, segundo Kobayakawa (2011), todo esse processo causou impactos negativos para o meio ambiente, além de provocar aumento nos custos para geração de energia. Buscando minimizar esses impactos, é extremamente importante aliar o desenvolvimento com práticas que visam à conservação ou mesmo à restauração do meio ambiente. Um aspecto relevante a ser

¹ Trabalho apresentado na categoria comunicação oral – Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

considerado é o uso eficiente da energia elétrica, que contribui para a conservação ambiental e possui grande importância no âmbito econômico-financeiro.

Para Queiroz (2011), grande parte do consumo de energia elétrica provém dos setores comerciais, industriais e de edificação, sendo que os sistemas de climatização correspondem a uma expressiva parcela deste consumo. Nos últimos anos, o país enfrentou uma intensa dificuldade financeira e, em 2018, ainda tenta se recuperar desta crise, porém a dependência por maiores quantidades de energia elétrica aprofunda ainda mais a falta de recursos financeiros. Logo, com o intuito de evitar o aumento dos custos para o consumidor final desta energia, torna-se mais do que necessário o uso eficiente de equipamentos, seja tornando-os mais modernos e econômicos, seja utilizando-os de forma mais racional e comedida, dentre outras medidas, sendo que essa transformação social torna-se mais viável do que a ampliação da demanda de energia elétrica.

Ao elaborar projetos de climatização, é fundamental optar por sistemas que minimizem os impactos ambientais e financeiros. A Fundação Educacional de Patos de Minas - FEPAM, mantenedora do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, pretende realizar a climatização do campus para proporcionar conforto térmico à comunidade acadêmica, e, diante de tal preocupação, optou por utilizar um sistema hidrônico, ou seja, que utiliza água gelada para transferência de calor, sendo recomendado pelo Ministério do Meio Ambiente através do programa brasileiro de eliminação de HCFC's (hidroclorofluorcarbonos). Esse sistema é considerado menos poluente e minimiza os custos de energia elétrica. Porém, para implantação deste projeto de climatização, poderá haver a necessidade de contratação de demanda, que exigirá melhorias na rede de distribuição da concessionária.

Com intuito de deixar o projeto ainda mais sustentável e com custo baixo, surgiu a pergunta: a utilização de termoacumulação poderá reduzir a necessidade de demanda de energia elétrica e ainda proporcionar menor custo ao projeto?

A termoacumulação é uma tecnologia capaz de promover a eficiência energética, pois permite a produção e armazenamento de energia térmica, utilizando água gelada ou gelo, por meio de equipamentos denominados *chillers*. Dessa forma, é possível reduzir a necessidade de demanda para obter a mesma capacidade térmica. Considerando que o aumento da demanda implica em elevado custo e, segundo Gedra (2009), em impactos ambientais indiretos, este trabalho se justifica na necessidade de evitar a ampliação da demanda de energia elétrica do campus UNIPAM.

O objetivo geral deste projeto é promover a eficiência energética na implantação do sistema de ar condicionado do UNIPAM, por meio da termoacumulação. Já os objetivos específicos são: realizar um diagnóstico energético para verificar se a termoacumulação irá proporcionar redução de custos quando comparado com o sistema sem termoacumulação; verificar se haverá necessidade ou não de contratação de demanda de energia; definir o método mais recomendado para implantar o sistema de termoacumulação, considerando a necessidade, a estrutura e a arquitetura do campus; bem como estimar a viabilidade financeira para implantar o sistema de termoacumulação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados os temas referentes à eficiência energética, termoacumulação com *chillers*, demanda e energia elétrica, meio ambiente e Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - PIMVP. As principais fontes para esta pesquisa foram os órgãos reguladores e normativos brasileiros, a Organização para Avaliação de Eficiência, em inglês *Efficiency Valuation Organization* – EVO, que patrocinou a elaboração do PIMVP, bem como autores de teses e dissertações acerca dos temas supracitados.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O termo Eficiência Energética descreve, segundo o MME (2010, p. 4), “a relação entre a quantidade de energia final utilizada e de um bem produzido ou serviço realizado”, ou seja, quanto menos energia for consumida na produção de um bem ou quanto mais bens se produz com o mesmo consumo de energia, mais eficiente energeticamente é este sistema. O MME (2010) destaca que a eficiência energética começou a se tornar uma preocupação mundial nos anos de 1970 no choque de preço do petróleo, em que se demonstrou que os combustíveis fósseis teriam custos crescentes.

Além dos custos, a necessidade de minimizar os impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis também incentivou vários países a buscarem meios para uso eficiente da energia, bem como a investirem em formas alternativas de energia. No Brasil, a eficiência energética teve maior foco após o racionamento de energia ocorrido em 2001.

Duas consequências positivas se sobressaíram diante da crise vivenciada no setor elétrico brasileiro em 2001, sendo a busca de soluções pela sociedade e a valorização da eficiência no uso de energia, permitindo assim a conscientização de que a eficiência energética deve “fazer parte, de forma definitiva, da política energética nacional, mediante a valorização das iniciativas já em andamento no País, o desenvolvimento de produtos e processos mais eficientes e a intensificação de programas que levem à mudança nos hábitos de consumo” (ELETROBRAS, 2005, p. 9).

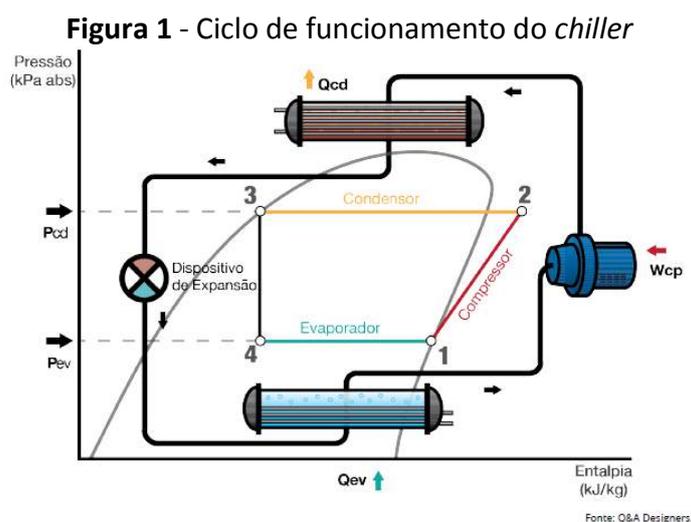
Ainda de acordo com Eletrobras (2005), em alguns casos, expressivas economias só podem ser alcançadas com mudanças de procedimentos e de hábitos, impactando também o meio ambiente de forma positiva. No âmbito econômico, por exemplo, observa-se a crescente valorização da imagem de empresas e instituições por meio de produtos e ações que demonstram comprometimento com a sustentabilidade, tornando-os preferenciais no mercado.

Um exemplo de ação sustentável é a utilização de um sistema de climatização que proporcione conforto térmico atendendo às recomendações do MMA. Dentre elas destaca-se o sistema de água gelada através de *chillers* que permitem a termoacumulação.

2.2 TERMOACUMULAÇÃO COM CHILLERS

A Termoacumulação pode ser definida como o armazenamento de energia térmica em blocos de gelo ou tanques de água gelada. De acordo com Queiroz (2011), essa tecnologia pode ser utilizada por aqueles que possuem grande demanda energética em horários de maior tarifação (horário de ponta), permitindo a transferência da carga térmica no tempo, ou seja, produzir a carga térmica fora do horário de ponta para utilizá-la no horário de ponta, reduzindo assim os custos com energia elétrica.

Para realizar a termoacumulação, são utilizadas máquinas denominadas *chillers*, que são destinadas à geração de carga térmica. O *chiller* com ciclo de compressão a vapor possui circuito fechado, que consiste em evaporação, compressão, condensação e expansão conforme enumerado na Figura 1 - Ciclo de funcionamento do *chiller*, indicando a variação da pressão e da entalpia do processo (MMA, 2017).



Fonte: MMA (2017, p. 21)

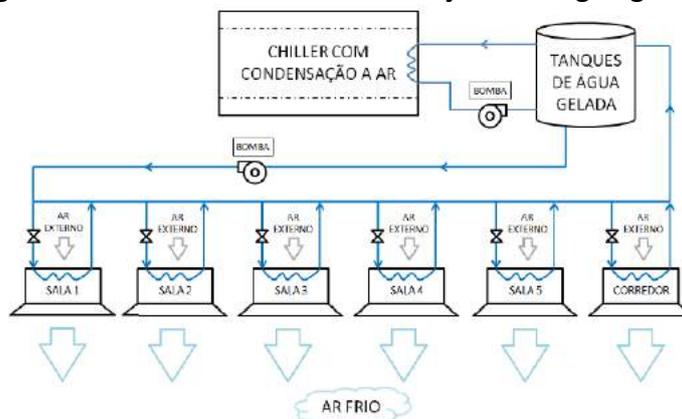
Existem diversas formas de se realizar a termoacumulação, havendo uma separação básica entre dois sistemas. Um sistema utiliza o acúmulo de água gelada e outro sistema utiliza gelo.

O sistema de termoacumulação com água gelada possui algumas variações de sua concepção, no entanto o sistema mais utilizado possui um reservatório com capacidade elevada para o armazenamento de água. A velocidade da água que entra e sai do reservatório é baixa para que seja garantida a separação por diferença de densidade entre a água gelada e a água quente, sendo a água quente aquela que retorna dos ventiladores denominados *fan-coils* (MMA, 2017).

A Figura 2 - Sistema de termoacumulação com água gelada apresenta uma das possíveis variações do sistema, ilustrando um *chiller* para resfriamento da água que será enviada para o reservatório de água gelada através de uma bomba. Outra bomba

é utilizada para enviar água gelada do reservatório aos equipamentos de ar no interior das salas.

Figura 2 - Sistema de termoacumulação com água gelada



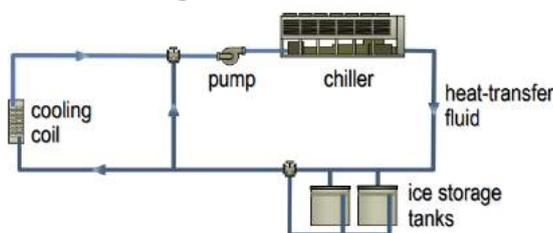
Fonte: Nazareth; Moura (2013, p. 9)

A instalação de um sistema de termoacumulação possibilita a redução da potência dos *chillers* e o valor dessa redução dependerá do método de produção da água gelada a ser acumulada, podendo ser total ou parcial. No método de carga total, os *chillers* são utilizados para produção da carga apenas por um período de tempo, quando a geração de frios não é necessária, e mantêm-se desligados durante a geração de frios. Já no método de carga parcial, os *chillers* funcionam geralmente de forma ininterrupta, armazenando a carga nos períodos de pouca ou nenhuma demanda e utilizando a carga armazenada para complementar a produção durante os períodos de maior demanda (MMA, 2017).

O sistema de termoacumulação utilizando água gelada possui, no entanto, algumas desvantagens quando o espaço e o peso são problemas na instalação. Devido ao grande volume do tanque de água, este sistema pode se tornar inviável. Como o gelo consegue fornecer 80kcal/kg de resfriamento, enquanto a água fornece apenas 8kcal/kg, a utilização de termoacumulação com gelo pode ser uma solução (KOBAYAKAWA, 2011).

A termoacumulação com gelo tem processo semelhante ao da termoacumulação com água, no entanto o *chiller* deve ser preparado para fazer gelo.

Assim como ocorre no sistema de água gelada, existem várias formas de realizar a termoacumulação com gelo, e uma delas é o *ice-bank*, que consiste em um tanque com serpentina enrolada em forma de espiral em seu interior. Por dentro da serpentina circula uma solução de água com etileno-glicol e por fora fica armazenada a água ou o gelo, que, neste caso, não é colocada em circulação. O *chiller* tem ajuste de temperatura duplo, permitindo um funcionamento para ciclo de carga (fabricando gelo) e um ajuste para o ciclo de queima (o gelo derrete para resfriar mais a água). Na Figura 3 - *Ice bank* podemos notar que o fluxo de água pode passar por dentro dos tanques de gelo (KOBAYAKAWA, 2011).

Figura 3 - Ice bank

Fonte: Trane (2012, p. 2)

O sistema de termoacumulação com gelo tem as vantagens de ocupar um menor espaço e ter menor peso, quando comparado com o sistema de termoacumulação com água gelada. No entanto, com a alteração da máquina para fabricação de gelo, ocorre uma perda no desempenho, que, de acordo com Kobayakawa (2011), é na ordem de 10%, ou seja, a termoacumulação com gelo possui maior necessidade de demanda e energia.

2.3 DEMANDA E ENERGIA

A termoacumulação é utilizada principalmente para reduzir a necessidade de contratação de demanda de energia e também para evitar o uso de cargas de alto consumo no período do horário de ponta. Para a ANEEL, conforme Resolução Normativa nº 414 de 09 de setembro de 2010, a demanda é definida como sendo a

média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kvar), respectivamente.

Em outras palavras, demanda significa a quantidade de energia que a concessionária deve ser capaz de fornecer para determinada instalação funcionar.

A contratação de demanda implica em elevados custos. No entanto, ao utilizar a termoacumulação, é possível mitigar tais custos, resultando na eficiência energética do sistema, sendo que todos os procedimentos devem ser realizados com sustentabilidade, visando sempre os cuidados com o meio ambiente.

2.4 MEIO AMBIENTE

Em 1987, um acordo chamado Protocolo de Montreal foi firmado por 197 países, e tratava de substâncias que destroem a camada de ozônio. Desde então, as preocupações com o meio ambiente cresceram e, em 1990, foi criado o Fundo Multilateral, proporcionando investimentos para redução de gases poluentes (MMA, 2017).

Em 2005, foi aprovado na 47ª reunião do Comitê Executivo do Fundo Multilateral um projeto para gerenciamento de *chillers* com o objetivo de apoiar tecnicamente o mercado na utilização de equipamentos mais eficientes e livres de substâncias que destroem a camada de ozônio (MMA, [s.d.]).

Recentemente, em 2015, um novo acordo foi firmado, conhecido como Acordo de Paris (COP21). Esse acordo teve participação de 195 países, que se comprometeram a reduzir as emissões de gases poluentes. (MMA, [s.d.]).

O MMA incentiva a realização de projetos de eficiência energética por meio de treinamentos e financiamentos. Para realização destes projetos são utilizados os parâmetros estabelecidos no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP, elaborado com incentivo da Organização para a Avaliação de Eficiência – EVO.

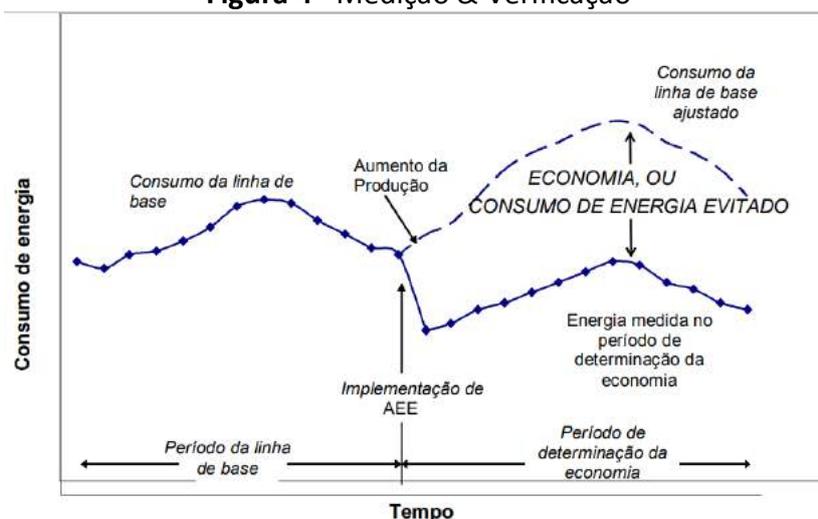
2.5 PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE PERFORMANCE – PIMVP

O PIMVP define os conceitos e opções para a determinação de economias de energia e de água com o objetivo de “aumentar os investimentos na eficiência energética e no consumo eficiente de água, na gestão da demanda, e nos projetos de energia renovável em todo o mundo” (EVO, 2012, p. 18).

Esse protocolo estabelece os critérios para Medição e Verificação (M&V), para determinar com segurança a real economia obtida. Para realizar a medição, o PIMVP sugere a comparação do consumo antes e depois de se implantar uma Ação de Eficiência Energética –AEE (EVO, 2012).

O PIMVP destaca também a importância em estabelecer corretamente as variáveis independentes, que são as variáveis que definem o consumo de energia (EVO, 2012). A partir da definição das variáveis independentes, deve ser realizada a elaboração da linha de base, que deve ser feita antes de realizar a AEE. A linha de base é uma estimativa de consumo do aparelho, que deve considerar também possíveis ajustes que possam afetar diretamente o consumo, como, por exemplo, um aumento ou uma redução de produção. Essa estimativa permite estipular o consumo “fantasma”, ou seja, determina qual seria o consumo se o aparelho ainda estivesse instalado (EVO, 2012).

A Figura 4 - Medição & Verificação - demonstra as medições realizadas antes e depois de uma AEE. O período da linha de base corresponde ao período de medição antes da AEE, em que foram definidas as variáveis independentes e o consumo da linha de base. Após realizar a AEE, no período de determinação da economia, foi feita a medição do consumo real juntamente com a estimativa do consumo da linha de base ajustado, considerando que houve aumento de produção logo após a implementação da AEE. Dessa forma, foi possível obter a economia ou o consumo de energia evitado.

Figura 4 - Medição & Verificação

Fonte: EVO (2012, p. 8)

De acordo com EVO (2012), para a verificação do resultado utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Economia} = (\text{Consumo ou Demanda durante o período da linha de base} - \text{Consumo ou Demanda durante o período de determinação da economia}) \pm \text{Ajustes}$$

Ainda de acordo com EVO (2012), por meio desses conceitos e procedimentos estabelecidos no PIMVP, é possível também estimar o consumo e a demanda de energia que seriam obtidos caso a AEE fosse realizada. Essa estimativa é realizada considerando a carga térmica necessária e a potência dos equipamentos, sendo possível, portanto, avaliar a viabilidade financeira da AEE.

2.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Para realizar o cálculo de viabilidade financeira de uma AEE, a ANEEL (2013) estabeleceu parâmetros por meio do guia Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, em seu sétimo módulo, sendo que o principal critério é a Relação Custo Benefício – RCB. O projeto é considerado viável quando os benefícios obtidos com a AEE são maiores que os benefícios que seriam obtidos com a expansão do sistema elétrico.

Neste guia são descritas as fórmulas que devem ser utilizadas para calcular a RCB, que em resumo são representadas pela fórmula da Figura 5 - Cálculo RCB. Para realização dos cálculos, o PROPEE estabelece que a “energia economizada, medida em MWh, e a redução de demanda no horário de ponta (posto tarifário ponta), medida em kW, são os principais indicadores quantitativos para projetos de eficiência energética” (ANEEL, 2013, p. 5).

Figura 5 - Cálculo RCB

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T}$$

CA_T	Custo anualizado total	R\$/ano
BA_T	Benefício anualizado	R\$/ano

Fonte: ANEEL (2013, p. 11)

Segundo a ANEEL (2013), a RCB norteia a avaliação da viabilidade econômica de um projeto de eficiência energética, sendo que o resultado deste cálculo deve ser menor ou igual a 0,8 (oito décimos) para que a AEE seja considerada viável economicamente.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi um estudo de caso, cujos objetos de estudo são o sistema de ar condicionado existente no bloco C do campus do UNIPAM e o projeto existente para implantação do sistema de ar condicionado nos blocos A, B, D, E, F, G, H, I e N. Segundo Appolinário (2012, p. 81), o estudo de caso consiste em analisar um único sujeito, e que normalmente é considerado como uma pesquisa descritiva “cuja finalidade é compreender intensivamente um fenômeno típico, presumindo-se que, posteriormente, a partir desse estudo, novas pesquisas possam ser realizadas, dessa vez com maior número de sujeitos”.

Ainda segundo Appolinário (2012, p. 8), este tipo de estudo pode ser classificado como qualitativo e exploratório, pois objetiva investigar um fato atual presente na vida real, e ainda destaque que “quando o nosso conhecimento acerca do fenômeno a ser investigado é por demais incipiente, convém realizar um estudo de caso para compreender melhor quais são as variáveis envolvidas, as características básicas do fenômeno etc.”

Para realização da pesquisa, inicialmente foi realizado o levantamento dos dados do projeto do sistema de ar condicionado implantado no bloco C do campus do UNIPAM, bem como do projeto proposto para os demais blocos (A, B, D, E, F, G, H, I e N), coletando as informações de quantidade de máquinas e a capacidade térmica de bloco. Também foram coletados os dados da central térmica de água gelada localizada na cobertura do bloco B.

Após o levantamento dos dados dos equipamentos, foram realizadas medições do funcionamento dos equipamentos instalados no bloco C, coletando os dados de temperatura de saída da água do *chiller*, capacidade demandada do funcionamento do *chiller*, potência elétrica e energia consumida pelo sistema. A partir dos valores obtidos, foi realizada a estimativa de consumo de energia elétrica após a implantação do sistema de ar condicionado nos demais blocos.

Posteriormente, foi feita a definição do melhor método de termoacumulação para o sistema, considerando os custos de implantação, operação e manutenção, a arquitetura física do UNIPAM, o impacto visual e o impacto ambiental. Para definição do método, foi elaborada uma planilha de análise de viabilidade financeira que leva em consideração o regime de operação do *chiller* e o custo com demanda e energia no

horário de ponta e fora de ponta da concessionária CEMIG. A planilha foi desenvolvida com base nos parâmetros do PIMVP e no PROPEE e preenchida com informações de placa dos equipamentos e com informações reais coletadas para determinação da demanda de energia real necessária e também do consumo. Assim foi possível determinar o retorno do custo benefício – RCB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em levantamento baseado no projeto do sistema de ar condicionado implantado no bloco C do campus do UNIPAM, bem como no projeto proposto para os demais blocos (A, B, D, E, F, G, H, I e N), foram obtidos os dados apresentados na Tabela 1. Cargas térmicas por bloco.

Tabela 1. Cargas térmicas por bloco

Bloco	Quantidade de equipamentos	Carga Térmica [TR]
A	9	240
B	5	99,15
C	52	126,3
D	59	140,65
E	55	155,05
F	99	220,85
G	103	245,95
H	102	234,3
I	80	193,4
N	104	240,5
Total	668	1896,15

Fonte: O autor (2018)

A central térmica de água gelada existente na cobertura do bloco B, conforme Figura 8 – Central Térmica Bloco B possui um *chiller* com capacidade térmica de 185 TR, além das bombas dos circuitos de água primário e secundário. Consta ainda espaço para instalação de mais um *chiller* de 185 TR e um de 90 TR e também estrutura para suportar até 100 toneladas de equipamentos para termoacumulação, conforme projeto estrutural.

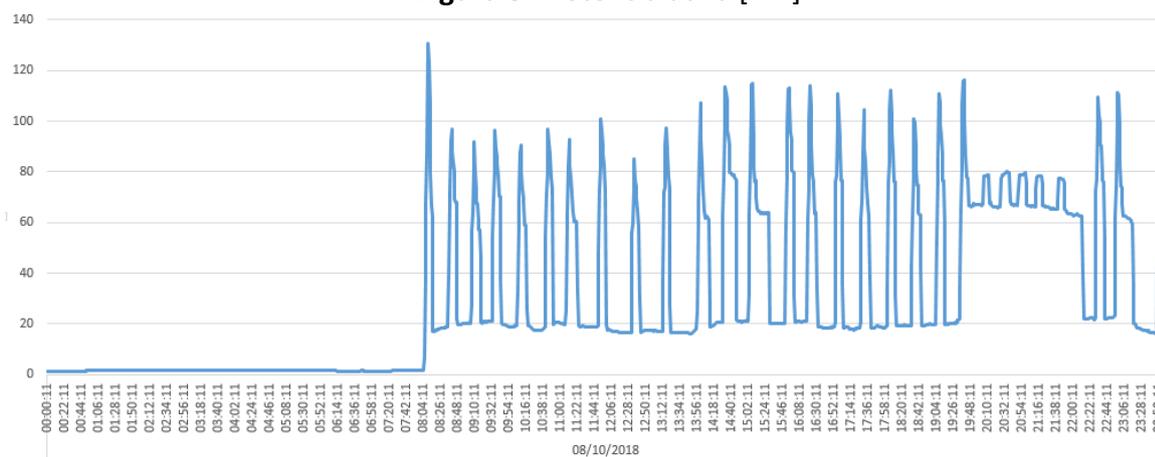
Figura 6 – Central Térmica Bloco B



Fonte: O autor (2018)

Na área onde se encontra o *chiller* existe uma subestação de energia onde foi instalado um analisador de qualidade de energia para obtenção dos dados relacionados à potência e consumo de energia elétrica do sistema de climatização existente. Neste local contém ainda um Controlador Lógico Programável – CLP, que controla o funcionamento do *chiller* e fornece dados da capacidade demandada do *chiller* e a temperatura de saída de água gelada, conforme demonstrado nas Figuras 7 - Potência ativa [kW], 10 - Capacidade demandada do *chiller* [%] e 11 - Temperatura da água na saída do *chiller* [°C].

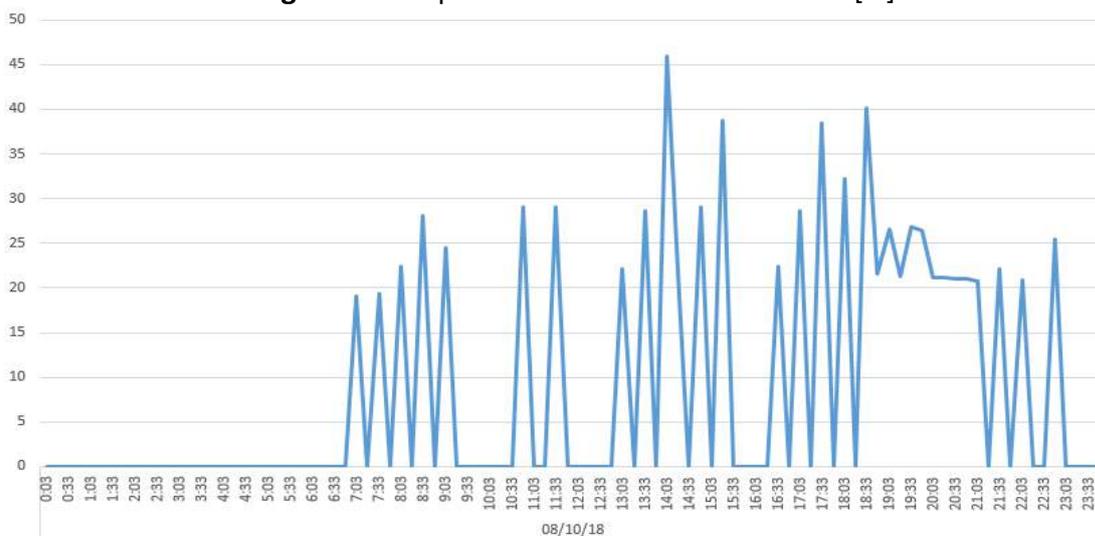
Figura 8 - Potência ativa [kW]



Fonte: O autor (2018)

A Figura 9 - Potência ativa [kW] representa a medição da potência ativa no dia 08.10.18 do sistema de climatização, sendo o *chiller* responsável por consumir os valores acima de 20 kW e as bombas de água primária e secundária consomem a potência de 20 kW. Isto pode ser observado nos horários em que o sistema fica desligado (de 23h às 7h) e nos demais horários, mesmo com desligamento do *chiller* o valor se mantém em 20 kW.

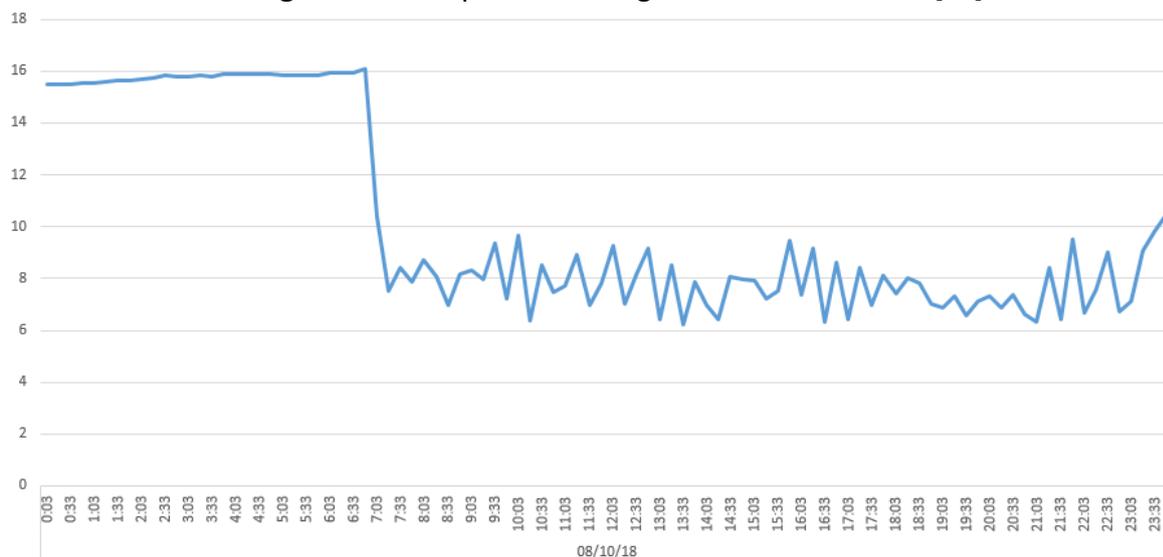
Figura 10 - Capacidade demandada do *chiller* [%]



Fonte: O autor (2018)

Na Figura 10 - Capacidade demandada do *chiller* [%] - está retratada a porcentagem da capacidade nominal do *chiller* utilizada para atender a temperatura de saída de água gelada. A partir deste gráfico, é possível calcular que o *chiller* utiliza em média 25% da capacidade nominal. Os picos acima de 25% podem ser supridos por termoacumulação.

Figura 11 - Temperatura da água na saída do *chiller* [°C]



Fonte: o autor (2018)

Já a Figura 11 - Temperatura da água na saída do *chiller* [°C] demonstra a temperatura de água gelada na saída do *chiller*, em que as variações estão dentro da faixa de histerese ajustadas no controlador, mantendo sempre em torno dos 7°C no horário de funcionamento do *chiller*.

Com base nas informações coletadas e apresentadas nos gráficos, foi possível verificar que a potência ativa, dada em kW (quilowatt), varia conforme a capacidade demandada do *chiller* e esta capacidade representa a variação de temperatura da água na saída do *chiller*.

De acordo com os dados coletados, e levando em conta a estrutura física, a arquitetura e os impactos ambiental e visual, foi considerado como melhor método o sistema de termoacumulação com gelo em circuito fechado, pois ocupa menor espaço, já que o gelo tem capacidade de carga térmica cinco vezes maior que a água, além de possuir menor peso.

Após realizar as medições e a definição do melhor método, foi elaborada uma planilha para realizar o cálculo de viabilidade financeira, ou seja, Relação Custo – Benefício (RCB) para implantar a termoacumulação no bloco C. A Tabela 2 – RCB demonstra o resumo dos cálculos, em que foram considerados a vida útil dos equipamentos de 20 anos, a taxa de desconto de 8% e o custo de implantação em R\$ 150.000,00.

Tabela 2. RCB Bloco C

Descrição	Valores
Custo anualizado	15.277,83
Benefício anualizado	33.267,68
RCB	0.459

Fonte: O autor (2018)

Para todo o sistema de ar condicionado hidrônico do campus, estima-se que a potência média utilizada após sua implantação seja de 1060 kW, com consumo de energia de 2000 MWh/ano. Com a implantação da termoacumulação, estima-se que a potência média será de 568 kW e o consumo de energia de 2433 MWh/ano. Considerando o mesmo tempo de vida útil, a mesma taxa de desconto e o investimento de R\$ 1.000.000,00, o RCB é representado na Tabela 3 – RCB campus.

Tabela 3. RCB campus

Descrição	Valores
Custo anualizado	101.852,21
Benefício anualizado	252.026,98
RCB	0.404

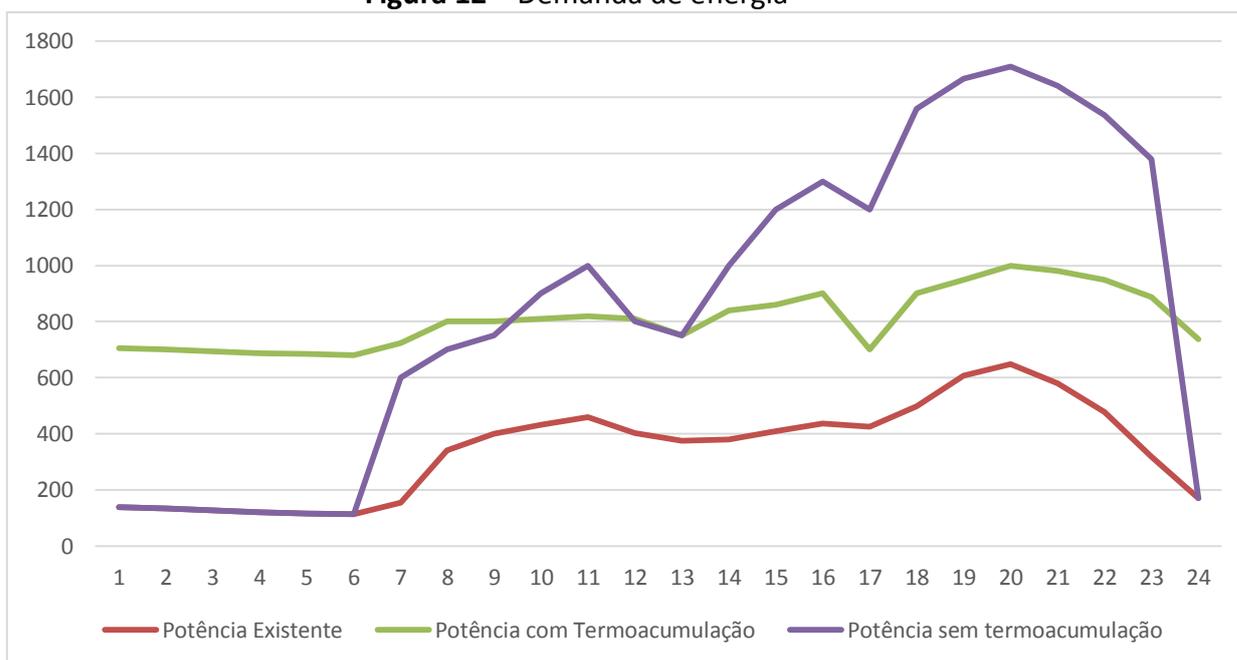
Fonte: o autor (2018)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu analisar a necessidade energética do campus do UNIPAM para implantação do sistema de ar condicionado, sendo avaliada a viabilidade de implantar a termoacumulação, que permite o armazenamento de carga térmica. Considerando a estrutura do campus e minimizando impactos ambientais e visuais, o método de termoacumulação com gelo foi definido como o mais recomendado, devido às suas vantagens em relação ao espaço e peso.

Após realizar os cálculos de viabilidade financeira, foi possível obter boa Relação Custo-Benefício (RCB). Conforme o PROPEE, o investimento é considerado viável caso os cálculos retornem um valor abaixo de 0,8. Dessa forma, ao obter o RCB de 0,459 para o bloco C e de 0,404 para todo o campus, foi possível concluir que a termoacumulação é viável e permite redução da demanda de energia. Assim, não será necessária a contratação de demanda.

A Figura 12 – Demanda de energia - ilustra tal viabilidade, apresentando a potência existente, a potência estimada após a implantação da termoacumulação e a potência estimada sem termoacumulação.

Figura 12 – Demanda de energia

Fonte: O autor (2018)

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE: Módulo 7 – Cálculo de Viabilidade**. 2013. 17 f. [S.l.]. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kK2bHDLPmo/content/ojfljkdasfbskd-vsvjbd/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-eficiencia-energetica%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_94kK2bHDLPmo%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2. Acesso em: 26 maio 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa n. 414 de 09 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, v. 177, p. 115-136. set. 2009.

APPOLINÁRIO, Fabio. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 12 maio 2018.

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente. **Ar condicionado: manual sobre sistemas de água gelada**. Brasília, DF: MMA, 2017. v. 1 (conceitos sobre *chillers* e sistemas de água

gelada). 109 p. Disponível em:

http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/gerenciamento_chillers/V1_Manual_Agua_Gelada.pdf. Acesso em: 03 nov. 2017

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente. **Projeto de gerenciamento de chillers.**

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protecao-da-camada-de-ozonio/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfc-pbh/projeto-de-gerenciamento-de-chillers>. Acesso em: 15 maio 2018.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Nota Técnica DEA 14/10: Análise da eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010 – 2019).** Rio de Janeiro: MME, 2010. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809_4\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809_4[1].pdf). Acesso em: 10 maio 2018

ELETROBRAS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento.** Rio de Janeiro: Eletrobras, 2005. 272 p. Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B75A3447D-B777-4597-80AA-8686AECB7A62%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 05 jun. 2016.

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION – EVO. **Protocolo de Medição e Verificação de Performance - PIMVP: Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água.** Tradução Fernando C. S. Milanez. Toronto, Canadá, v. 1. 2012. 125 p.

GEDRA, Ricardo Luís. **Análise de viabilidade financeira para obtenção de créditos de carbono em projetos de eficiência energética.** 2009, 113 f. Dissertação (Mestrado).

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-21072009-151500/pt-br.php>. Acesso em: 17 maio 2018.

KOBAYAKAWA, Fábio Akio. **Eficiência energética em ar condicionado e refrigeração através da aplicação da termodinâmica.** 2011. 59 f. Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica).

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011. Disponível em:

<https://slidex.tips/download/unesp-faculdade-de-engenharia-do-campus-de-guaratingueta-12>. Acesso em: 11 mar. 2018.

NAZARETH, Felipe Medeiros de; MOURA, Renato Cade. **Estudo de viabilidade econômica para a implantação de um sistema de ar condicionado utilizando a termoacumulação.** 2013. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica).

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico da

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em http://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-2_renato_cade_moura_e_felipe_medeiros.pdf. Acesso em: 12 maio 2018.

QUEIROZ, Patrícia Valéria Sathler de. **Mensuração do consumo de energia elétrica:** algoritmo para detecção de potenciais usuários da termoacumulação como alternativa para deslocamento de carga. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0913478_2011_cap_4.pdf. Acesso em: 12 maio 2018.

TRANE Air Conditioning Clinic. **Ice Storage Systems.** One of the Systems Series. 2012. 99 f. [S.l.].

ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO DE EMBALAGEM PRIMÁRIA EM UM LATICÍNIO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE TEMPOS E MOVIMENTOS¹

Luiza Dias Ferraz Gonçalves

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia de Produção do UNIPAM.

E-mail: luizaferraz@unipam.edu.br

Paulo Henrique Fernandes Caixeta

Docente do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

E-mail: paulohfc@unipam.edu.br

RESUMO: Em meio a um cenário que promove um intenso processo de globalização, é de extrema e de vital importância que as organizações que desejam se manter neste novo mercado competidor façam adequações em seus produtos e serviços e, com isso, sobrevivam às novas exigências do mercado. Dessa maneira, o presente estudo tem o objetivo de demonstrar, de forma esquematizada, a proposta de um estudo de viabilidade para a redução do tempo necessário para a realização da embalagem primária no processo de fabricação do Queijo tipo Gorgonzola no Laticínio Alfa. Para tanto, será realizada a utilização dos conceitos fornecidos pelo Estudo de Tempos e Movimentos, que servirão para evidenciar uma possível melhoria na produção destes produtos, bem como a atenuação de lesões originadas da realização de movimentos repetitivos realizados pelos colaboradores que atuam neste setor. Por meio da utilização dos conceitos de tempos e movimentos, pode-se perceber que havia um gargalo na produção, já que os colaboradores não conseguiam realizar o processo de embalagem do queijo tipo gorgonzola, fazendo com que houvesse um atraso nas entregas dos produtos aos clientes finais.

PALAVRAS-CHAVE: Padronização. Tempos e movimentos. Embalagem primária. Laticínio.

ABSTRACT: In the midst of a scenario that promotes an intense process of globalization, it is extremely important that organizations wishing to remain in this new competitive market adapt their products and services and thus survive the new demands of the market. In this way, the present study aims to demonstrate, in a schematic way, the proposal of a feasibility study to reduce the time required to make the primary packaging in the process of manufacturing Gorgonzola cheese in Dairy. In order to do so, we will use the concepts provided by the Study of Times and Movements, which will serve to evidence a possible improvement in the production of these products, as well as the attenuation of injuries originated from repetitive movements performed by employees working in this sector. Through the use of the concepts of times and movements, it can be seen that there was a bottleneck in the

¹ Trabalho apresentado na categoria de Apresentação Oral na área temática Engenharia de Produção do V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

production, since the collaborators could not carry out the process of packing the gorgonzola type cheese, causing a delay in the deliveries of the products to the final customers.

Keywords: Standardization. Times and movements. Primary package. Dairy.

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em meio a um cenário que promove um intenso processo de globalização, é de extrema e de vital importância que as organizações que desejam se manter neste novo mercado competitivo façam adequações em seus produtos e serviços e, com isso, sobrevivam às novas exigências do mercado. Para Moreira e Silva (2016), em virtude disso, as indústrias alimentícias têm buscado promover a redução de atividades desnecessárias, que não agregam valor aos seus produtos, oferecendo aos seus consumidores componentes funcionais que aumentem o nível de sua satisfação.

De acordo com Dutcosky (2007), a possibilidade de se aplicar novas tecnologias em alimentos funcionais é uma ideia muito lucrativa para a indústria de laticínios, já que nesse tipo de empreendimento podem-se utilizar matérias-primas de baixo custo associadas a componentes e maquinários que aumentem a produtividade da organização ao longo da cadeia produtiva.

Dessa maneira, a utilização dos conceitos propostos pelo estudo de tempos e movimentos tem como os objetivos permitir a redução dos esforços desnecessários ao executar uma operação; procurar habilitar e/ou capacitar os colaboradores em suas respectivas funções, de modo que se possam melhorar os seus postos de trabalho, bem como estabelecer normas para execução do trabalho, descobrindo métodos que venham proporcionar melhorias no processo produtivo (FIGUEIREDO; OLIVEIRA; SANTOS, 2011).

Nesse contexto, o presente estudo tem o objetivo de demonstrar, de forma esquematizada, a proposta de um estudo de viabilidade para a redução do tempo necessário para a realização da embalagem primária no processo fabricação do Queijo tipo Gorgonzola no Laticínio Alfa. Para tanto, será realizada a utilização dos conceitos fornecidos pelo Método de Tempos, que servirão para evidenciar uma possível melhoria na produção destes produtos, bem como a atenuação de lesões originadas da realização de movimentos repetitivos realizados pelos colaboradores que atuam neste setor.

A proposta de análise de viabilidade da redução do tempo no processo de embalagem primária proporcionada por este estudo demonstra, de forma eficiente, como a aplicação da Engenharia de Métodos em uma empresa do setor alimentício, mais especificamente em uma empresa de laticínios – empresa localizada na região mineira do Alto Paranaíba, que, por questões de confidencialidade da mesma, será nomeada no presente estudo como Laticínio Alfa – permite evidenciar uma influência que se mostra muito vantajosa para a integração da técnica de Tempos e Movimentos no processo de embalagens.

Os autores Peinado e Graeml (2007) evidenciam que a análise dos métodos (estudo dos movimentos) e dos tempos de trabalho têm papel central de determinar a

produtividade, ao envolver um controle na produção, de modo que isso auxilie na identificação da capacidade produtiva. Desse modo, se torna muito relevante a evidencição da análise de tempos e de movimentos nos processos produtivos, pois esta forma de visualização demonstra total importância no desempenho das tarefas em função da padronização, ao permitir, de maneira racional, a eliminação dos excessos e o equilíbrio do desempenho da cadeia produtiva.

2 ENGENHARIA DE MÉTODOS

O termo método pode ser evidenciado como o trajeto necessário para que se possa alcançar determinado resultado. O método, em si, é um instrumento que demonstra de maneira simplificada as atividades, metas e objetivos que reduzem tanto os esforços quanto custos de um processo produtivo (SELEME, 2009).

Logo, para Souto (2002), a Engenharia de Métodos tem a finalidade de estudar e analisar o trabalho de um operador, analisando-o de maneira sistemática, objetivando a elaboração de atividades práticas e eficientes que buscam a padronização da linha de produção. “Dentre as ferramentas utilizadas, o projeto de métodos se destina a encontrar a melhor forma para execução de tarefas, a partir do registro e análise de determinado trabalho, busca-se idealizar e aplicar métodos mais cômodos que conduzam maior produtividade”. (TARDIN *et al.*, 2013, p. 3).

O mesmo autor evidencia ainda que

o campo da engenharia dos métodos estuda a concepção e a seleção da melhor organização da atividade, ainda avalia o melhor método de produção, dos processos, do uso das ferramentas e equipamentos e das competências operacionais para produzir um produto. Com o objetivo de reduzir o tempo de produção para o mercado, garantir maior qualidade e padronização, e ainda facilidade e economia de meios na fase de industrialização e de produção (p. 3).

Em linhas gerais, a Engenharia de Métodos preocupa-se em estabelecer um método de trabalho com maior grau de eficiência, isto é, pretende-se otimizar os postos de trabalho com a realização de ajustes que proporcionem uma melhor utilização das máquinas, bem como o manuseio e a movimentação de materiais, a mudança de layout e implantação de layouts e a medição de tempos que auxiliam na racionalização dos movimentos desnecessários (PEINADO; GRAEML, 2007).

2.1 ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS

“O estudo de tempos, introduzido por Taylor, foi usado principalmente na determinação de tempos-padrão e o estudo de movimentos, desenvolvido pelo casal Gilbreth, foi empregado na melhoria de métodos de trabalho” (BARNES, 1977, p. 126). Por esse motivo, o estudo de tempos e movimentos tem o objetivo de desenvolver uma forma de produção que, com o menor custo possível, possa padronizar as atividades, determinar o tempo utilizado pelos colaboradores e o ritmo padrão necessário para atender toda a demanda operacional.

De acordo com o Maynard (1970), a utilização correta dos tempos adquiridos

pode ser interpretada como padrões para as operações, pois estabelecem as várias fases necessárias para que se consiga um processo de manufatura bem sucedida. Assim, para se considerar todos os parâmetros necessários são evidenciados através de parâmetros sistemáticos as operações realizadas no cotidiano do empreendimento. Venancio *et al.* (2015) demonstram que o estudo dos tempos em movimentos pode ser interpretado com base em cronometragens do local de trabalho, observando-o com base nas tarefas executadas e elementos mensuráveis que possibilitam a interpretação das atividades executadas na linha de produção.

Souto (2002) salienta que o método mais comum utilizado para realizar esse tipo de análise são as medições de cronoanálises acerca do trabalho humano. Segundo o mesmo autor, a obtenção de um tempo padrão final fornece informações mais precisas para as operações em análise. Para tanto, é necessário levar em consideração também fatores de tolerâncias como forma de identificar as necessidades pessoais, fadiga e esperas. A tabela 1 demonstra o fator de tolerância analisados para o cálculo do tempo-padrão.

Tabela 1 — Fator de Tolerância

Descrição do critério	% de tolerância
Há tolerância para necessidades pessoais	5
A postura é desajeitada	2
Não há levantamento de peso	0
A iluminação é pouco abaixo do recomendado	0
O trabalho é detalhado e de precisão	5
Os ruídos são relativamente baixos	0
Não são atividades complexas,	0
A monotonia é média	1
As operações são tediosas	2

Fonte: Adaptado de Peinado e Gramel (2004)

De acordo com a tabela de Peinado e Gramel (2004), foram analisadas as condições de trabalho dos operados. Essa tabela permite evidenciar o fator de tolerância que deve ser evidenciado para cada uma das operações que podem causar fadiga na execução da atividade desenvolvida pelo colaborador, ou seja, o fator de tolerância é o somatório dos dados informados na tabela 1. Para Moreira e Silva (2016), deve-se analisar o fator de tolerância levando em consideração todos os fatores que podem de alguma forma causar fadiga e prejudicar a execução das funções de um operário. Portanto, deve-se ter empatia e ter a percepção do colaborador que executa esta operação para que não haja a incidência de posturas inadequadas, causando falhas no processo.

2.2 POSTURAS INADEQUADAS

De acordo com Cheren (1992), as condições fornecidas aos funcionários podem colaborar para a execução de atividades que agregam valor ao processo produtivo, já

que, por estarem executando suas atividades com posturas inadequadas à função exercida, pode haver a incidência de lesões ou mesmo dores musculares decorrentes do esforço repetitivo. Além disso, a execução incorreta, por falta de instrução durante a fase de treinamento ou planejamento do projeto, as más condições do maquinário, dos equipamentos e dos postos de trabalho também podem influenciar significativamente na execução dessas tarefas.

Em contrapartida a esse fato, a elaboração de um redesenho dos postos de trabalho que leve em consideração as posturas de trabalho, bem como os esforços, a fadiga, as dores corporais, pode reduzir o índice de absenteísmo, ou seja, pode minimizar o percentual de afastamentos ocorridos por doenças ocupacionais impostas pelo trabalho (MOREIRA; SILVA, 2016).

Segundo Ilda (2005), a postura ideal para o trabalhador pode ser evidenciada quando o funcionário está na posição sentada, pois, nestes casos, a maior parte dos músculos posturais estão relaxados, deixando o trabalho fixado em uma bancada somente para dar estabilidade à cintura escapular. Outro fator analisado por este autor é que, do ponto de vista de análise quanto ao exercício muscular, pode-se levar em consideração que a posição sentada favorece com um baixo risco de algias, ou seja, dores musculares em determinada parte da coluna.

Marras (1997², *apud* MOREIRA; SILVA, 2016, p. 4) salienta que as cargas exercidas na coluna são sempre menores quando o colaborador está na posição sentada, “uma vez que, devido a elementos posteriores da coluna vertebral que formam uma carga ativa maior enquanto na posição ereta”, há o aumento da incidência de traumas musculares que podem influenciar de forma negativa o ambiente de trabalho. Entretanto, os mesmos autores informam ainda que, quando a atividade é realizada na posição fixa (ereta ou sentada), e sem que haja a locomoção do colaborador, torna-se necessária a elaboração de atividades laborais que servem como estimuladores ergonômicos para deixar o trabalho menos monótono e mecânico.

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica é caracterizada por Marconi e Lakatos (2004) como um esquema de caráter formal, de caráter reflexivo, que necessita de um conhecimento científico para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais sobre determinado assunto, fenômeno ou fato. Ainda, segundo Gil (2010), a pesquisa pode ser elaborada com base em estudos sistemáticos, disponíveis em métodos, técnicas e outros procedimentos científicos.

Dessa maneira, quanto à forma de abordagem, utilizará nesta pesquisa a abordagem quantitativa. A abordagem quantitativa foi utilizada para evidenciar a redução no tempo de embalagem do queijo gorgonzola, pois, para Richardson (1999), a pesquisa quantitativa é caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas.

² MARRAS, W. Biomechanics of human body. In: Salvendy, G. **Handbook of human factors and ergonomics**. 2 ed. Nova Iorque: John Wiley e Sons, 1997.

Mattar (2001) salienta ainda que a pesquisa quantitativa é usada para validar as hipóteses, tendo como base a utilização de informações estruturadas, com base em parâmetros estatísticos, que permitem a análise de um índice volumoso de casos representativos, ou seja, ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados.

Já quanto aos objetivos da pesquisa, tem-se uma pesquisa de caráter descritivo e exploratório. Para Malhotra (2001), a principal finalidade deste estudo é desenvolver, esclarecer e modificar a percepção das ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses que podem ser utilizadas para pesquisas em ocasiões futuras. Além disso, essa pesquisa permite também a visualização de situações ou alternativas para esclarecer e definir a natureza do problema.

O presente estudo utilizou como cunho principal a observação das informações fornecidas pela organização, que permitiram estruturar um estudo de caso em que será possível determinar a aplicação da Engenharia de Métodos em uma empresa do segmento de laticínios e aferir se há a viabilidade na implantação do projeto em prol da simplificação, da padronização, da produtividade e na redução de custos das operações.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nas etapas a seguir serão descritos os procedimentos utilizados para a realização da mensuração do processo de adequação e de padronização da embalagem primária do queijo gorgonzola.

4.1 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO

A produção do queijo gorgonzola tem início na recepção do leite, no qual é realizada uma coleta inicial do leite que é encaminhada a um laboratório para analisar se ele possui as especificações necessárias para dar sequência ao processo de fabricação do queijo. Em seguida, o caminhão é liberado para realizar o descarregamento do leite nos tanques. Caso o leite esteja fora das especificações, é encaminhado para outro setor realizar o reaproveitamento ou é feito o descarte do leite.

O leite, então, escoia nos tanques de quejomatic, que são os tanques de recepção onde são adicionados os aditivos para se fazer a homogeneização e coagulação da massa. Posteriormente, a massa é despejada nas formas para determinar a modelagem do queijo a ser fabricado. O queijo passa, então, por um processo de fermentação. Nesse processo são adicionadas bactérias e leveduras com a finalidade de solidificar as gorduras do leite, e transformá-lo no queijo.

Na salmoura, é onde ocorre o processo de “meia cura do queijo”. Nessa etapa ocorre a injeção de sal sobre as massas de queijo pré-fabricadas para que ele possa ser destinado à maturação, etapa onde as peças de queijo são colocadas em uma prateleira para que se possam conservar as propriedades físico-químicas do queijo, bem como a sua temperatura e umidade até que ele vá para a etapa seguinte, que é o

Natamax.

O processo de Natamax é o processo em que são inseridas as moléculas que darão início à formação da camada de “mofo” do queijo gorgonzola, e, depois de inseridas essas moléculas, as peças de queijo são destinadas à furação, em que uma máquina pneumática fazem os “furos” característicos do queijo gorgonzola. Em seguida, as peças são destinadas à maturação secundária, local onde são formadas as camadas de “mofo” nas peças de queijo. Essas peças são, então, separadas por lotes, por períodos de maturação, por grau de umidade.

Após a formação do mofo, as peças de queijo de determinado lote são encaminhadas para o processo para a embalagem primária, onde o queijo é cortado em dezesseis partes para que sejam efetuadas as primeiras embalagens do queijo. E, por fim, o queijo passa por uma segunda embalagem que une as dezesseis peças de queijo, já embaladas, em uma nova embalagem, em que o queijo passa a ter as suas especificações de saída, bem como o seu destino final. As peças finais são encaminhadas ao processo de expedição e são armazenados nos caminhões para serem encaminhados ao consumidor final.

O apêndice A demonstra, de maneira esquematizada, o processo produtivo de fabricação do queijo gorgonzola no Laticínio Alfa.

4.2 DESCRIÇÃO DO SETOR DE APLICAÇÃO DO ESTUDO

O estudo de tempos foi feito na etapa de embalagem primária do queijo gorgonzola. Foi cronometrada a rotina dos operadores, necessária para realizar a embalagem primária de um lote de queijo gorgonzola.

No processo de embalagem primária atuam sete colaboradores que efetuam a embalagem primária do queijo, seguindo o lote especificado no setor operacional da organização. No quadro 1, tem-se a quantidade de frações de queijo embaladas por lote.

Quadro 1 — Embalagens de queijos fracionadas por lote

Embalagens de queijos fracionadas por lote
Queijos por lote: 90 Queijos
Queijos fracionados: 16 frações
Total fracionado: $90 \times 16 = 1440$ frações

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

Para realizar os cálculos de tempos, foram realizadas medições do tempo da operação de embalagem primária (cronometrado). No caso em estudo, foram realizadas 10 medições e encontrado o valor N, que indica quantidade de medições a serem realizadas, como demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 — Processo de medições para o cálculo do fator ‘n’

PROCESSO DE EMBALAGEM PRIMÁRIA										
OPERAÇÃO	Tempo 1 (horas)	Tempo 2 (horas)	Tempo 3 (horas)	Tempo 4 (horas)	Tempo 5 (horas)	Tempo 6 (horas)	Tempo 7 (horas)	Tempo 8 (horas)	Tempo 9 (horas)	Tempo 10 (horas)
Embalagem	1,33	1,35	1,44	1,59	1,35	1,26	1,38	1,42	1,38	1,34
	maior	menor	amplitude(R)		z	d ²	er	x	n	
	1,59	1,26	0,33		1,96	3,078	0,05	1	9	

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

Posteriormente, foram realizadas novas nove medições, de acordo com “n” obtido no quadro 2, sendo que a amplitude obteve uma variação de 18 minutos, com o número de ciclos a serem cronometrados e, assim, encontrado o valor do tempo padrão por peça. O quadro 3 representa essas novas medições.

Quadro 3 — Cálculo do Tempo-padrão do processo de embalagem primária

TEMPO PADRÃO EMBALAGEM PRIMÁRIA									
OPERAÇÃO	Tempo 1 (horas)	Tempo 2 (horas)	Tempo 3 (horas)	Tempo 4 (horas)	Tempo 5 (horas)	Tempo 6 (horas)	Tempo 7 (horas)	Tempo 8 (horas)	Tempo 9 (horas)
Embalagem	1,27	1,34	1,45	1,25	1,20	1,37	1,35	1,40	1,59
	Média	Velocidade	TN	TOLERANCIA (18%)		Tempo-padrão (horas)			
	1,36	0,95	1,29	1,18		1,44			

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

O cálculo do tempo normal (TN) é realizado com base na multiplicação do tempo cronometrado (TC) pela velocidade (V) do operador em cada operação. Essa velocidade é determinada por quem está cronometrando o tempo (equação 1). Em que:

V (R) > 100% - Ritmo acima do normal

V (R) = 100% - Ritmo normal

V (R) < 100% - Ritmo abaixo do normal

Dessa maneira, o tempo normal é dado pela equação 1:

$$TN = TC \times V \quad (1)$$

O tempo padrão, então, é encontrado através da multiplicação do tempo normal (TN) pelo fator de tolerância (tol). O fator de tolerância pode ser definido em cada operação, se há tolerância pessoal, como necessidades fisiológicas, tolerância por fadiga, e tolerância por espera (equação 2). Usa-se a equação:

$$TP = TN \times (1 + Tol) \quad (2)$$

Onde:

TN= tempo normal

Tol= fator de tolerância

A partir da estruturação dessas informações, foi analisada a proposta de se realizar uma padronização no processo de fabricação do queijo tipo gorgonzola, ao substituir o processo de embalagem manual pela embalagem realizada por uma termoformadora.

Primeiramente, foi realizado o cálculo com a produção manual, em que foram considerados a quantidade de frações e queijos fabricados durante uma jornada semanal de 150 (7,5 horas produtivas x 7 colaboradores do setor), bem como o tempo médio gasto por embalagem e o valor gasto por cada colaborador R\$1.850,00 (incluindo salários, tributações e impostos do setor). A partir desses valores, pode-se chegar um valor de R\$12.950,00 de mão de obra mensal, sendo que sua capacidade média produtiva dos colaboradores é de 2,30 min. O quadro 4 demonstra os valores obtidos com a embalagem manual do queijo gorgonzola.

Quadro 4 — Análise da produtividade do processo manual de embalagem primária do queijo tipo gorgonzola

Manual			
Quantidade de queijos por lote	Frações em 1 queijo	Frações de Queijo por lote	Tempo médio para embalagem (min)
90	16	1440	2,3
Funcionários	Jornada de Trabalho (min)	Custo do Colaborador (R\$)	Valor Mensal com Colaboradores (R\$)
07	210	1.850	12.950

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

Após a verificação desses valores, foi realizada uma análise através de uma máquina termoformadora, que embala as frações de queijo de maneira automatizada, sendo necessária a presença apenas de 2 colaboradores no setor. O quadro 5 representa os valores adquiridos com realização das embalagens através da termoformadora.

Quadro 5 — Análise da eficácia do processo automatizado de embalagem primária do queijo tipo gorgonzola

Máquina Termoformadora				
Quantidade de Queijos por lote	Frações em 1 queijo	Frações de Queijo por lote	Capacidade de embalagens (embalagens/min)	(jornada*máquina)/ Frações
90	16	1440	60	24
Funcionários	Jornada de Trabalho (min)	Custo do Colaborador (R\$)	Valor Mensal com Colaboradores (R\$)	
02	60	1.850	3.700	

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

Por esse motivo, como forma de atender à demanda, foi realizada uma proposta da aquisição de uma máquina termoformadora que tem capacidade de embalar frações de queijo por minuto, ou seja, ela consegue embalar uma quantidade superior a 3 queijos por minuto. Entretanto, ela tem um valor elevado para sua

aquisição, custando em média R\$900.000,00. Por questões de confidencialidade com a organização, a máquina termoformadora não pode ser informada. Por esse motivo, foi realizada uma análise do *payback* para analisar o tempo necessário para obter esse investimento novamente. O quadro 6 representa os valores adquiridos nesta análise.

Quadro 6 — Análise do período de *payback* obtido com a compra do maquinário

Payback				
Valor da Máquina	Valor Médio da Fração	Quantidade de queijos para vender	Vendas de queijos por mês	Jornada por mês (horas)
R\$ 900.000,00	R\$ 18,00	3125	800	120
Valor Médio da Fração	Frações em 1 queijo	Valor médio de venda por queijo (R\$)	Valor médio de Vendas (R\$)	Tempo de Retorno
R\$ 18,00	16	288	230400	4 meses

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

A partir desse levantamento foi possível evidenciar que, com a venda de 3125 queijos, a empresa poderá adquirir o seu retorno sobre o investimento, ou seja, em um tempo inferior a 4 meses (equação 4), o Laticínio Alfa conseguirá obter o dinheiro utilizado para a aquisição desta máquina.

A equação 3 representa o cálculo retorno do investimento (RI) da divisão do valor do maquinário (VM), pelo valor médio de venda do queijo (VQ).

$$RI = \frac{VM}{VQ} \quad (3)$$

Já a equação representa o tempo de retorno (TI) sobre o investimento, através do levantamento das vendas de queijo mensal (VQM) e pelo valor médio de venda do queijo (VQ).

$$TI = \frac{VQM}{VQ} \quad (4)$$

Além disso, vale ressaltar que, durante essa análise, não se levou em consideração a demissão dos colaboradores, já que, por haver uma crescente flutuação na demanda, pode-se tornar necessária a migração de colaboradores de um setor da organização para outro, tornando desnecessária a demissão dos colaboradores sobressalentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da utilização dos conceitos de tempos e movimentos, pode-se perceber que havia um gargalo na produção, já que os colaboradores não conseguiam realizar o processo de embalagem do queijo tipo gorgonzola, fazendo com que houvesse um atraso nas entregas dos produtos aos clientes finais. Além disso, através da análise obtida no cálculo do tempo de retorno (TI) e retorno do investimento (RI), foi possível evidenciar, com base nessa proposta, uma forma de garantir a

padronização no tempo de entrega dos queijos tipo gorgonzola ao consumidor.

Outro fator evidenciado foi que, caso haja a necessidade de se realizar a transferência de colaboradores de um setor para outro, é possível fazer o remanejamento sem que isso influencie no período de *payback* da organização, já que, para garantir a eficiência desses cálculos, não se levou em consideração a demissão de colaboradores para obtenção do retorno sobre o investimento da aquisição termoformadora.

Sugere-se que, em pesquisas futuras, seja realizada uma análise ergométrica do processo de embalagem manual para garantir, com maior poder de exatidão, os benefícios que a termoformadora trarão tanto para o aumento da produtividade da organização quanto para a redução dos esforços repetitivos realizados pelos colaboradores do Laticínio Alfa.

REFERÊNCIAS

- BARNES, Ralph Mosser. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. 6. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.
- CHEREN, A. J. A coluna vertebral dos trabalhadores. **Revista Medicina de Reabilitação**, n. 31, p. 17-25, 1992.
- DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de Alimentos**. 2. ed. Curitiba: Champagnat, 2007.
- FIGUEIREDO, F. J. S.; OLIVEIRA, T. R. C.; SANTOS, A. P. B. M. Estudo de tempos em uma indústria e comércio de calçados e injetados LTDA. In: **Anais do XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP**. Belo Horizonte/MG, 2011.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- MAYNARD, B. H. **Manual de engenharia de produção**. São Paulo: Blücher, 1970.
- MOREIRA, J. P. S.; SILVA, A. A. S. Avaliação ergonômica do trabalho: uma análise do risco de lesões existentes no processo de expedição de um laticínio. In: **Anais do VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – CONBREPPO**, Ponta Grossa, PR, 2016.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UNICENP, 2007.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social**: métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

SELEME, R. **Métodos e Tempos**: Racionalizando a produção de bens e serviços. Curitiba: IBPEX, 2009.

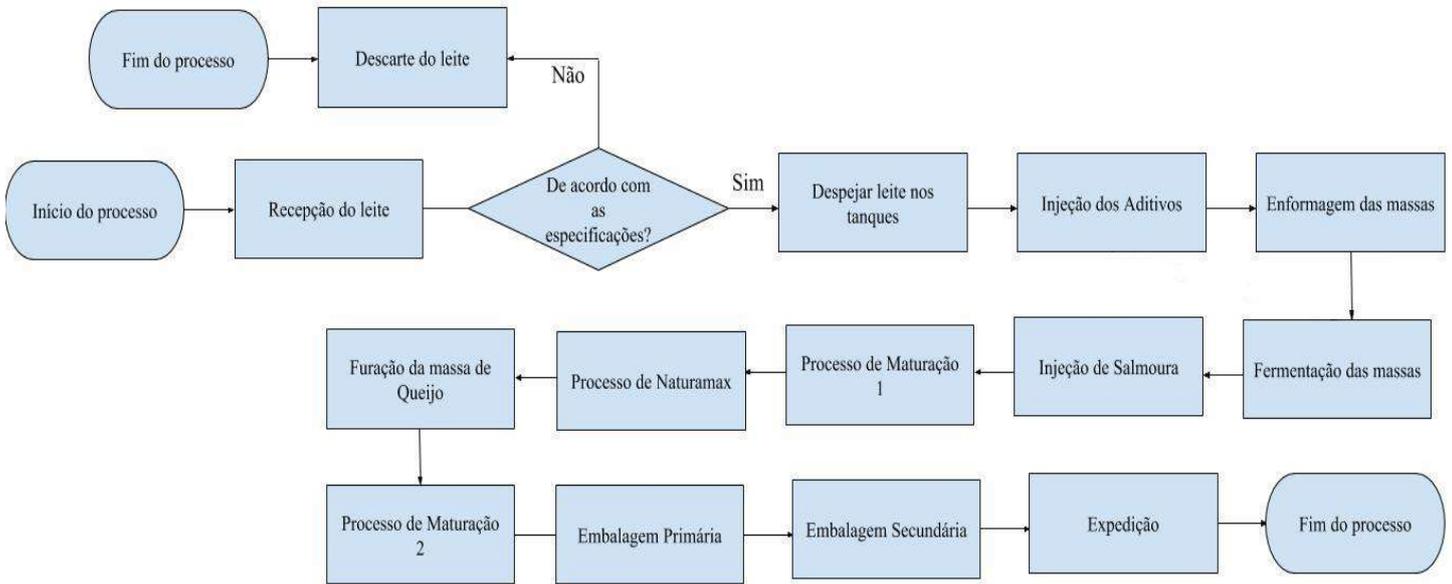
SOUTO, M. S. M. Lopes. **Apostila de Engenharia de métodos**. Curso de especialização em Engenharia de Produção – UFPB. João Pessoa, 2002.

TARDIN, M. G. *et al.* Aplicação de conceitos de Engenharia de Métodos em uma panificadora: um estudo de caso na panificadora Monza. In: **Anais do XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP**, Salvador/BA, 2013.

VENANCIO, A. M. *et al.* Estudo de layout e tempos e métodos no processo de produção de uma indústria de fabricação de carrocerias. In: **Anais do XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP**, Fortaleza/CE, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A: processo produtivo de fabricação do queijo tipo gorgonzola no Laticínio Alfa



ANÁLISE DO GRAU DE SATISFAÇÃO DOS CLIENTES RELACIONADO AO ATENDIMENTO EM UMA CHINELARIA¹

Deise Gomes Soares

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia de Produção do UNIPAM.
E-mail: deisegs1576@gmail.com

Célio Adriano Lopes

Professor orientador (UNIPAM).
E-mail: celio@unipam.edu.br

RESUMO: O artigo refere-se à análise do grau de satisfação dos clientes relacionado ao atendimento em uma chinelaria. Foram elaborados questionários (APÊNDICE A) com 10 questões fechadas através da plataforma digital Formulários do Google e disponibilizados via e-mail ou mensagem de texto conforme a preferência de cada um dos clientes fixos da empresa e para as pessoas que estiveram na loja durante a realização da pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Serviço. Cliente. Satisfação.

ABSTRACT: The article refers to the analysis of the degree of customer satisfaction related to the service in a chinelaria. Questionnaires (APPENDIX A) with 10 questions closed using a Google Forms digital platform were made available via e-mail or text message according to the preference of each of the company's fixed customers and the people who have been in the store during the research.

KEYWORDS: Service. Client. Satisfaction.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande crescimento econômico nos diversos setores e mercados, é de suma importância e necessidade que a empresa se sobressaia. Uma boa e prática maneira de deixar os clientes satisfeitos é oferecer-lhes um bom atendimento e atendê-los singular e educadamente, fazendo com que eles se sintam importantes e bem à vontade durante a compra.

A busca por novos clientes tornou-se, atualmente, uma questão importante e amplamente discutida no meio empresarial. Além de conquistar novos clientes, é preciso reconquistar e manter os antigos; e, com a expansão da concorrência de mercado no ramo dos calçados, é fundamental criar uma estratégia que faça com que a empresa se destaque em seu atendimento e que seus serviços e produtos sejam reconhecidos pela qualidade.

Os clientes, ao comprar um produto ou contratar um serviço, já possuem um

¹ Trabalho apresentado na área temática VII – Gerência de Produção do V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

pensamento sobre a qualidade deste, por meio de recomendações, de experiências passadas, de propagandas de um fornecedor de serviço, e de históricos passados. Após a compra, os clientes fazem suas avaliações por meio de comparações, tendo em vista as expectativas que tinham em relação ao atendimento recebido anteriormente e experiências passadas. Nessas avaliações, mesmo que feitas inconscientemente pelos consumidores, levam-se em consideração a realidade encontrada no momento da compra e o serviço prestado ou bens adquiridos (LOVELOCK; WRIGHT, 2001).

A princípio, todas as empresas procuram identificar as necessidades dos clientes, atuais ou futuros, com o objetivo de oferecer a eles produtos e serviços de qualidade; suprir todas as suas necessidades; buscar a sua satisfação; e visar a que ambas as partes da negociação saiam satisfeitas: quem está vendendo, por ter lucrado, e o cliente, por ter comprado um produto que atenda às suas expectativas.

De acordo com Candeloro e Almeida (2002), com a grande competitividade no mercado, percebe-se a importância de realizar um estudo detalhado para analisar a satisfação do cliente, pois ela é fundamental para qualquer empresa que pretenda atingir um bom posicionamento e manter-se no mercado.

O presente artigo visa a analisar o atendimento e o grau de satisfação dos clientes relacionado ao atendimento e ao serviço prestado em uma chinelaria. Além disso, este trabalho pretende, por meio de pesquisa do perfil e das necessidades do cliente, analisar o desempenho da empresa na visão dos clientes e propor possíveis melhorias a partir dos resultados encontrados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As empresas sempre visam ao sucesso. Elas têm, portanto, necessidade de estarem perpetuamente atentas às exigências dos clientes, pois eles são a base principal de todo processo organizacional. Para um melhor entendimento do que uma empresa necessita fazer para satisfazer seus clientes, faz-se necessário um embasamento teórico fundamentado nos seguintes temas: compra organizacional, tipos de compra, comportamento do consumidor, satisfação do cliente, marketing de relacionamento, mix de marketing, clientes e atendimento ao cliente.

2.1 COMPRA ORGANIZACIONAL

A compra organizacional pode ser definida como “o processo de tomada de decisão pelo qual as organizações identificam, avaliam e escolhem, entre as marcas e os fornecedores disponíveis, qual a melhor opção” (WEBSTER; WIND *apud* KOTLER; KELLER, 2006, p. 208).

Dessa forma, existem diferenças entre as compras que são feitas pelo mercado organizacional e as compras feitas por consumidores. O mercado organizacional é composto por empresas que fornecem bens e serviços para a produção de outros produtos ou serviços. Essas compras são feitas em quantidades bastante expressivas e, conseqüentemente, têm uma maior lucratividade. Por outro lado, as compras realizadas por consumidores são uma quantidade muito inferior ao

mercado organizacional (WEBSTER; WIND *apud* KOTLER; KELLER, 2006).

2.2 TIPOS DE COMPRA

As situações de compra envolvem riscos de intensidades variadas. O risco envolvido é menor quando a compra é de baixo valor e/ou rotineira. Utilizando critérios para classificar as situações de compra do mercado de negócios e a classificação tradicional, tem-se a tipologia das situações de compra (MACHLINE *et al.*, 2010).

Na recompra direta, os produtos já foram especificados, e os fornecedores e o procedimento, bem como as condições de fornecimento, já estão definidas. A recompra modificada ocorre em situações nas quais o comprador irá adquirir produtos comprados anteriormente, mas com algumas modificações. Já a compra nova e a compra de sistemas envolvem, normalmente, os profissionais que exercem algum papel na unidade de compra. Esses profissionais passam por estágios que envolvem desde a decisão de compra até a finalização do primeiro pedido. A compra de sistemas, porém, difere-se da compra nova por ser mais complexa, por ter uma avaliação e especificação diferentes da compra nova (MACHLINE *et al.*, 2010).

2.3 COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR

Com o mercado cada vez mais competitivo, é de suma importância que as empresas compreendam a relação dos consumidores com os produtos e as marcas, bem como cada tipo de cliente faz suas escolhas. Vários fatores influenciam no consumo de uma pessoa, tais como idade, renda, indicações de outras pessoas, preferências, gostos, formas de atendimento, formas de pagamento, além de outros fatores que afetam diretamente o comportamento do consumidor. Conhecendo o comportamento do consumidor, a empresa será capaz de antecipar as tendências e trabalhar de forma que os agrade.

Para Kotler (2000), o comportamento do consumidor é um estudo acerca de como as pessoas, grupos e organizações selecionam, compram, usam e descartam artigos, serviços, ideais ou experiências para satisfazerem suas necessidades e seus desejos. Para uma empresa, é necessário conhecer os hábitos de compra do consumidor e suas preferências.

2.4 SATISFAÇÃO DO CLIENTE

A satisfação do cliente é de suma importância, pois é por meio desta que o cliente se torna fiel à empresa. A satisfação do cliente traz inúmeros benefícios para a empresa, como, por exemplo, a volta para uma nova compra nova, a indicação a outras pessoas, uma boa referência é formada, entre outros. A empresa que se atenta à satisfação do cliente tende a permanecer mais tempo no mercado, já que estes são os responsáveis pelo crescimento e manutenção do mercado.

Segundo Kotler (2000), o cliente se satisfaz quando faz uma avaliação

positiva em comparação às expectativas que tinha antes de efetuar a compra. Para o autor, a satisfação dependerá da performance da oferta do bem/serviço em relação às expectativas do comprador. A satisfação está ligada à sensação de prazer ou de desapontamento que resulta da comparação do desempenho percebido em um produto em relações às expectativas do comprador.

Em relação a isso, Kotler e Keller (2006, p. 142) afirmam que, “se o desempenho não alcançar as expectativas, o cliente ficará insatisfeito. Se alcançá-las, ele ficará satisfeito. Se o desempenho for além das expectativas, o cliente ficará altamente satisfeito ou encantado”.

2.5 MARKETING DE RELACIONAMENTO

O mercado atual é exaustivamente competitivo. Os clientes estão cada vez mais exigentes, por isso o marketing de retenção vem ganhando espaço, pois é necessário não só conquistar novos clientes, mas também manter os atuais. De acordo com Kotler e Keller (2006), o principal objetivo do marketing de relacionamento é construir, a longo prazo, parcerias com clientes, funcionários e membros da comunidade financeira.

Para Kotler e Keller (2012), o marketing de relacionamento possui quatro componentes-chave, os quais são os clientes, os funcionários, os parceiros de marketing (canais, fornecedores, distribuidores, revendedores, agências), e os membros da comunidade financeira (acionistas, investidores, analistas). Desenvolver vínculos com eles requer uma compreensão de suas competências e recursos, necessidades, metas e desejos.

2.6 MIX DE MARKETING

De acordo com Kotler e Armstrong (2007), mix de marketing é um conjunto de ferramentas usado pela empresa para obter respostas desejadas sobre o mercado alvo. O mix de marketing facilita a influência que a empresa exerce sobre a demanda do mercado visado, tornando mais eficiente a captação do público-alvo.

O conjunto de variáveis são os 4 pp: produto, preço, praça e promoção. Esse conjunto consiste em inúmeras maneiras de satisfazer aos desejos do consumidor, já que um produto pode ter muitas características, tamanhos, cores, aparências e tecnologias. As marcas podem definir uma escolha; os serviços podem representar valores agregados ao produto; o preço pode variar de uma marca para outra e pode ser ajustado de acordo com a necessidade do consumidor (KLOTTER; ARMSTRONG, 2007).

Quadro 1 – 4 pp

Produto	Preço	Praça	Promoção
Variedade	Preço de tabela	Canais	Propaganda
Qualidade	Descontos	Cobertura	Venda de Pessoal
Design	Concessões	Variedade	Promoção de vendas
Características	Prazo de pagamento	Locais	Relações públicas
Nome da marca	Condições de financiamento	Estoque	
Embalagem		Transporte	
Serviços		Logística	

Fonte: Adaptado de Kotler e Armstrong (2007).

2.7 CLIENTES

Cliente refere-se também aos diferentes papéis no processo de compra que as pessoas assumem, tais como o especificador, o influenciador, o comprador, o pagante, o usuário, que compreende e assume diferente atitude no estímulo de marketing, de acordo com que o cliente se compromete e envolve com a compra, numa determinada situação ou contexto (MACHLINE *et al.*, 2010).

Segundo Kotler e Keller (2006), o valor percebido pelo cliente é a diferença entre a avaliação no qual se obteve em relação aos custos e benefícios relativos a um produto ou serviço e às alternativas percebidas.

2.8 ATENDIMENTO AO CLIENTE

O atendimento é considerado bom quando o vendedor faz um pouco mais do que o cliente espera, deixando surpreso com uma boa impressão deste estabelecimento, fazendo com que o cliente volte. Agora o sucesso de uma empresa é quando os clientes existentes dão referência aos clientes em potencial desta empresa.

O atendimento não pode ficar na mesma vida toda, tem que buscar sempre estar melhorando, fazendo com que o cliente se sinta melhor atendido do que da última vez. Para Cobra (2000), a razão do sucesso, em qualquer ramo de negócio, irá depender do grau de relacionamento da empresa com seus clientes. Essa relação está totalmente ligada a um bom atendimento ao cliente, de modo consequente a um serviço de qualidade.

3 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantar informações a respeito do assunto abordado, por meio de livros de autores renomados, artigos e *sites*. Dessa forma, classifica-se como uma pesquisa qualitativa. A presente pesquisa foi realizada em uma chinelaria localizada na cidade de João Pinheiro – MG.

Para a pesquisa, foram elaborados questionários (APÊNDICE A) por meio de uma plataforma digital que foram disponibilizados via e-mail ou mensagem de texto,

conforme a preferência de cada um, para os clientes fixos da empresa e para as pessoas que estiveram na loja durante a realização da pesquisa.

A coleta de dados foi iniciada no mês de agosto e finalizou no mês de setembro de 2018, totalizando quatro semanas, nas quais foram disponibilizados os questionários. No total, 90 pessoas, escolhidas aleatoriamente, que estiveram na loja durante esse período, receberam, via e-mail ou mensagem de texto, o link para acesso ao questionário. Dessas pessoas, 61 responderam ao questionário. Vale ressaltar que quem recebeu o link para o acesso ao questionário foram apenas os clientes que se propuseram a respondê-lo.

Segundo Mattar (2005), os métodos da pesquisa descritiva compreendem questionários, observações e entrevistas pessoais, que são utilizadas para descrever características de determinados grupos. Logo, a presente pesquisa realizada com o objetivo de analisar o grau de satisfação dos clientes em uma loja se enquadra no conceito da pesquisa descritiva.

Os dados, apresentados em forma de gráficos, foram obtidos por meio de questionários, aplicados aos clientes fixos e pessoas que estiveram presentes na loja durante o período da pesquisa. Os resultados encontrados são únicos e exclusivos para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa

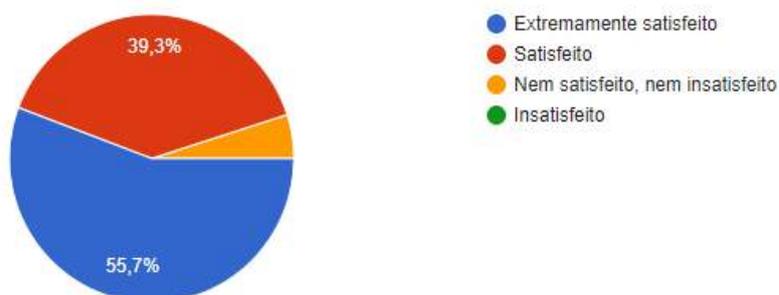
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para mensurar o grau de satisfação dos clientes da loja, aplicou-se um questionário por meio de um software do Google, que é um sistema de pesquisas online, em que os resultados obtidos revelam os aspectos pesquisados: na presente pesquisa, a avaliação dos serviços oferecidos por uma loja.

Dentre as pessoas que responderam ao questionário, 67,2% são do gênero feminino e 32,8%, do masculino. Já as idades das pessoas que responderam ao questionário foram a partir de 15 anos. De acordo com Sheth, Mittal e Newman (2001, p. 211), “talvez a idade tenha a influência mais abrangente sobre o comportamento do cliente”.

A terceira questão foi referente à satisfação dos clientes em relação ao atendimento da loja. O gráfico 1 revela os resultados.

Gráfico 1 – Resultados referentes à satisfação ao atendimento da loja



Fonte: Pesquisa de campo (2018).

O bom atendimento e relacionamento com o cliente são de suma importância, pois é por meio deles que uma empresa se mantém. Como mostra o gráfico 1, 55,7% das pessoas estão extremamente satisfeitas com o atendimento da loja e 39,3% das pessoas estão satisfeitas. Kotler e Keller (2006, p. 144) afirmam que

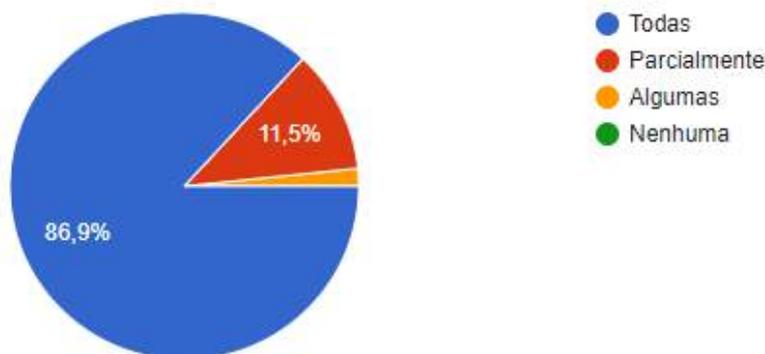
a empresa deve medir a satisfação com regularidade, porque a chave para reter clientes está em satisfazê-los. Em geral, um cliente altamente satisfeito permanece fiel por mais tempo, compra mais à medida que a empresa lança produtos ou aperfeiçoa aqueles existentes.

Logo, ter um bom atendimento e relacionamento com o cliente influencia diretamente na satisfação destes e, conseqüentemente, eles farão novas compras.

Deve-se atentar que 4,8% dos clientes disseram estar nem satisfeitos nem insatisfeitos. Embora esse número seja quase irrelevante, a loja deve buscar melhorar seu atendimento e atingir um maior nível de satisfação.

A quarta questão foi referente ao esclarecimento de dúvidas no atendimento, e os resultados encontram-se no gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados referentes ao esclarecimento de dúvidas durante o atendimento



Fonte: Pesquisa de campo (2018).

Os atendentes de lojas estão sempre trabalhando diretamente com as pessoas. Portanto, é por meio desses serviços diretamente prestados que seus clientes sairão satisfeitos ou não em suas necessidades e desejos. De acordo com o resultado, 86,9% das pessoas que frequentam a loja têm todas as suas dúvidas esclarecidas pelos atendentes da loja, ao passo que 11,5% das pessoas têm suas dúvidas parcialmente esclarecidas.

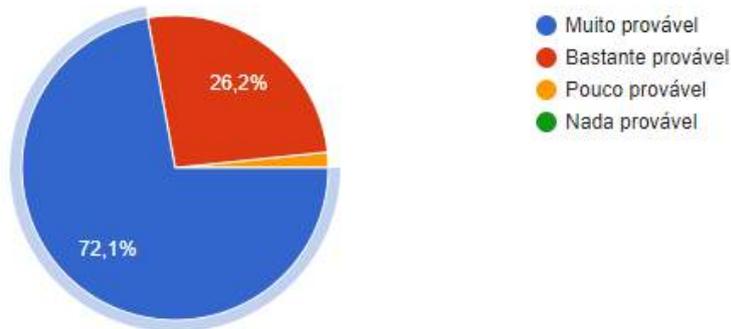
Conforme Kotler e Amostrong (2003, p. 225), a “variabilidade de serviço significa que a qualidade deles depende de quem fornece, bem como de quando, onde e como são fornecidos”; logo, entende-se que os serviços prestados pela loja são bons devido aos resultados da pesquisa serem satisfatórios.

Ainda que os resultados tenham sido bem satisfatórios, é de suma relevância procurar esclarecer todas as dúvidas dos clientes para que fiquem totalmente satisfeitos e o pequeno percentual de 1,6% passe a não existir.

A quinta questão foi referente à indicação da loja a outras pessoas. Os

resultados são apresentados a seguir:

Gráfico 3 – Resultados referente à probabilidade de indicar a loja para outras pessoas



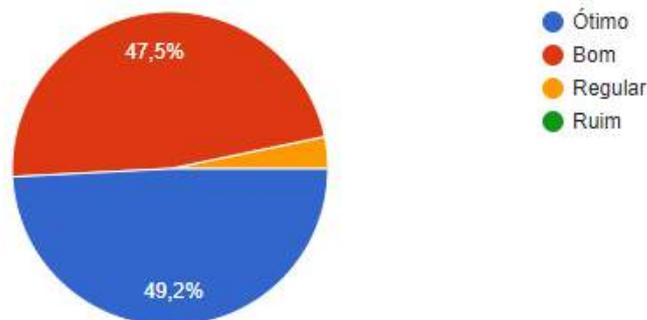
Fonte: Pesquisa de campo (2018).

Verificou-se que 72,1% das pessoas consideram muito provável a indicação da loja para outras pessoas, e outras 26,2% acham bastante provável. Sobre isso, Kotler e Keller (2006, p. 139) afirmam que os clientes “formam uma expectativa de valor e agem com base nela. A probabilidade de satisfação e repetição da compra depende de a oferta atender ou não à expectativa de valor”, ou seja, se o cliente se surpreende e se encanta, é muito provável que ele indique a loja para outras pessoas.

E quanto ao número de 1,7% das pessoas que responderam pouco provável de indicarem a loja, deve-se entender o porquê de não estarem totalmente satisfeitas com a loja e procurar melhorar nos quesitos observados, para que todos os clientes estejam satisfeitos com a empresa.

A sexta questão refere-se aos descontos da loja, como mostra o gráfico 4.

Gráfico 4 – Resultados referentes aos descontos da loja



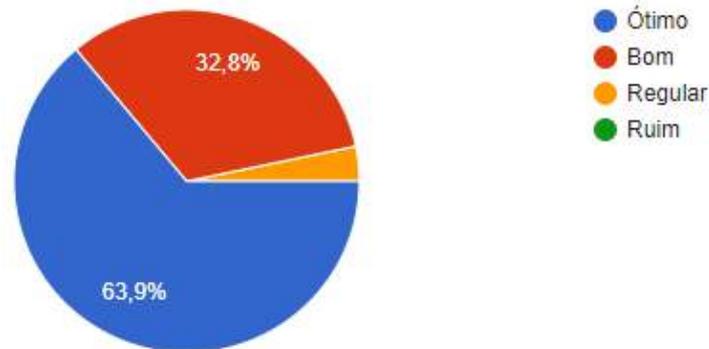
Fonte: Pesquisa de campo (2018).

De acordo com o resultado da pesquisa, 49,2% das pessoas classificam a forma de pagamento como sendo ótima e 47,5% como sendo boa. A loja oferece um desconto de 10% em compras à vista, em dinheiro; em compras não parceladas, no cartão. Em compras parceladas, não há descontos, de forma que permanece o preço real. Para melhorar o índice de satisfação quanto aos descontos, uma solução é dar um desconto maior nas compras à vista ou no cartão, e um desconto menor nas compras

parceladas.

A sétima questão foi referente às formas de pagamento da loja, conforme o gráfico 5.

Gráfico 5 – Resultados referentes às formas de pagamento

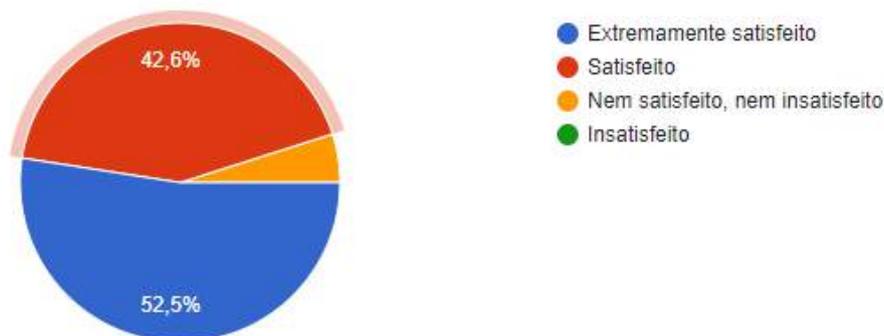


Fonte: Pesquisa de campo (2018).

De acordo com o resultado da pesquisa, 63,9% das pessoas acham ótimas as formas de pagamento e 32,8% das pessoas consideram-nas como boas, sendo que as formas de pagamento da loja são em dinheiro, em cartão de crédito ou de débito. As pessoas que votaram nas formas de pagamento como boas ou regulares (3,33%) possivelmente optariam pelo crediário, uma vez que muitos ainda não possuem cartões de créditos e/ou débito, nem o dinheiro para comprar no momento em que necessitam.

A oitava questão foi referente à qualidade dos produtos da loja, como mostra o gráfico 6.

Gráfico 6 – Resultados referentes à qualidade dos produtos



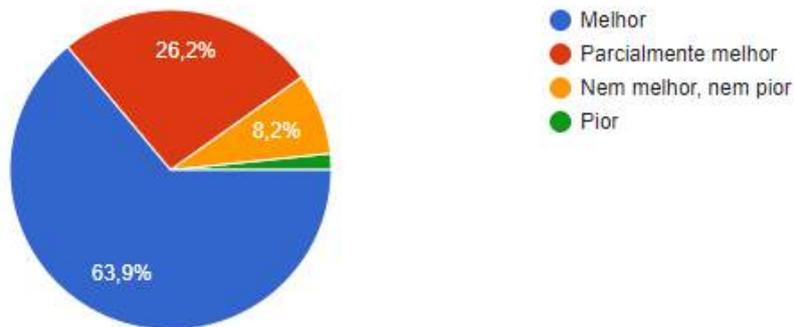
Fonte: Pesquisa de campo (2018).

Verificou-se que mais da metade dos entrevistados (52,5%) consideram estar extremamente satisfeitos com a qualidade dos produtos da loja. Vale ressaltar que Kotler (2000) expõe que a satisfação do comprador após a realização da compra depende do desempenho da oferta em relação às suas expectativas. Cerca de 42,6% dos entrevistados responderam que estão satisfeitos com a qualidade dos produtos. Ainda de acordo com Kotler (2000), muitas empresas estão focadas na alta satisfação

dos clientes, porque os consumidores que estiverem pouco satisfeitos estarão dispostos a mudar de estabelecimento quando receberem uma oferta melhor. Depreende-se que deve ser analisada a qualidade dos produtos para que o nível máximo de satisfação seja atingido.

A nona questão foi referente à variedade dos produtos em relação aos concorrentes, como mostra o gráfico 7.

Gráfico 7 – Resultados referentes à variedade dos produtos

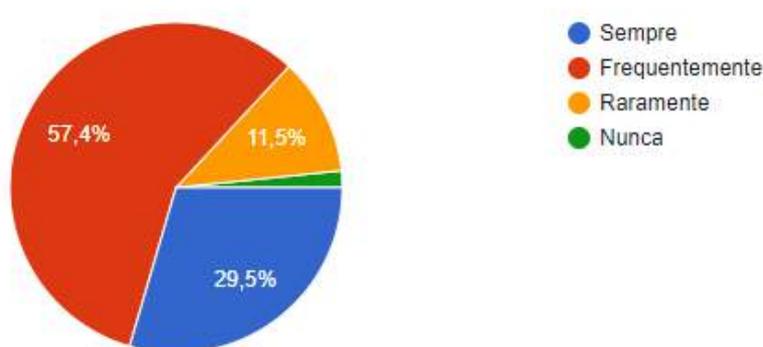


Fonte: Pesquisa de campo (2018).

Em uma das questões do questionário, obteve-se que 63,9% dos entrevistados acham que a variedade dos produtos oferecidos na loja é superior à dos concorrentes (outras lojas que vendem produtos da mesma marca da chinelaria). De acordo com Kotler e Armstrong (2003, p. 223), “uma organização que possui diversas linhas de produtos tem um mix de produtos. Um mix de produtos consiste em todas as linhas de produtos e itens que determinado vendedor põe a venda”. Deve-se atentar ao número de 8,2% das pessoas que consideram a variedade parcialmente melhor e ao número e ao 1,7% das pessoas que consideram a variedade pior em relação aos concorrentes. Uma maior variedade de produtos oferecidos na loja elevaria o nível de satisfação dos clientes.

A décima questão foi referente à frequência com que os clientes comprem na loja, como mostra o gráfico 8.

Gráfico 8 – Resultados referentes à frequência de compra na loja



Fonte: Pesquisa de campo (2018).

Verificou-se que 57,4% dos clientes compram produtos frequentemente, ou seja, a maioria dos entrevistados; e 29,5% adquirem os produtos sempre. Consoante Kotler e Armstrong (2003, p. 475), percebe-se que perder um cliente “significa perder mais do que uma única venda: significa perder toda a corrente de compras que o cliente faria ao longo de uma vida inteira de consumo”. Dessa forma, as empresas devem ter grandes ambições para que possam construir um bom relacionamento com o cliente; conseqüentemente, o cliente comprará os produtos com grande frequência e passará a comprar sempre na loja – caso estejam satisfeitos com os produtos e com o atendimento.

Quanto às pessoas que compram raramente, o atendente deve, no momento da compra, procurar satisfazer o cliente com o atendimento, pois um cliente encantado certamente voltará para compras futuras. Vale ressaltar que o percentual de 1,6% de pessoas que responderam que nunca compram na loja deve-se ao fato de o questionário ser aplicado para todas as pessoas que estiveram presentes na loja no período da entrevista; portanto, nem todas as pessoas já tinham comprado no estabelecimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir este trabalho, percebe-se a importância de administrar bem uma empresa, pois um dos pontos principais a serem ressaltados é a satisfação do cliente. O presente trabalho comprovou que é de suma importância e relevância o estudo da satisfação do cliente e de diversos outros aspectos, como a qualidade do produto, o preço e a variedade, pois tudo isso está diretamente ligado à satisfação. Portanto, é necessário acompanhar o grau de satisfação dos clientes, qualquer que seja o ramo do negócio, uma vez que, para o sucesso de uma empresa ser concreto, precisa-se de clientes.

O objetivo proposto foi alcançado, qual seja: analisar o atendimento e o grau de satisfação dos clientes no que diz respeito ao atendimento e ao serviço prestado em uma chinelaria, e, por meio de pesquisa do perfil e das necessidades do cliente, analisar o desempenho da empresa na visão dos clientes e propor possíveis melhorias a partir dos resultados encontrados.

Conclui-se, por meio deste estudo, que o grau de satisfação dos clientes da chinelaria foi bastante satisfatório. Mas, apesar disso, a loja tem que buscar uma melhoria contínua e sempre fazer análises de satisfação, para que possam corrigir possíveis falhas. Dessa forma, os objetivos propostos inicialmente, no trabalho, foram alcançados com um índice positivo em relação às respostas dos questionários.

REFERÊNCIAS

CANDELORO, R.; ALMEIDA, S. **Correndo pro abraço**: como vender mais, fazendo com que o cliente compre sempre. Salvador: Casa da Qualidade, 2002.

COBRA, M. **Marketing de serviço financeiro**. São Paulo: Cobra, 2000.

KOTLER, Philip. **Administração de marketing**: a edição do novo milênio. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Princípios de marketing**. 9. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Princípios de marketing**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de marketing**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de marketing**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LOVELOCK, C; WRICHT, L. **Serviços**: marketing e gestão. São Paulo: Saraiva, 2001

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing**: metodologia e planejamento. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MACHLINE, C.et al. **Gestão de marketing**. Coord. Sergio Alberto Dias. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

SHETH, J. N.; MITTAL, B.; NEWMAN, B. I. **Comportamento do cliente**: indo além do comportamento do consumidor. São Paulo: Atlas, 2001.

APÊNDICE — INSTRUMENTO PARA COLETA DE DADOS

Dados Pessoais

1. Gênero

() Masculino () Feminino

2. Idade

() 15-20 anos () 21-30 anos () 31-40 anos () Acima de 40 anos

Atendimento

3. Está satisfeito com o atendimento da loja?

() Muito satisfeito () Satisfeito () Nem satisfeito, nem insatisfeito () Insatisfeito

4. Nossos atendentes conseguem esclarecer todas as suas dúvidas?

() Todas () Parcialmente () Algumas () Nenhuma

5. Qual a probabilidade de indicar nossa loja para outras pessoas?

() Muito provável () Bastante provável () Pouco provável () Nada provável

Preço

6. Como avalia os descontos da loja?

() Ótimo () Bom () Regular () Ruim

7. Como avalia as formas de pagamento?

() Ótimo () Bom () Regular () Ruim

Qualidade do produto

8. Está satisfeito com a qualidade dos nossos produtos?

() Muito satisfeito () Satisfeito () Nem satisfeito, nem insatisfeito () Insatisfeito

9. Em relação aos nossos concorrentes como é a variedade dos nossos produtos?

() Melhor () Parcialmente melhor () Nem melhor, nem pior () Pior

10. Com qual frequência compra nossos produtos

() sempre () frequentemente () raramente () nunca

ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE FASES DA MISTURA ETANO/N-EICOSANE¹

Renata Barbosa

Graduanda do 6º período do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: renatabarbosavzt@hotmail.com

Suellen Cristine Meira

Mestranda em Engenharia Química pela FEQ-UFU.

E-mail: suellen.meira@hotmail.com

Ana Caroline Pereira Oliveira

Mestranda em Engenharia Química pela FEQ-UFU.

E-mail: a.caroline.oli@gmail.com

RESUMO: As equações de estado cúbicas são os modelos termodinâmicos mais aplicados para a correlação e predição do equilíbrio de fases a altas pressões. São utilizadas para calcular grande parte das propriedades necessárias para realizar os balanços de massa e energia, tanto para substâncias puras quanto para misturas. Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento do equilíbrio de fases da mistura etano e n-eicosane, utilizando as equações de estado de Peng-Robson e SRK. Para tanto, foram usados os softwares GPEC para obtenção de dados e o *ORIGIN* para plotar os mesmos em gráficos.

PALAVRAS-CHAVE: Equilíbrio químico. Etano. N-eicosane.

ABSTRACT: The cubic state equations are the most applied thermodynamic models for the correlation and prediction of phase equilibrium at high pressures. They are used to calculate most of the properties necessary to carry out mass and energy balances, both for pure substances and for mixtures. This work aimed to study the phase equilibrium behavior of the ethane and n-eicosane mixture, using the Peng-Robson and SRK state equations. For this purpose, the GPEC software for obtaining data and the *ORIGIN* were used to plot them in graphs.

KEYWORDS: Chemical equilibrium. Ethane. N-eicosane.

1 INTRODUÇÃO

Conhecer o comportamento de fase das misturas binárias de hidrocarbonetos superiores é de particular interesse na tecnologia da produção de petróleo e gás natural. Do ponto de vista científico, as misturas desse tipo têm aspectos que as tornam interessantes para estudar, uma vez que ocorrem desvios da ideia. Esse

¹ Trabalho na área temática de Termodinâmica – Engenharia Química –V Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 5 a 9 de novembro de 2018.

comportamento não ideal é causado principalmente por diferenças no comprimento da cadeia. Consequentemente, vários tipos de comportamento de fase devem ser esperados (PETERS; DE ROO; LICHTENTHALER, 1987).

O n-eicosano é um alcano linear que tem a fórmula empírica $C_{20}H_{42}$. Nesta composição têm-se 366.319 isômeros. O n-eicosano tem uma deficiente aplicação na indústria petroquímica, dado o seu elevado ponto de inflamação, o que o torna um combustível ineficiente (GUTMAN, 2008).

Etano é um composto químico de fórmula C_2H_6 . Ele é um alcano, isto é, um hidrocarboneto alifático. Em CNTP, etano é um gás sem cor e sem cheiro. Ele é o mais simples hidrocarboneto saturado contendo mais de um átomo de carbono. Etano é um composto de importância industrial, pela conversão do mesmo em etileno. Em escala industrial, é produzido a partir do gás natural e do refino do petróleo. (SAFFIOTI, 1968).

O sucesso da simulação de processos de separação depende da precisão da modelagem termodinâmica do equilíbrio de fases. As equações de estado cúbicas são os modelos termodinâmicos mais aplicados para a correlação e predição do equilíbrio de fases a altas pressões e estão disponíveis nos principais simuladores de processos. São utilizadas para calcular grande parte das propriedades necessárias para realizar os balanços de massa e energia, tanto para substâncias puras quanto para misturas, dentre elas destacam-se as composições e as densidades das fases líquida e vapor, além das entalpias e entropias das correntes. A precisão do cálculo do equilíbrio de fases com as equações de estado é representada pelos parâmetros de interação binária das regras de mistura aplicadas, que são as relações que expressam a dependência com a composição dos parâmetros das diferentes equações de estado (ARAUJO, 1997).

Utilizando Peng-Robson e SRK como equações de estado, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento do equilíbrio de fases da mistura etano e n-eicosano. Utilizou-se o software GPEC para obtenção de dados e o *ORIGIN* para plotar os mesmos em gráficos. Após isso, realizou-se um estudo desses resultados com comparação bibliográfica.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 EQUILÍBRIO DE FASES

A habilidade de se entender, modelar e prever o equilíbrio de fases se faz necessária para o projeto de processos de separação industrial. O equilíbrio de fases e a modelagem termodinâmica estão no coração dos projetos de processos químicos (SANDLER, 1994).

Segundo Prausnitz, Lichtenthaler e Azevedo (1999), a correlação entre o equilíbrio de fases e a termodinâmica foi estabelecida há mais de um século por J. W. Gibbs. É importante destacar que as composições de equilíbrio entre duas fases são, em sua maioria, muito diferentes entre si. Devido a essas diferenças nas composições, existe a separação das misturas. Essa separação pode ser feita por meio de destilação, extração e de outras operações de contato entre fases (PRAUSNITZ; LICHTENTHALER;

AZEVEDO, 1999).

2.1.1 Campo experimental

Muitos dados de equilíbrios de fases vêm sendo obtidos por meio de pesquisas experimentais com o intuito de melhorar a representação, principalmente em simulação, dos processos.

O Estado de Equilíbrio de um sistema é essencial na Termodinâmica. Isso se dá devido à dissipação de gradientes do sistema ou as forças motrizes que causam transferências nos processos espontâneos que ocorrem na natureza. A natureza precisa do equilíbrio depende tanto do tipo de sistema quanto das restrições impostas ao sistema pelas suas vizinhanças imediatas e seu recipiente - volume fixo ou temperatura constante (SANDLER, 1999).

As características gerais do estado de equilíbrio são: i) não varia com o tempo; ii) o sistema é uniforme (isto é, sem gradientes internos de temperatura, pressão, velocidade ou concentração), ou é composto por subsistemas uniformes; iii) todo o transporte de calor, massa, ou trabalho entre o sistema e suas vizinhanças é zero; iv) a taxa líquida de todas as reações químicas é nula. Com tempo suficiente o estado de equilíbrio é sempre alcançado em um sistema fechado sem transferências de massa, calor ou trabalho através de suas fronteiras. Para sistemas abertos, dependendo da natureza da interação entre sistema e vizinhanças, o estado de equilíbrio também pode ser alcançado (SANDLER, 1999).

2.2 EQUAÇÃO DE ESTADO: SRK E PENG-ROBSON PARA MISTURAS.

A equação de estado, também chamada de relação P-v-T, relaciona as variáveis de estado permitindo a obtenção de qualquer variável em função de duas variáveis de um determinado estado. De acordo com Rojas (2008), o cálculo das propriedades de uma mistura utilizando a equação de estado de Peng-Robinson pode utilizar a regra de combinação clássica de Van der Waals para avaliar o parâmetro da mistura. Essa regra leva em consideração o potencial de combinação em pares de cada espécie através de uma constante empírica de interação binária k_{ij} .

As propriedades termodinâmicas podem ser estabelecidas pelo uso da equação de estado cúbica de PENG-ROBINSON (1):

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)+(v-b)} \quad (1)$$

onde:

$$a(Tc) = 0,45724 \frac{R^2 Tc^2}{Pc} \quad (2)$$

$$a(T) = a(Tc) \alpha(T_R, \omega) \quad (3)$$

$$b = 0,0778 \frac{RTc}{Pc} \quad (4)$$

$$\alpha^{\frac{1}{2}} = 1 + K_m \left(1 - T_R^{\frac{1}{2}} \right) \quad (5)$$

$$K_m = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2 \quad (6)$$

$Z_c=0,307$

Na Equação (1) P, V e T representam a pressão, o volume molar e a temperatura absoluta, R é a constante dos gases e "a" e "b" são os parâmetros da equação, relacionados com a força de atração intermolecular e volume das moléculas, respectivamente.

Para estender o uso das equações de estado para misturas de componentes, adota-se a mistura como sendo um pseudo componente puro nas mesmas condições de P e T. A constante da equação, para a mistura (a_m), foi relacionada com a constante "a" dos componentes puros pela regra de mistura clássica e por uma regra de mistura dependente da composição. Nesta última (Equação (8)), a dependência da composição está diretamente relacionada com os parâmetros binários K_{ij} e K_{ji} o que não ocorre na regra de mistura clássica, Equação (7).

$$a_m = \sum_i \sum_j x_i x_j (a_{ii} a_{jj})^{\frac{1}{2}} (1 - K_{ij}) \quad (7)$$

$$a_m = \sum_i \sum_j x_i x_j (a_{ii} a_{jj})^{\frac{1}{2}} (1 - x_i K_{ij} - x_{ji}) \quad (8)$$

A Equação (7) representa a constante média da composição da mistura obtida pela regra de mistura clássica proposta por van der Waals em 1890, já a Equação (8) é uma regra de mistura empírica, contendo dois parâmetros binários (K_{ij} e K_{ji}) dependentes da composição, proposta por Stryjek e Vera (1986).

A equação SRK foi proposta por Soave (1972) como um melhoramento da equação de estado de Redlich-Kwong (REDLICH; KWONG, 1949). Desde que foi proposta em 1972, esta equação se estabeleceu entre as EdEs mais utilizadas em simulação e modelagem termodinâmica de processos pela indústria em geral, juntamente com a equação Peng-Robinson. As equações de SRK se dão por:

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{nc} N_i b_i$$

$$a(T) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nc} N_i N_j \sqrt{a_i \varphi_i(T)} \sqrt{a_j \varphi_j(T)} (1 - k_{ij})$$

$$b_i = 0,08664 \frac{RT c_i}{P c_i}$$

$$a_i = 0,42748 \frac{(RT c_i)^2}{P c_i}$$

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a(T)}{V(V + b)}$$

$$\varphi_i = \left[1 + (0,480 + 1,574\omega_i - 0,176\omega_i^2) \left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_{ci}}} \right) \right]^2$$

Tanto para SRK quanto para Peng-Robson, temos o termo k_{ij} que representa um parâmetro de interação binária entre os componentes i e j. Numa mistura, sua

determinação deve ser feita para cada par de componentes i e j , utilizando-se para isto dados experimentais de equilíbrio do sistema binário correspondente. Os parâmetros k_{ij} têm como função corrigir os desvios da idealidade apresentados por cada par de componentes da mistura, de modo a se obter um melhor ajuste da equação aos dados experimentais.

Em sua pesquisa, Gegerowicz *et al.* (2001) comprovaram de forma qualitativa que para misturas de hidrocarbonetos usa-se K_{ij} e L_{ij} igual a zero. No entanto as moléculas de etano e n -eicosane diferem consideravelmente em tamanho. Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987) estimaram os valores para ambos os parâmetros de interação binária para SRK, conforme a Tabela 01.

TABELA 01: Parâmetros de Interação binária por Peters

Temperatura	K_{ij}	L_{ij}
450 K	0,0453	0,0377

Fonte: Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987).

2.3 PARAMETROS DE INTERAÇÃO BINÁRIA DE MISTURA K_{ij} e L_{ij}

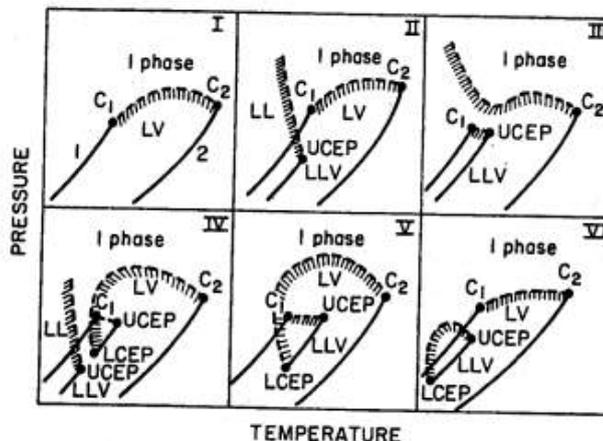
Os parâmetros de interação binária (K_{ij}) são de extrema importância nas predições do equilíbrio de fases entre hidrocarbonetos em misturas contendo dois componentes. Tais valores auxiliam na determinação do comportamento de misturas para as quais ainda não existem dados experimentais. O estudo do comportamento de tais compostos na mistura permite um melhor conhecimento das propriedades termodinâmicas no equilíbrio de fases antes mesmo de serem realizados experimentos (BARROS *et al.*, 2015).

Os valores de K_{ij} influenciam diretamente no comportamento das equações de estado cúbicas e, portanto, no valor dado por essas equações. Tais parâmetros podem ser determinados a partir de simulação, utilizando equações, pela combinação de dados experimentais, por pacotes das bibliotecas dos softwares utilizados e também em tabelas fornecidas por livros ou outros documentos. Estudos mostram que a escolha destes parâmetros deve ser de acordo com cada equação utilizada, assim, existe uma relação de valores de parâmetros K_{ij} para a equação de Peng-Robinson e outros valores a serem utilizados para a equação SRK (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Assim, a busca de dados experimentais e a escolha correta dos parâmetros a serem utilizados na simulação são de extrema importância para o bom resultado do estudo. Permitindo, então, um melhor conhecimento das propriedades termodinâmicas em equilíbrio de fases.

2.4 EQÍLIBRIO FASES DE MISTURAS

A classificação de misturas de fases é explicada por Prausnitz, Lichtenthaler e Azevedo (1999). O mesmo divide o equilíbrio de fases de misturas binárias em seis grupos/ modelos que estão demonstrados na Figura 01.

FIGURA 01: Modelos Equilíbrio de fases



Fonte: PRAUSNITZ; LICHTENTHALER; AZEVEDO (1999).

É importante ressaltar que estes modelos levam em conta as regras de misturas de Vander Walls, que prediz praticamente todos os equilíbrios de fases de misturas binárias.

2.5 ETANO

O etano é um hidrocarboneto gasoso alifático saturado, inflamável, incolor e inodoro. É o segundo membro da série dos hidrocarbonetos alcanos (parafinas). Tendo como ponto de fusão $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ e ponto de ebulição é de $-89\text{ }^{\circ}\text{C}$. O mesmo é encontrado no petróleo, gás natural e em gases de instalações de coque, além da obtenção através da adição de hidrogénio ao etileno (RODRIGUES, 2012).

O etano é usado principalmente para aquecimento sendo utilizado na indústria química para produção de etanol, acetaldeído, acetato de vinila, cloreto de etila, dicloroetano, estireno, polietileno entre outros. Na indústria metalúrgica, tem sido utilizado em tratamento térmico de metais. Também vem sendo usado como gás refrigerante com o intuito de desenvolver temperaturas criogênicas em sistemas de refrigeração, quando em pequenas quantidades pode ser utilizado na preparação de misturas padrão para calibração de instrumentos analíticos (RODRIGUES *et al.*, 2012).

2.6 N- EICOSANE

O n-eicosane é um alcano com a fórmula química $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$, o mesmo possui 366.319 isômeros constitucionais. Tem pouca utilidade na indústria petroquímica, já que seu alto ponto de fusão faz dele um combustível ineficiente (PUBCHEM COMPOUND, 2004).

O n-eicosane (o isômero estrutural de cadeia reta do icosano) é o composto mais curto encontrado nas ceras de parafina usadas para formar velas. O tamanho, estado ou inatividade química do deste não o exclui dos traços que suas contrapartes alkane menores possuem. É uma molécula não polar, incolor, quase não reativa, exceto quando queima; é menos denso que insolúvel em água. Sua característica não-polar significa que só pode realizar uma ligação intermolecular fraca (forças

hidrofóbicas / van der Waals). A transição de fase deste a uma temperatura moderada faz dele um material candidato a mudança de fase, ou PCM, que pode ser usado para armazenar energia térmica e controlar a temperatura (PUBCHEM COMPOUND, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito da melhor compreensão do estudo e organização da obtenção de resultados, foi conveniente a divisão dos materiais e métodos empregados neste trabalho em etapas, que serão apresentadas a seguir:

3.1 ETAPA 1

Este primeiro passo se deu por meio da pesquisa bibliográfica, com o intuito de entender as equações de estado cúbicas e a ligação das mesmas com os modelos termodinâmicos para a correlação e predição do equilíbrio de fases a altas pressões.

Neste mesmo passo fez-se a pesquisa com a intenção de determinar os parâmetros de Kij e Lij na literatura para fazer uma analogia entre o uso destes ou a exclusão nas equações cúbicas de estado, uma vez que, no presente trabalho, fizeram-se simulações com os dois métodos.

3.2 ETAPA 2

Esta etapa se deu exclusivamente pela obtenção de dados no programa GPEC 3.2.1 BETA dos gráficos de fases globais para compostos etano e n-eicosane para as equações de estados cúbicas/modelos termodinâmicos: Peng-Robson e SRK com Vander-Walls.

3.3 ETAPA 3

A partir dos dados dos gráficos de fases globais para compostos etano e n-eicosane dados pelo programa GPEC 3.2.1 BETA, tanto quando se usou os parâmetros Kij e Lij quanto quando se fez a exclusão dos mesmos, desenvolveram-se os gráficos destes dados obtidos no software e dados experimentais por Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987) no programa *Origin* com o intuito de estudar as diferenças dos dados experimentais e simulados.

3.4 ETAPA 4

Nesta penúltima etapa, discutiram-se os resultados dos gráficos obtidos segundo bibliografia desenvolvida e foi feita a definição do modelo de equilíbrio químico segundo Prausnitz.

3.5 ETAPA 5

Fizeram-se as conclusões quanto ao uso ou não dos parâmetros de interação entre os dois compostos Kij e Lij, além da eficiência do software GPEC 3.2.1 BETA quanto aos

dados tabelados do mesmo e os dados experimentais da bibliografia.

3.6 ETAPA 6

Conclusões da pesquisa bibliográfica desenvolvida (dados experimentais) e comparação com os resultados modelados neste presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme já descrito neste trabalho, utilizou-se K_{ij} e L_{ij} como 0 seguindo as instruções de Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987), Peters (1991) e Gregorowicz (2001). Usando o *software* GPEC obtiveram-se para n-icosane e etano os dados, conforme a Figura 02:

FIGURA 02: Dados GPEC para os compostos estudados

ETHANE				n-EICOSANE			
T _c [K]	305.3200	ac [bar·m ⁶ Kmol ²]	6.0480	T _c [K]	768.0000	ac [bar·m ⁶ Kmol ²]	160.7214
P _c [bar]	48.7200	b [l/mol]	0.040536	P _c [bar]	11.6000	b [l/mol]	0.428248
z _c [l/mol]	0.160172	m	0.525412	z _c [l/mol]	1.692165	m	1.551292
ω	0.09949			ω	0.90688		

Fonte: Dados da pesquisa.

Estes mesmos dados foram apresentados por Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987), conforme especificados na Tabela 02, mostrada a seguir.

TABELA 02: P_c, T_c e ω, por Peters

ELEMENTOS	Etano	n-icosane
T _c (J)	305,33	767,00
P _c (MPa)	4,8717	1,1170
ω	0,0908	0,9065

FONTE: Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987).

Através dos dados obtidos no GPEC e fazendo uma análise dos dados experimentais de Peters (1991), desenvolveram-se as Tabelas 03 e 04, que são a comparação de UCEP (temperatura consoluta superior) e LCEP (temperatura consoluta inferior).

TABELA 03: Comparação GPEC x Peters – UCEP

UCEP	GEPEC	PETERS
Temperatura (K)	307,34	309,0
Pressão (bar)	50,4757	52,25

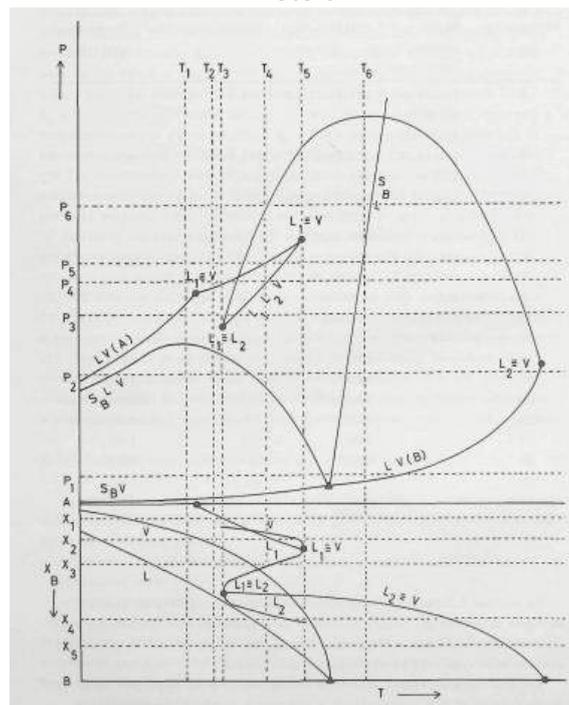
TABELA 04: Comparação GPEC x Peters – UCEP

LCEP	GEPEC	PETERS
Temperatura (K)	306,0822	306,5
Pressão (bar)	49,1105	49,2

Através destes dados obtidos, pode-se observar que os valores são bastante parecidos, o que dá credibilidade aos resultados do GPEC. Porém é válido destacar que utilizaram-se os parâmetros K_{ij} e L_{ij} iguais a zero no GPEC e Peters (1991). Por mais que o autor tenha definido esses parâmetros variando-os através das temperaturas iniciais, o mesmo obteve dados considerando os parâmetros iguais a zero.

Pode-se levar em consideração, também, que não há grande distinção entre os dados da equação de SRK e Peng-Robson. Peters (1986) obteve um modelo para a mistura binária etano/n-eicosane. A figura 03 mostra o gráfico obtido pelo mesmo.

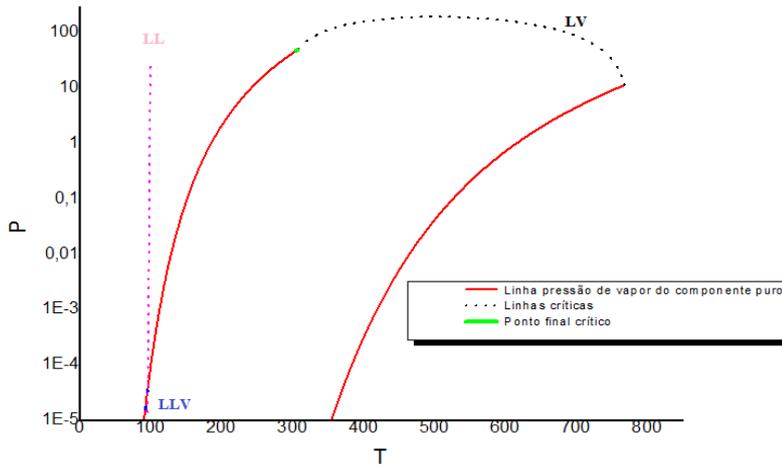
FIGURA 03: Gráfico do diagrama global de fase da mistura etano/n-eicosane segundo Peters



Fonte: PETERS (1986).

Nas Figuras 04 e 05 têm-se os gráficos globais da mistura etano/n-eicosane, plotados utilizando o Software Origin. Na primeira (Figura 04), considerando os parâmetros k_{ij} e l_{ij} zero e, na segunda (Figura 05), considerando os valores dados por Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987), que são para k_{ij} e l_{ij} , respectivamente, 0,0453 e 0,0377.

FIGURA 04: Gráfico Origin T e P para os compostos etano e n-eicosane – SRK (parâmetros 0)

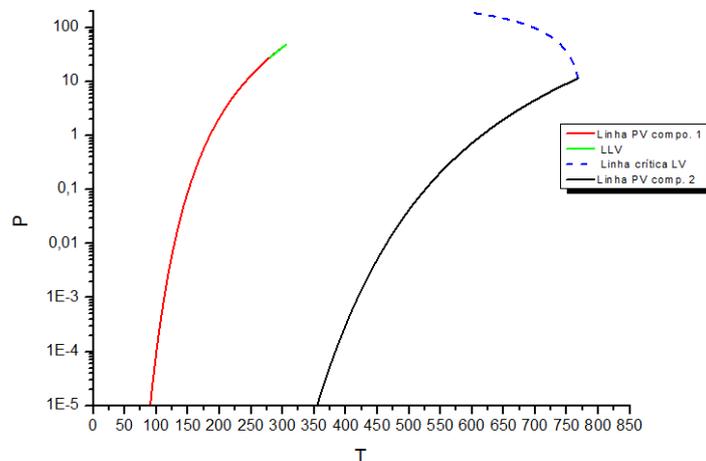


Através da visualização dos gráficos, foi possível chegar à conclusão de que a mistura dos compostos etano e n-eicosane é do tipo IV, segundo os modelos de Prausnitz, Lichtenthaler e Azevedo (1999) já mostrados neste trabalho. Foi possível chegar a esse resultado analisando algumas características e observando os gráficos obtidos, além de, também, ser dado pelo GPEC.

A projeção P-T para misturas tipo IV tem a linha crítica que começa no ponto crítico de vapor do ponto menos volátil termina Em um ponto final crítico inferior (LCEP) onde ele se conecta à linha trifásica. A linha trifásica é bastante curta e termina em temperaturas e pressões mais elevadas em um UCEP. Uma região de imiscibilidade líquido-líquido a temperaturas inferiores a temperatura crítica vapor-líquido do componente mais volátil também é apresentada em Tipo IV (ROWLINSON; SWINTON, 1982).

Usando K_{ij} e L_{ij} , respectivamente, 0,0453 e 0,0377 (PETERS; DE ROO; LICHTENTHALER, 1987), fez-se o diagrama global pelo GPEC que é apresentado pela Figura 05 utilizando como equação de estado SRK.

FIGURA 05: Gráfico Origin T e P para os compostos etano e n-eicosane – SRK (parâmetros: $k_{ij} = 0,0453$ e $l_{ij} = 0,0377$)



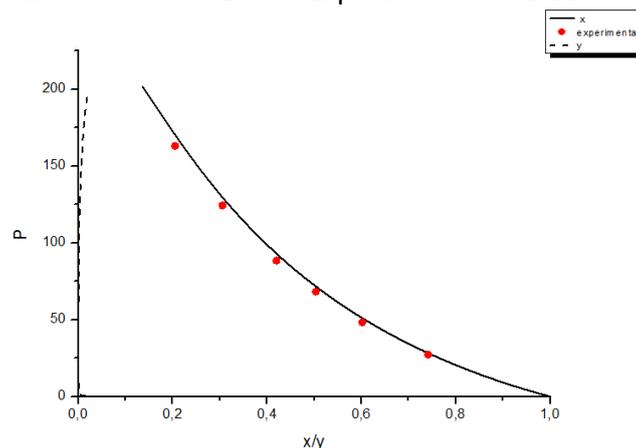
O programa GPEC fez a análise do tipo de mistura dos compostos etano e n-eicosane segundo os modelos de Prausnitz, Lichtenthaler e Azevedo (1999), e foi definido como tipo III. As misturas tipo III possuem duas curvas críticas distintas. Neste tipo III, uma curva crítica começa a partir do ponto crítico do componente puro com a temperatura crítica mais alta e se estende a alta pressão. A outra curva crítica começa a partir do ponto crítico do outro componente com a temperatura crítica mais baixa e se estende até o UCEP no final de uma linha trifásica (ROWLINSON; SWINTON, 1982).

Fixando a temperatura de 450 K, usando Kij e Lij, respectivamente, 0,0453 e 0,0377 (PETERS, 1987), plotou-se no *Origino* gráfico (Figura 06) de PXY com n-eicosane dos dados do GPEC e fez-se comparação com os dados experimentais na literatura por Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987), que se encontram na tabela 05. Vale destacar, também, que se usou SRK como equação, assim como na literatura.

TABELA 05: Dados experimentais para T= 450 K, PETERS (1987)

PRESSÃO (Mpa)	PRESSÃO (Bar)	COMPOSIÇÃO ETANO	COMPOSIÇÃO n-EICOSANE
16,310	163,10	0,7945	0,2055
12,426	124,26	0,6945	0,3057
8,840	88,40	0,5800	0,4200
6,825	68,25	0,4967	0,5033
4,831	48,31	0,3980	0,6020
2,726	27,26	0,2588	0,7412

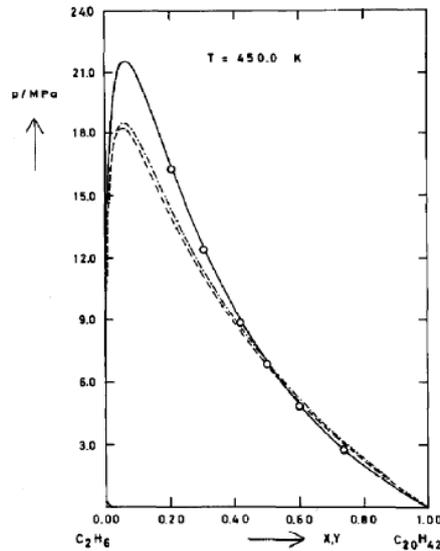
FIGURA 06: Gráfico: Dados Experimentais X Dados GPEC



FONTE: Origin, 2017.

Através da Figura 06, podemos perceber que tanto para os dados do GPEC quanto para Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987), obtivemos uma curva com pontos parecidos quando a temperatura foi fixada e usando os valores de Kij e Lij.

Em seu trabalho, Peters, De Roo e Lichtenthaler (1987) fizeram um gráfico pxy com os dados experimentais. O mesmo está representado na Figura 07.

FIGURA 07: Dados Experimentais Peters

Fonte: PETERS (1987)

As curvas completas na Figura 07 representam a seção calculada de P , x , y com dois parâmetros de interação binária, as curvas tracejadas são aquelas com apenas um parâmetro de interação binária e as curvas pontilhadas são os P , x , y , seções para as quais não foram utilizados parâmetros de interação binária. É possível chegar à conclusão de que o Soave-Redlich- equação de estado de Kwong (SRK) sem aplicação de interação binária os parâmetros apenas descrevem qualitativamente os dados experimentais P , x . Isso se dá porque o ajuste com os parâmetros de K_{ij} e L_{ij} são válidos e importantes.

Pode-se observar, por meio de comparação das Figuras 06 e 07, que os dados experimentais e simulados (GEPC) são consistentes.

5 CONCLUSÕES

(i) Para a mistura etano/*n*-eicosane, não se pode considerar k_{ij} e l_{ij} iguais a zero por serem hidrocarbonetos com cadeias muito distintas em relação ao número de carbonos.

(ii) Seguindo os modelos de Prausnitz (1999), esta mistura binária estudada pode ser considerada como tipo III, quando se leva em consideração os parâmetros de interação binária.

(iii) Os dados obtidos no GEPC são equivalentes aos dados experimentais buscados na literatura.

(iv) Usando k_{ij} e l_{ij} como zero da diferença do valor experimental, então para este composto não se pode considerar a regra de Vander Walls sem ajuste da interação binária.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. E. **Estudo do Equilíbrio de Fases para Sistemas Óleo Vegetal / Dióxido de Carbono Empregando a Equação de Peng-Robinson**. Tese (Doutorado em Engenharia

de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1997.

BARROS, Kayo S. Arvelos *et al.* Determinação de parâmetros binários para compostos naftênicos. **VIII Congresso Brasileiro De Termodinâmica Aplicada**. 2015. Aracaju – SE.

GEGOROWICZ, J. *et al.* Prediction of Liquid-Liquid-Vapor Equilibria in Asymmetric Hydrocarbon Mixtures. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 40, p.444-451. 2001.

GUTMAN, Ivan. The chemical formula C_nH_{2n+2} and its mathematical background. **The teaching of mathematics**, Vol. XI, 2, p. 53–61, 2008.

OLIVEIRA, Jansen Dantas; SILVA, Douglas do Nascimento; OLIVEIRA, Humberto N. M.; CHIAVONE-FILHO, Osvaldo. Determinação de parâmetros binários para compostos naftênicos. **2º Congresso Brasileiro De P&D Em Petróleo & Gás**. 2003. Rio de Janeiro – RJ.

PETERS, C.J. **Phase behavior of binary mixtures of ethane+n-eicosane and statistical mechanical treatment of fluid phases**. Dutch Efficiency Bureau – Pijnacker. p.01 -188. 1986.

PETERS, C.J.; DE ROO, J.L.; LICHTENTHALER, R.N. Measurements and calculations of phase equilibria of binary mixtures of ethane + eicosane. Part 1: vapour + liquid equilibria. **Fluid Phase Equilibria**, 65, 135-143, 1987.

PRAUSNITZ, J. M.; LICHTENTHALER, R. N; AZEVEDO, E. G. **Molecular thermodynamics of fluid phase equilibria**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

PUBCHEM COMPOUND. **USA**: National Center for Biotechnology Information. 16 Setembro 2004. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8222#section=Top>. Acesso em: 03 out. 2018.

REDLICH, O.; KWONG, J. N. S. On the thermodynamics of solutions. V. An equation of state. Fugacities of gaseous solutions. **Chem. Rev.**, v. 44, p. 233-244, 1949.

RODRIGUES, A. *et al.* **Etano**. 2012. Disponível em: <<http://quimica.colband.net.br/files/2012/09/wanda-1c3-Etano.pdf>>. Acesso em: 03 out 2018.

ROJAS, R. La ciencia de la información em el contexto de las ciências sociales y humanas. **Revista de Ciência da Informação**, v.9, n.4, ago. 2008.

ROWLINSON, J. S.; SWINTON, F. L. **Liquids and Liquid Mixtures**. 3rd Ed. Butterworths, London: 1982.

SAFFIOTI, Waldemar. **Fundamentos de Química**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.

SANDLER, S. L. **Models for thermodynamic and phase equilibria calculations**. v. 52. New York: Marcel Dekker, 1994.

SANDLER, S. L. **Chemical and engineering thermodynamics**. 3. ed. Delaware: John Willey & Sons, 1999.

SOAVE, G. Equilibrium constants for modified Redlich-Kwong equation of state. **Chemical Engineering Science**, v. 27, p. 1197-1203, 1972.

STRYJEK, R. & VERA, J.H. An improved Peng-Robinson equation of state for accurate vapor-liquid equilibrium calculations. **Can. J. Chem. Eng.**, v. 64, p. 334-340, 1986.

AVALIAÇÃO DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L) COMO FITORREMEIADOR QUANTO À REMOÇÃO CHUMBO (Pb) E ZINCO (Zn) EM SOLOS CONTAMINADOS¹

Anamaria Rocha de Oliveira

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: anamariardo@gmail.com

Kérley Cristina Souza Lima

Graduanda do 10º período do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: kerleycristina.lima@hotmail.com

Mateus Martins Guimarães

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: mateusmartins84@hotmail.com

Rafael Máximo Gomes

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: rafaelmaximo32@hotmail.com

Daniel Oliveira e Silva

Professor de graduação do curso de Engenharia Química do UNIPAM.

E-mail: danielos@unipmam.edu.br

RESUMO: O estudo teve como objetivo avaliar a capacidade do girassol (*Helianthus annuus* L) como fitorremediador em solos contaminados previamente com concentrações especificadas de chumbo e zinco. O girassol foi mantido em estufa por 50 dias e apresentou crescimento satisfatório, quando em solos com baixas concentrações dos metais pesado, tão quanto o cultivado em solo *in natura*. Em contrapartida, mostrou ineficiente em concentrações altas de contaminantes.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação. Girassol. Metais pesados.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the ability of sunflower (*Helianthus annuus* L) as phytoremediation agent in soils previously contaminated with specified concentrations of lead and zinc. The sunflower was kept in a greenhouse for 50 days and presented satisfactory growth when in soils with low concentrations of heavy metals, as well as those grown in *in natura* soil. On the other hand, it was inefficient in high concentrations of contaminants

KEYWORDS: Phytoremediation. Sunflower. Heavy metals.

¹ Trabalho apresentado na área temática 1 – Fitorremediação do XIV Congresso Mineiro de Empreendedorismo, realizado de 5 a 7 de novembro de 2018.

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais crescem em grande e rápida proporção, ganhando, assim, uma atenção alarmante para seu cuidado, devido ao impacto que proporcionam em determinadas áreas. De acordo com Souza (2010), o solo é um recurso natural, em que, na biosfera, é um componente bem determinado, exercendo a função de tampão natural e de depósito de contaminantes, além de ser capaz de controlar o transporte de elementos químicos para a atmosfera, hidrosfera e biota. Ao sofrer uma interferência antropogênica, é sujeito a alterações indesejáveis de suas características (químicas, físicas ou biológicas), afetando de forma prejudicial o modo de vida das espécies que nele habitam (SILVA, 2012; LIMA, 2010).

As adições de rejeitos provenientes de processos industriais, atividades antrópicas, são as principais fontes de poluição. Eles atingem concentrações elevadas e comprometem a qualidade do ecossistema, pois liberam matérias orgânicas e inorgânicas, metais pesados, entre outros (PEREIRA, 2005).

Esses locais contaminados são uma ameaça real para os ecossistemas e as pessoas que o habitam, atingindo distâncias significativas, devido à mobilidade dos contaminantes e suas interações com o solo e com a água (SILVA, 2012). O desenvolvimento de novas tecnologias ambientais busca atender às exigências das legislações e suprir os mercados e consumidores conscientes em relação às questões ambientais, proporcionando a mudança de comportamento quanto à forma de produção. De acordo com Dinardi *et al.* (2003), a estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 a 30 bilhões de dólares. Nesse mercado, o Brasil tende a crescer, uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são aplicadas.

A escolha da técnica de remediação depende das características do local, da concentração e dos tipos de poluentes a serem removidos, além do uso final do meio contaminado. Destacam-se os métodos de descontaminação: fitorremediação; biorremediação; separação mecânica; eletrocinética; tratamento químico; tratamento por paredes permeáveis (ANSELMO e JONES, 2005); e tratamento “*in situ*” (SCHMIDT, 2010).

De acordo com Baird (2002), a estratégia chamada química verde consiste na reformulação de rotas sintéticas, não gerando subprodutos tóxicos ao final do processo. Uma técnica viável que sustente essa tese, de origem natural, é a fitorremediação, que se aplica à utilização de vegetais (árvores, arbustos, plantas rasteiras e aquáticas) e de sua microbiota com o fim de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas ao ambiente. Essa técnica é promissora para recuperar locais contaminados por metais pesados, e apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de aplicação em áreas extensas, o baixo custo e a redução da erosão e lixiviação dos contaminantes. Sua utilização é indicada em áreas com contaminação difusa e com baixa concentração de metais, nas quais as técnicas de engenharia não sejam viáveis economicamente (SILVA, 2012). A fitorremediação pode ser classificada de acordo com a técnica a ser utilizada, da propriedade química ou da característica do poluente. Assim, a fitorremediação pode ser classificada em: fitoextração,

fitoestabilização, fitoestimulação, fitodegradação e fizofiltração (NALON, 2008).

As plantas podem remediar os solos contaminados através dos seguintes mecanismos: fito-extração, fito-estabilização, rizofiltração, fitodegradação, fito-estimulação, fitovolatização, cepas vegetativas, açudes artificiais e barreiras hidráulicas (ANSELMO, 2005).

O girassol (*Helianthus annuus L*) é uma planta originária das Américas, utilizada como alimento pelos índios em mistura com outros vegetais. A grande importância da cultura do girassol no mundo deve-se à excelente qualidade do óleo comestível que se extrai de sua semente. É um cultivo econômico, rústico, que não requer maquinário especializado. Tem um ciclo vegetativo curto e se adapta perfeitamente a condições de solo e clima pouco favoráveis. Para seu cultivo correto, são necessários os mesmos conhecimentos e maquinários utilizados na cultura de milho, sorgo ou soja.

Nos últimos anos, se tornou uma opção de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos. O girassol tem suas raízes do tipo pivotante, que promovem uma considerável reciclagem de nutrientes, além da matéria orgânica deixada no solo pela sua morte.

A destinação dos metais pesados é a sua deposição e soterramento em solos e sedimentos. Estes podem ligar-se fortemente ao solo e a outras partículas, concentrando seu acúmulo nas camadas superiores de fácil acesso às raízes das plantas (ANSELMO, 2005).

Os alvos da fitorremediação incluem metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻), elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo (atrazina, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados (TCE, PCE) e resíduos orgânicos industriais (PCPs, PAHs), entre outros (NALON, 2008).

Metais pesados quando contaminam são nocivos, cancerígenos, levam a mutações, enquanto outros causam mudanças neurológicas e comportamentais, especialmente em crianças. Diferentes métodos químicos e físicos são utilizados para este propósito, entretanto, há severas limitações, como o alto custo, trabalho intensivo com alteração das propriedades do solo e perturbação da vegetação nativa. Contrapondo a essa premissa, a fitorremediação é uma solução notável para o problema, pois se associa com micróbios do solo para diminuir a concentração de contaminantes tóxicos nocivos que estejam presentes em determinado ambiente. A fitorremediação é uma técnica relativamente nova e possui vantagens como o alto custo-benefício, eficiência, pioneirismo, não agressivo a natureza, além de ter uma boa receptividade perante o público.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade do girassol de remover chumbo e cobre do solo utilizando o método de fitorremediação. Além disso, analisar a aplicabilidade da técnica de fitorremediação com girassol (*Helianthus annuus*) em solos contaminados com diferentes concentrações dos metais pesados chumbo – Pb e Zinco – Zn.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO

Os experimentos foram conduzidos na estufa agronômica e, posteriormente, no Laboratório de Engenharia Química, ambos situados nas dependências do Centro Universitário de Patos de Minas, localizado no município de Patos de Minas, com as seguintes coordenadas geográficas: 18°34' S (latitude Sul), 46°31'W (longitude Oeste) e 815 m de altitude.

2.2 PREPARO DO SOLO

Os solos foram coletados nas dependências do UNIPAM e são do tipo latossolo vermelho. Estes foram dispostos em vasos plásticos com capacidades de 8 kg. O delineamento experimental é inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2 (Cinco concentrações de Pb e outras cinco de Zn), com duas repetições e um solo sem ser contaminado que servirá como parâmetro de base para os demais e será denominado branco, totalizando 10 tratamentos e 21 parcelas experimentais, sendo que cada parcela foi constituída por um vaso contendo 8 Kg de solo.

Os vasos receberam furos no fundo para a drenagem da água.

2.3 CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Para a contaminação do solo foram empregados o reagente Sulfato de Zinco e Nitrato de Chumbo, fazendo-se o cálculo estequiométrico para a determinação da quantidade de cada metal pesado a ser empregado. As concentrações utilizadas serão: 10; 60; 75; 85; 100 mg/ Kg de Chumbo e 25; 150; 400; 500; 600 mg/ Kg de Zinco. Esses valores baseiam-se nas proporções normais encontradas nos solos e, em proporções que excedem a normalidade, são consideradas tóxicas ao solo, usando como parâmetro de referência os valores que são estabelecidos na Resolução Nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Para a contaminação do solo, os metais foram colocados no solo e homogeneizados com auxílio de uma bacia.

2.4 CULTIVO DO GIRASSOL (*HELIANTHUS ANNUUS*)

A planta a ser empregada neste trabalho para a avaliação da remoção de metais pesados é o girassol comum (*Helianthus annuus*).

As sementes de girassol foram dispostas no solo já contaminado, fazendo-se furos no solo com aproximadamente 10 centímetros, colocando-se a semente e cobrindo com uma porção de solo. Foram colocadas três sementes em cada vaso.

Os vasos de cultivo de girassol foram mantidos na estufa por um período de 50 dias, e foi irrigado diariamente com água fornecida pela rede de distribuição de água pela forma de irrigação de superfície, até ocorrer a completa infiltração, que é observada pela primeira gota a cair do fundo do vaso.

Foram observados também alguns aspectos que a planta adquirirá, como tamanho, número de folhas e tempo de desenvolvimento e área foliar, a fim de se obterem parâmetros visuais. Para a determinação do tamanho, com auxílio de uma régua, mede-se o comprimento que a planta adquirirá a cada 10 dias. Segundo Souza (2010), para avaliação da área foliar, utiliza-se a fórmula $AF = \sum 1,758 \times L^{1,7069}$. Sendo a área foliar em cm^2 e L o comprimento da nervura central da folha em cm.

2.5 ABERTURA ÁCIDA DA PLANTA

As diferentes partes da planta (raiz, caule e folhas) foram levadas à estufa até que sua massa se mantivesse constante sob uma temperatura de 60^o C. Após a secagem, o material foi triturado e passou por um peneiramento. Foi coletado o material que possui granulometria de cinco mesh. Foi pesado, então, 5 g do material e colocado em um béquer de plástico, adicionando-se por dia 5mL de HCl e 5mL hidróxido de amônio PA durante uma semana sob aquecimento em uma chapa aquecedora a 40°C. Havendo uma descoloração do mesmo, ocorreu a abertura do vegetal.

2.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CHUMBO E ZINCO NA PLANTA

Após o processo de abertura e preparo, as amostras foram encaminhadas para um laboratório da região especializado em realização de análises físico químicas para sua leitura por espectrofotometria de absorção atômica. Essa determinação é baseada no fato de que os átomos de um elemento podem absorver radiação eletromagnética quando o elemento é atomizado, sendo o comprimento de onda da luz absorvida específico para cada elemento (MINCATO e CARVALHO, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos encontram-se a seguir. A tabela 1 apresenta as concentrações de metais no solo *in natura*, base para as demais análises realizadas.

Tabela 1: Concentração dos metais no solo *in natura*

Metal	Concentração
Chumbo	0,098282
Zinco	0,020648

Fonte: Dados do trabalho (2018)

As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados referentes ao número de folhas na presença dos metais pesados chumbo e zinco e o crescimento da planta a cada coleta realizada.

Tabela 2 – Contagem do número de folhas do Girassol na presença de Chumbo (Pb)

Coleta	Chumbo (Pb) I	Chumbo (Pb) II	Chumbo (Pb) III	Chumbo (Pb) IV	Chumbo (Pb) V	Branco
1°	6/6	6/6	6/6	4/6	4/6	6
2°	6/6	8/8	8/8	6/6	6/6	6
3°	8/6	7/10	7/6	8/8	6/7	4
4°	9/4	8/11	7/8	6/7	4/8	4
5°	9/6	9/11	8/7	7/8	5/7	6

Fonte: Dados do trabalho (2018)

Tabela 3 – Contagem do número de folhas do Girassol na presença de Zinco (Zn)

Coleta	Zinco (Zn) I	Zinco (Zn) II	Zinco (Zn) III	Zinco (Zn) IV	Zinco (Zn) V	Branco
1°	6/6	6/3	2/2	4/2	-/2	6
2°	6/7	6/4	-/-	4/-	-/-	6
3°	6/4	6/3	-/-	-/-	-/-	4
4°	6/-	-/4	-/-	-/-	-/-	4
5°	6/-	-/5	-/-	-/-	-/-	6

Fonte: Dados do trabalho (2018)

Após a exposição dos dados acima, percebe-se o aumento do número das folhas nas mudas em que se adicionou chumbo até estabilização, enquanto que nas mudas contaminadas com zinco, com o passar do tempo, a vitalidade da muda e seu número de folhas foi diminuindo gradativamente até a morte completa da planta. Esse aspecto foi notado principalmente nas folhas que ficaram com manchas amareladas (devido ao metal que inibe a absorção de água) e necrosadas, chegando ao ponto de as amostras com uma maior concentração de metal pesado, sobretudo as contaminadas com zinco, morrerem. (PEREIRA, 2005 e SOUZA, 2010).

Tabela 4 – Crescimento do Girassol na presença de Chumbo (cm)

Coleta	Chumbo (Pb) I	Chumbo (Pb) II	Chumbo (Pb) III	Chumbo (Pb) IV	Chumbo (Pb) V	Branco
1°	8,33/13,29	8,15/9,50	4,20/4,75	4,78/4,71	6,78/7,65	5,86
2°	11,40/17,65	13,16/13,21	6,90/11,10	10,83/10,50	9,87/9,50	11,28
3°	14,22/19,54	15,27/16,60	9,23/15,96	12,04/12,12	11,02/14,81	12,91
4°	14,88/20,81	16,19/20,23	9,84/16,13	14,65/15,63	12,57/16,88	14,26
5°	15,64/21,65	17,49/22,16	10,24/17,84	17,11/16,84	13,94/18,66	16,75

Fonte: Dados do trabalho (2018)

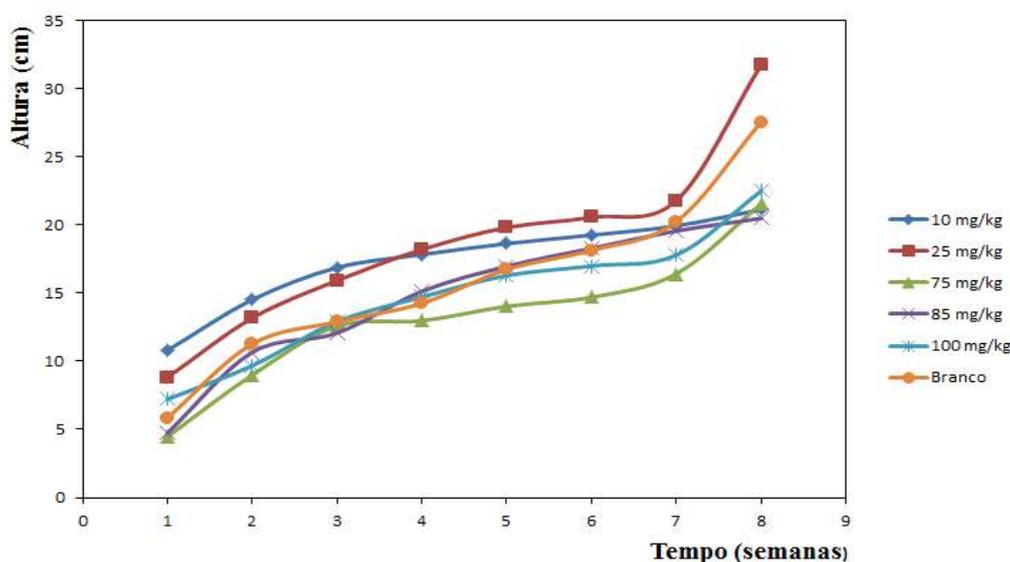
Tabela 5 – Crescimento do Girassol na presença de Zinco (cm)

Coleta	Zinco (Zn) I	Zinco (Zn) II	Zinco (Zn) III	Zinco (Zn) IV	Zinco (Zn) V	Branco
1°	11,06/3,30	7,86/5,15	1,78/1,04	5,25/0,5	- /2,32	5,86
2°	15,65/5,82	8,07/5,81	-/-	6,52/-	-/-	11,28
3°	17,52/9,72	-/6,11	-/-	-/-	-/-	12,91
4°	20,24/9,93	-/6,84	-/-	-/-	-/-	14,26
5°	21,52/10,86	-/7,21	-/-	-/-	-/-	16,75

Fonte: Dados do trabalho (2018)

A seguir, são apresentados nas figuras a seguir os gráficos para melhor visualização do crescimento das amostras de girassol na presença dos metais.

Figura 1- Tamanho da planta na presença de chumbo (Pb)



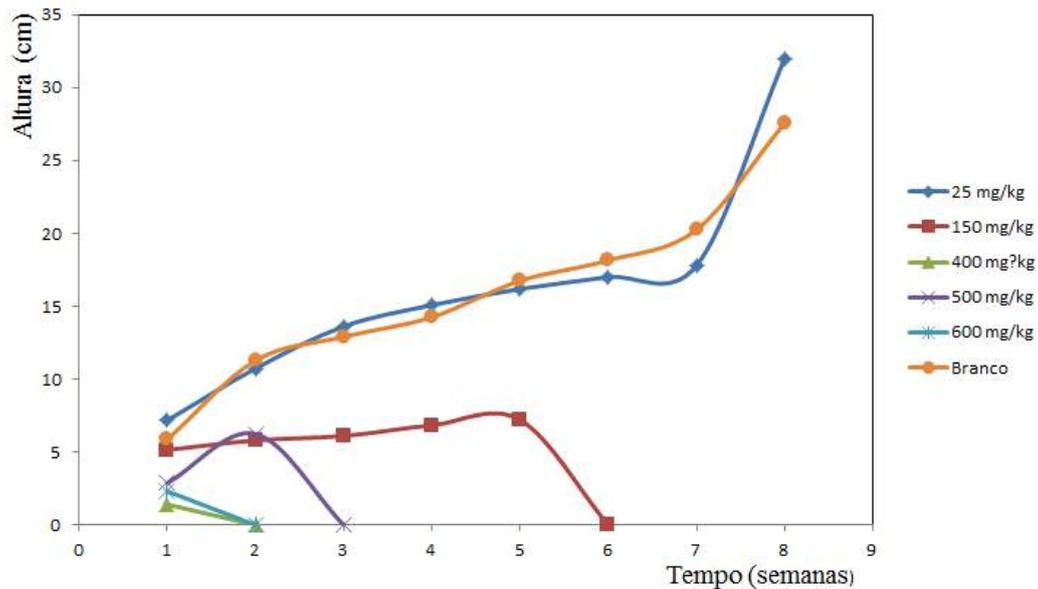
Fonte: Dados do trabalho (2018)

Ao observar a figura 1, algumas considerações chamam a atenção, como: a amostra da planta com adição de chumbo na concentração de 10 mg /Kg destacou-se por ter um crescimento inicial maior do que as outras amostras durante as três primeiras semanas. Com o passar do tempo, o monitoramento do desenvolvimento das plantas trouxe um crescimento semelhante entre as amostras de concentração 85 e 100 mg/kg, entretanto, a amostra com 75 mg/Kg teve um crescimento abaixo daquele esperado, tendo em vista a tendência de crescimento apresentado durante as coletas de dados. Tal diferença no acompanhamento das outras amostras pode ser justificada em Robson *et al.* (2004), que é citado por Rosa, Gomes e Corrêa (2006), onde relaciona o crescimento do girassol e o tamanho de suas sementes, afirmando que sementes mais grandes, quando crescem, geram plantas maiores que são capazes de absorver mais água, nutrientes e até metais pesados.

Outro ponto que merece destaque é o estudo da evolução do girassol de concentração 60 mg/Kg, uma vez que ele apresentou uma taxa de crescimento igual a amostra *in natura* (que não foi contaminada por nenhum metal), inclusive na última semana do monitoramento, quando ambas as amostras apresentaram um aumento

bem maior que a tendência durante o período e também em relação às outras plantas. Uma explicação para a discrepância nos valores encontrados pode ser o fato de, tanto a planta *in natura* quanto a de concentração 60 mg/Kg, apresentarem floração ao final do acompanhamento, o que causou um estímulo em seus desenvolvimentos. Situação essa que não se repetiu nas amostras em que se adicionou zinco.

Figura 2 - Tamanho da planta na presença de zinco (Zn)



Fonte: Dados do trabalho (2018)

Em relação ao desenvolvimento das mudas e o seu crescimento com o passar do tempo, pode-se ressaltar que as amostras de concentrações de 400, 500 e 600 mg/Kg nasceram, entretanto, após a segunda semana de monitoramento, os girassóis morreram. Isso pode ser explicado porque a concentração de zinco aplicado no solo, acima de 400 mg/Kg, é considerado tóxico para as plantas (SILVA, 2005). Já a muda de concentração 150 mg/Kg apresentou germinação após a primeira semana seguida de uma estagnação no crescimento, até a sua morte, na sexta semana do acompanhamento.

Ao comparar o desenvolvimento do girassol cultivado *in natura* com o que foi adicionado zinco a 25 mg/Kg, observou-se certa semelhança em seus crescimentos até a última semana de monitoramento, quando tiveram um grande salto de crescimento no final, devido à floração, que também estimulou o aumento de seus tamanhos.

Altas concentrações do contaminante podem inibir o crescimento da planta e limitar a aplicação da fitorremediação em alguns locais (SILVA, 2005). Entretanto, conseqüentemente, possuindo germinação e crescimento mais lentos devido à alta tolerância ao metal contaminante.

Com base nos resultados, observaram-se diferenças significativas nos atributos físicos, excluindo os valores de porosidade total (PT) e a densidade de partícula (Dp), indicando a homogeneidade da composição mineralógica das frações granulométricas

que compõem o solo (Tabela 1).

Maiores valores de densidade do solo (Ds) foram observados na entre linha (1,43 Mg m⁻³). Tais resultados foram também constatados por Silva *et al.* (2006), que afirmaram que esse efeito é possivelmente devido às pressões aplicadas pelas máquinas, modificando o arranjo das partículas do solo, principalmente quando úmidos. Tal prática é comum, uma vez que é realizado o controle do mato na entre linha com roçadeira.

4 CONCLUSÕES

Ao término do trabalho, encontramos uma incompatibilidade do cultivo do girassol em solos com concentrações muito altas dos metais chumbo e zinco. Isso fica explícito ao observar o desenvolvimento das mudas que, com o passar do período de monitoramento, morreram à medida que as concentrações aumentavam. Em contrapartida, as mudas com baixo teor de metal aplicado apresentaram um crescimento satisfatório e semelhante à planta cultivada *in natura*.

REFERÊNCIAS

ANSELMO, André Luís Faustino; JONES, Cleveland Maximino. Fitorremediação de solos contaminados – o estado da arte. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Porto Alegre, 2005.

LIMA, A. M. de. **Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de chumbo e tuoleno em efluentes sintéticos**. Tese de Doutorado, UFRN, Pós Graduação em Engenharia Química. Área de Concentração: Engenharia Ambiental. 2010.

MINCATO, Ronaldo Luiz; CARVALHO, Wagner Alves. Determinação de met determinação de metais pesados em l ais pesados em lodos de estação de tratamento de esgotos. **Bioikos**, Campinas, v. 2, n. 1, p.23-29, Janeiro/Dezembro. 2005.

NALON, Luciana. **Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo contaminado por chumbo**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Jaboticabal, 2008.

PEREIRA, Bruno Fernando. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico. 2005.

ROSA, Giselle Smocking; GOMES, Marcia Marques; CORRÊA, Sérgio Machado. **Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por petróleo**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, Mirlene Rafaella Felix de. **Fitorremediação de solo contaminado por metais pesados**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Ciências Biológicas) - Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. Belo Horizonte, 2010.