



ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME VII



Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2022

116 f.: il

DOI: 10.37423/2022.edcl422

ISBN: 978-65-5367-084-6

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2022.edcl422>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022

CAPÍTULO 1	6
ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA ECONOMIA DE CUSTO DE MANUTENÇÃO DE VIA AO INTRODUZIR O TRANSPORTE POR CABOTAGEM EM OPERAÇÕES DE LONGA DISTÂNCIA.	
Getulio Kazue Akabane DENILSON LUIZ DE CARVALHO DOI 10.37423/220205370	
CAPÍTULO 2	23
INTERVAL BRENT'S ROOT FINDING METHOD	
Sérgio Mário Lins Galdino Jornandes Dias da Silva DOI 10.37423/220205385	
CAPÍTULO 3	38
PRÁTICAS DE ENSINO EM ENGENHARIA QUÍMICA APLICANDO REJEITO DE CAULIM DA AMAZÔNIA	
MARLICE CRUZ MARTELLI SHIRLEY CRISTINA CABRAL NASCIMENTO DARLLAN DO ROSÁRIO PINHEIRO ERIC MOCHIUTTI LEONARDO RODRIGUES GONÇALVES JOSUÉ CHAVES TUMA JOSÉ ROBERTO LOBATO CAMPELO PABLO HENRIQUE COSTA DOS SANTOS DOI 10.37423/220205400	
CAPÍTULO 4	48
PERSPECTIVAS DOS ESFORÇOS DE INOVAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO	
Humberto Medrado Gomes Ferreira Isabel Cristina dos Santos José Agostinho Sousa Pinto Luciene Lopes Baptista DOI 10.37423/220205409	
CAPÍTULO 5	57
INSTRUMENTOS PARA AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE PROGRAMAS CURRICULARES: A MOTIVAÇÃO COMO O FOCO CENTRAL	
Lucas Anastasi Fiorani Osvaldo Shigueru Nakao Viviane Miranda Araújo Fiorani DOI 10.37423/220205413	

CAPÍTULO 6	68
ANÁLISE DO RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO NO SETOR DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO BRASILEIRO	
Fabio Emanuel Farago	
DOI 10.37423/220305459	
 CAPÍTULO 7	 78
ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS PARA O CLIMA DE TERESINA-PIAUÍ	
FABIO LIMA BONA	
DOI 10.37423/220305462	
 CAPÍTULO 8	 104
ENERGIA SOLAR E O ADVENTO DAS CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS	
Elizabeth Soares Vieira	
João Pedro Lemos Moraes	
Fernando José Figueiredo Agostinho D'Abreu Mendes	
Ana Angélica Mathias Macêdo	
DOI 10.37423/220305530	

Capítulo 1



10.37423/220205370

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA ECONOMIA DE CUSTO DE MANUTENÇÃO DE VIA AO INTRODUZIR O TRANSPORTE POR CABOTAGEM EM OPERAÇÕES DE LONGA DISTÂNCIA.

Getulio Kazue Akabane

*PUC SP: Pontifícia Universidade Católica de
SP*

DENILSON LUIZ DE CARVALHO

Fatec Rubens Lara



Resumo: Este estudo tem o objetivo de levantar e apresentar a redução do custo de manutenção de via, por quilômetro, em rodovia federal no Estado de São Paulo, ao se introduzir o transporte por cabotagem em operações de transporte de longa distância. O método teve delineamento bibliográfico de natureza exploratória com abordagem quantitativa na essência, todavia, devido à fundamentação e cálculo estar norteados pela vasta literatura existente, pode-se definir também como qualitativa. Foi feito um levantamento da quantidade média de caminhões trafegando na Rodovia Régis Bitencourt (BR 116) entre São Paulo (SP) e Curitiba (PR) por dia por meio dos agentes controladores e gestores, principalmente a Polícia Rodoviária e a Concessionária. O custo médio e a periodicidade da manutenção das vias foram levantados em consultas com a concessionária e o poder público, cujo resultado foi escalonado de forma a estimar a economia de custo na manutenção de via com a redução do tráfego de caminhões na proporção de 25%, 50% e 75%, passando essas cargas para o transporte por cabotagem. Nesse sentido, a cabotagem está evidenciada como modal substituto e todas as informações que seguirem deverão comparar a esse modal.

Palavras chave: Transporte rodoviário, Custo de manutenção de via, Economia de custo.

INTRODUÇÃO

Há vários entraves no tocante à grande utilização do transporte rodoviário no Brasil. Poluição, custo, operacionalização desumana, acidentes, roubos [...] e a degradação das vias de tráfego.

A globalização tem grande efeito nas economias, pois induz maior produtividade e competitividade. No Brasil, esse entrelaçamento global desafiou as empresas a um dinamismo jamais visto. Os fluxos (transportes) advindos desse dinamismo impacta numa deterioração mais acentuada das vias de tráfego, pois certamente há mais veículos transportando nas estradas.

Barat (2007 p. 54) ratifica que “o desequilíbrio na distribuição das cargas, entre os diversos modais no Brasil, gera um custo adicional de frete estimado em aproximadamente US\$ 5 bilhões anuais, o qual só não é ainda maior em razão dos baixos fretes praticados no modal rodoviário”. Esse desequilíbrio, informado pelo autor, acarreta diversos problemas, dentre os quais está o custo de manutenção nas vias de rodagem.

O desbalanceamento do sistema de transporte brasileiro acarreta perda de competitividade a nível global, pois onera a cadeia produtiva (REBELO, 2011; KEEDI, 2007; ROJAS, 2014). Esta inabilidade de planejar uma movimentação com o melhor modo de transporte gera perdas irreparáveis. Dentre as perdas está o custo de manutenção de via, que é parte indireta do custo agregado causado por um sistema de transporte deficiente.

Segundo Silva (2013), é inadmissível que um país com a sétima maior economia do mundo [...] continue com infraestrutura muito mais próxima de países subdesenvolvidos. Um país com dimensões continentais com aproximadamente 7.400 quilômetros de costa marítima, as movimentações deveriam estar baseadas em um sistema de transporte intermodal (rodo-aquaviário e ferroviário).

Hijjar (2011) indica que o modal rodoviário, no Brasil, é responsável pela maior parte dos deslocamentos. O “rodoviarismo” ao qual estão sujeitas as operações de transporte de cargas internas tem diversos custos diretos envolvidos como manutenção do veículo (peças, troca de óleo, pneus, etc), combustível, salário do motorista, pedágios, IPVA, etc. Dentre os custos indiretos das operações de transporte está o custo de manutenção da via de tráfego que é ponto focal desse estudo.

O custo de manutenção de vias, direta ou indiretamente, interage com a logística brasileira tornando-a mais “gargalada”.

A manutenção tem efeito direto quando é parcela significativa no custo das operações de transporte, pois está contemplada no planejamento da gestão das rodovias. Ao se definir a vida útil do pavimento

(em anos), está também definindo que, de tempos em tempos, haverá o custo para tornar a estrada operacionalizável.

Já o efeito indireto ocorre quando por danos causados por efeitos da natureza, ou qualquer outra ação que danifica as vias, a manutenção se torna corretiva e emergencial de forma a evitar acidentes e situações negativamente oportunas, como é o caso de roubos. Esse custo, não planejado, geralmente impacta financeiramente as concessionárias gestoras ou o poder público.

A NBR-7207/82 da ABNT define que o pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

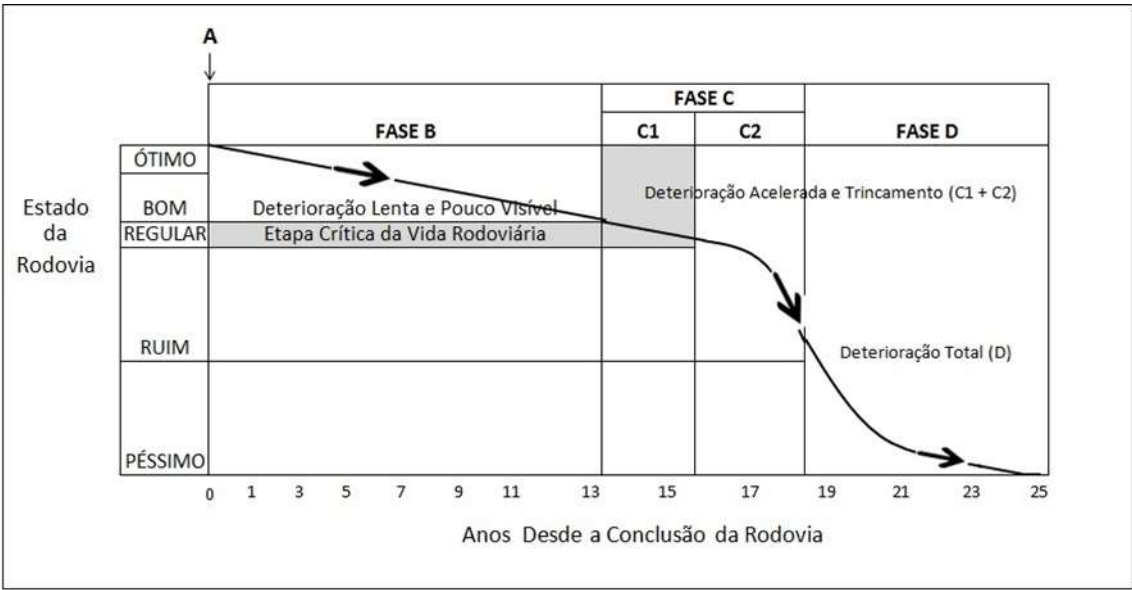
- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Tomando como referência a NBR acima, nos itens (a) e (c) as respectivas e idênticas primeiras palavras são chave – resistir. Ou seja, o pavimento projetado inicialmente para determinado tempo de vida, deve resistir à força vertical praticada pelos veículos de forma que o projetado se cumpra. Todavia, devido ao crescimento vertiginoso dos fluxos e da irresponsabilidade de alguns dos operacionalizadores do sistema, principalmente quando colocam sobrecarga nos veículos, a resistência projetada não se cumpre.

Ainda segundo a NBR-7207/82, no item (b), ao focar no propósito de melhorar as condições de rolamento, pode-se inferir que quanto maior o tempo de uso, maior o desgaste da via e, por consequência, maior o risco. Em termos gerais, a melhora em uma via de rodagem se dá por uso de materiais adequados na construção e, também, nas necessidades de manutenção no decorrer da utilização.

Albano (1998), Schliesser e Bull (1994) dizem que a vida útil do pavimento é descrita em fases, conforme figura 1 abaixo:

Figura 1: Vida Útil Pavimento



Fonte: Adaptado de Albano (1998); Schliesser e Bull (1994).

Com relação à figura 1 acima, pode-se inferir:

Fase A: imediatamente após a construção e entrega ao tráfego – ótimas condições de tráfego;

Fase B: a rodovia já tem alguns impactos nocivos com o tráfego, pouco visíveis. Sem manutenção, esse período dura de seis a oito anos – deterioração lenta;

Fase C: menor resistência ao tráfego com desgaste evidente na estrutura. A manutenção nessa fase é prioridade – deterioração acelerada;

Fase D: tráfego torna-se muito difícil, pois o pavimento já está em condições precárias. Velocidade média de percurso e capacidade da rodovia ficam reduzidas – deterioração total.

É importante salientar que, quanto maior o peso do veículo transportador maior é o desgaste da via, ou seja, o “rodoviarismo” ao qual estão baseados os deslocamentos de cargas (e pessoas) incita maior desgaste do pavimento aumentando o custo e a periodicidade das manutenções.

Um sistema de transporte intermodal poderia ser a redenção do Brasil em suas movimentações internas. Utilizar a característica principal de cada modal de forma sinérgica impactaria positivamente os fluxos e reduziria o custo de manutenção das vias de tráfego.

Um modal que certamente faria parte de um sistema intermodal é o aquaviário (cabotagem), devido à grande extensão da costa brasileira. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2006)

define a cabotagem como sendo o transporte entre portos de um mesmo país ou entre esses e portos interiores.

OBJETIVO

Esse estudo visa levantar e apresentar a economia proporcionada pela redução do custo de manutenção das estradas com a redução dos transportes de cargas por rodovia nas proporções de 25%, 50% e 75%, ao se introduzir a cabotagem como modo alternativo nos deslocamentos de longa distância.

Obs.: É importante direcionar que esse estudo tomará como referência somente os itens desgastados diretamente com o tráfego dos veículos de carga (que causam atrito), isto é, não estarão contemplados os elementos auxiliares como as sinalizações verticais.

QUESTÃO DE PESQUISA

Qual a economia proporcionada pela redução do custo de manutenção da via ao se reduzir a quantidade de veículos transportadores nas estradas através da inserção da cabotagem nas operações de transporte de longa distância?

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando o foco é a movimentação de carga no Brasil, há tempos se fala que os modais mais eficientes em um país com dimensão continental seriam o ferroviário e / ou o aquaviário. Ou seja, no Brasil, devido à grande parte das movimentações de cargas serem pelo modal rodoviário impacta negativamente a competitividade das organizações bem como a sustentabilidade, pois esse modal é o que mais agride o meio ambiente pela emissão de CO₂.

O Congresso Americano, em uma de suas reuniões, ratificou que sob qualquer ponto de vista – econômico, político e militar - {o transporte} é, inquestionavelmente, a indústria mais importante do mundo (CONGRESSO AMERICANO apud SANTOS et al 2010).

Com o mesmo foco, a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2012) diz que o transporte é fundamental para a economia de um país, pois é um dos principais fatores de produção e agente indutor de riqueza e desenvolvimento.

Colaborando sobre a importância do sistema de transporte, Ballou (2004) diz que o sistema de transporte é indubitavelmente importante para a criação de um alto nível de atividade econômica.

Em termos de movimentações por modal, o Instituto de Logística e Supply Chain – ILOS (2014), em seu estudo sobre a logística do Brasil definiu que o modal rodoviário foi responsável por 67% das movimentações em 2012, o ferroviário com 18% e o aquaviário com 11% foram os modais mais utilizados.

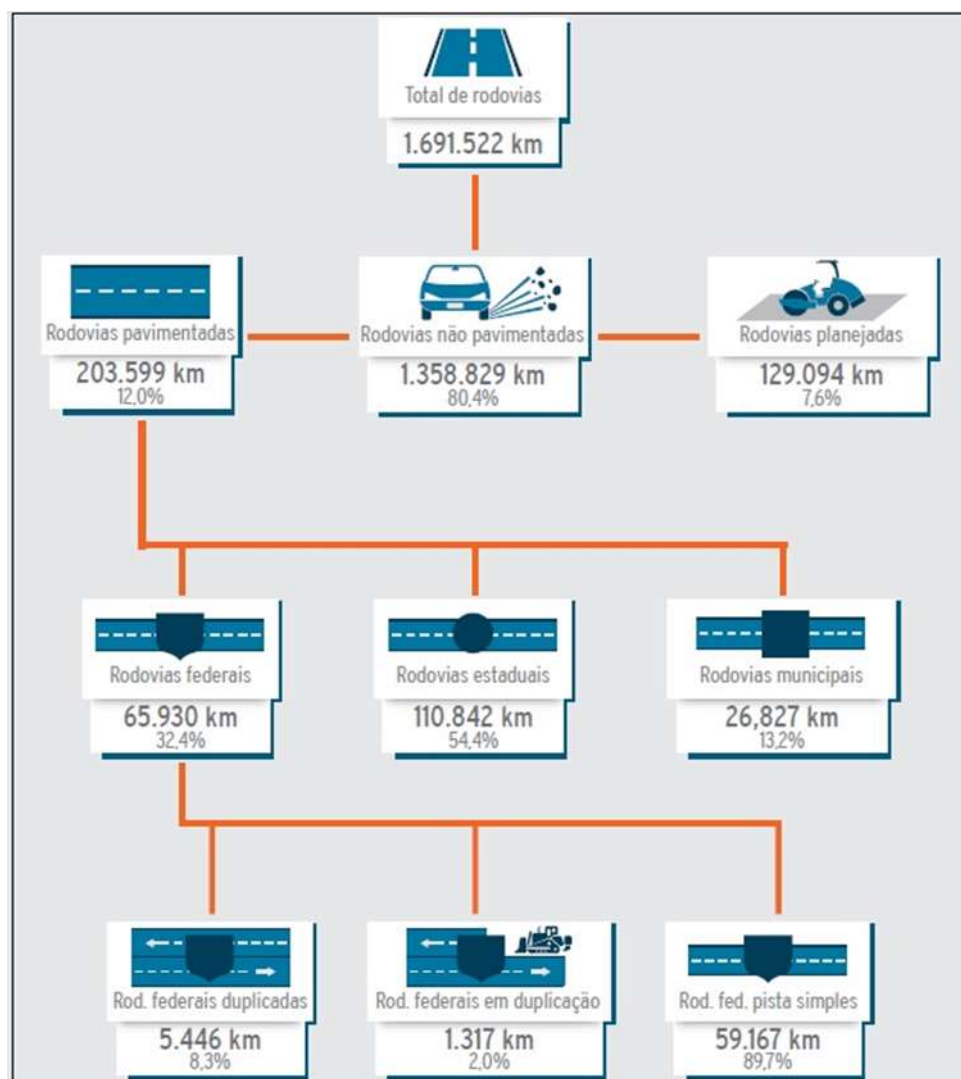
A CNT (2014) indica que, quando a infraestrutura rodoviária está em bom estado, favorece e é fundamental para o desenvolvimento econômico, redução de acidentes e também para a sustentabilidade. Em termos gerais, essa instituição identificou a quantidade de rodovias no Brasil, aqui exposto (figura 2 – página 5), com o objetivo de mensurar a grande necessidade de recursos para a manutenção.

Silveira et al (2010) externam que a evolução econômica brasileira conquistada nos últimos anos provoca aumento no fluxo de produtos transportados pelas rodovias e que o aumento do poder aquisitivo e do emprego beneficia o transporte de passageiros, aumentando, também o número de automóveis e ônibus nas estradas.

A Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2013) ratifica que rodovias deficientes (desgastadas) aumentam o custo de manutenção dos veículos (combustível, lubrificantes, pneus, freios, entre outros). Ainda em termos de rodovia e consumo, Fleury (2012) diz que é papel do Governo melhorar as rodovias para redução do consumo de combustível.

O IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - (Apud TCU, 2004) coloca em números os problemas causados por rodovias desgastadas ratificando que o aumento no gasto com combustível é da ordem de 58%, o aumento no gasto operacional dos veículos gira em torno de 38%, eleva o índice de acidentes em 50% e pode aumentar em até 100% o tempo de trânsito.

Figura 2 – Extensão da Malha Rodoviária Brasileira



Fonte CNT, 2014.

Pela figura dois (página anterior), no Brasil têm pavimentadas 65.930 Km de rodovias federais, 110.842 Km estaduais e 26.827 Km municipais.

Machline (2011) expõe que o modal rodoviário é uma doença a ser combatida, considerando como grave patologia em termos de deslocamento de cargas.

Azevedo et al (2012) dizem que geralmente as rodovias que foram cedidas à administração privada têm fluxo intenso de veículos com maior desgaste do pavimento e que, devido a isso, são estradas que necessitam de um grande volume de investimentos em manutenção.

O Tribunal de Contas da União – TCU (2004) e Faruolo (2007) dizem que o excesso de volume de tráfego é um fator que aumenta o desgaste do pavimento, todavia, mais nocivo é o excesso de peso, que deforma o pavimento.

Reis (2011) diz que, para uma sobrecarga de 5% no caminhão, diminui em 19% a vida útil de uma via, isto é, se uma via foi projetada para durar dez anos, com essa sobrecarga, sua vida útil será reduzida para 8,1 anos. Ainda segundo o autor, se o peso exceder 20%, no mesmo exemplo, a durabilidade do pavimento cairia para apenas 4,5 anos. O DNIT (2006) ratifica que um acréscimo de 20% no peso da carga duplica o efeito da carga no pavimento, aumentando o custo de manutenção.

Albano (1998) enfatiza que um dos principais agentes para a destruição dos pavimentos é o excesso de peso por eixo. Ainda segundo o autor, ao exceder 20% reduz a vida útil do pavimento em até 80%.

O DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – (2005, pg. 26), em termos de desgaste do pavimento e custo, ratificou:

As consequências do mau estado de conservação da rede e as perspectivas de agravamento da situação se traduzem em substanciais reflexos econômicos negativos, a saber:

- a) Efeito inibidor ao desenvolvimento de atividades econômicas;
- b) Perda de um dos mais importantes patrimônios do país (avaliado em importância superior a US\$ 200 bilhões), construído ao longo de muitos anos, com recursos e esforços da Nação;
- c) Acréscimo no consumo de combustíveis – até 58 %;
- d) Acréscimo no custo operacional dos veículos – até 40 %;
- e) Elevação do índice de acidentes – até 50 %;
- f) Acréscimo no tempo de viagem – até 100%;
- g) Acréscimo, como consequência, no custo dos fretes e das passagens rodoviárias.

Tizzaot (2004) diz que há um aumento no custo operacional dos veículos na ordem de 45% e um aumento no tempo de percurso em rodovias em condições precárias.

A CNT (2014) relaciona o alto índice de acidentes determinando que a situação do sistema rodoviário brasileiro é grave pois as más condições intensificam os riscos de acidentes e aumentam os custos da operação.

Segundo Felipe Junior e Silveira (2007), o melhor aproveitamento da intermodalidade dinamiza as economias local, regional e nacional e gera resultados positivos à sociedade.

O Conselho Regional de Administração do Rio Grande do Sul – CRA/RS (2014) enfatiza que a dinamização das movimentações intermodais é fundamental para melhor utilização da infraestrutura. Ainda segundo esse conselho, a intermodalidade aprimora a eficiência no sistema produtivo e da economia, reduzindo o genérico “custo Brasil”.

Moura e Botter (2011) indicam que a cabotagem pode fazer parte de um transporte intermodal eficiente melhorando o nível de serviço prestado ao mercado.

Fernandes (2012) diz que uma vantagem de se utilizar as hidrovias (marítima → cabotagem; fluvial → rios e lacustre → lagos) é reduzir o custo de manutenção das rodovias. Ainda segundo o autor, pode-se transportar aproximadamente 100 contêineres em uma embarcação diminuindo o tráfego de 100 caminhões nas estradas.

Fernandes Jr. *et al.* (1995) discorrem que há vantagens financeiras decorrentes de tráfego com sobrecarga, todavia causa uma externalidade negativa – acentuada deterioração dos pavimentos, além do aumento do custo de operação.

Corroborando para essa pesquisa, Albano (2005) expõe que em um período de 20 anos, em condições normais de tráfego (peso dos veículos dentro do permitido pela via), são necessárias duas operações de recapeamento, todavia, o custo de manutenção da via pode aumentar em 33% caso não haja fiscalização e os veículos trafeguem com sobrepeso.

Segundo Colares (2011), quando a manutenção é planejada tempestivamente, o custo é minimizado, todavia, ao se realizar a manutenção tardiamente, aumenta o custo em 300%, ou seja, três vezes mais.

Faruolo (2007) enfatiza que o pavimento tem limite de suportabilidade, porém na operacionalidade há um esforço de resistência ao atrito dos pneus causando desgaste na resistência do pavimento.

MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia foi exploratória, pois a intenção desse estudo foi conhecer mais detalhadamente a inércia rodoviária e o benefício resultante da operação de cabotagem nas operações de longa distância. O delineamento bibliográfico com abordagem quali-quantitativa, pois foram levantados e analisados dados já existentes do poder público e concessionárias das rodovias no que concerne os gastos atuais com manutenção da via. A pesquisa qualitativa se deu com o resultado final na análise dos dados levantados. Considera-se, também, portanto, que esse estudo teve partes descritivas. Com a ratificação do custo por quilômetro, procurou-se uma relação com o tráfego de veículos pesados (caminhões, carretas, bitrens, etc.) de forma a entender o impacto causado pela circulação desses equipamentos nas rodovias federais do Estado de São Paulo. Por meio de informações e coesão, definiu-se o efeito de desgaste das vias. Com o auxílio de um algoritmo ou a dedução de uma fórmula, chegou-se ao resultado escalonado desejado.

Após determinados esses parâmetros faz-se uma dedução do impacto em desgaste da rodovia pelo tráfego de veículos pesados.

DADOS PARA ANÁLISE

Conforme CNT (2014) o custo de manutenção das rodovias federais está estimado em R\$ 893.600,00/km. Ainda segundo a mesma instituição, a manutenção periódica é imprescindível para ótima condição do pavimento e que, as irregularidades na condição da estrada impactam em maior custo na operacionalidade dos veículos.

A Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) foi definida como parâmetro para a análise no trecho que passa por São Paulo que, conforme as informações da Polícia Rodoviária Federal, trafegam nesse trecho em torno de 26.000 veículos por dia, dos quais 70% são caminhões, ou seja, 18.200 caminhões (POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL Apud SETCEPAR¹, 2013).

É salutar expressar em números essa importante rodovia brasileira. Segundo a concessionária ARTERIS (2014) a Rodovia Régis Bittencourt, também conhecida como BR-116, têm 402,6 quilômetros de extensão entre a capital paulista e a paranaense.

O contrato estipulado entre a concessionária Arteris e a ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestre) define que as intervenções estruturais sejam quinquenais², isto é, a **cada 5 anos a concessionária realiza a manutenção**. A concessionária, segundo um representante em conversa informal, faz monitoramento anual e os ajustes que se fizerem necessários são realizados.

Castro (1999) expõe que a deterioração do pavimento se dá pela contínua movimentação dos veículos sobre a pista transmitindo os pesos das cargas diretamente dos eixos ao pavimento. Ainda segundo o autor, a durabilidade da via também é impactada por outros dois motivos: (1) as intempéries climáticas (chuvas) e, (2) o tempo de utilização, pois o volume de veículos gera deformações na estrutura.

Conforme Castro (2004), Moraes e Silva (2009) e Vicentini (2013) os impactos provocados pelos veículos de passeio podem ser considerados nulos.

RESULTADOS

Levando em consideração o valor por quilômetro divulgado pela CNT de R\$ 893.600,00 e que a rodovia estudada tem 402,6 quilômetros entre São Paulo e Curitiba, pode-se deduzir:

➔ R\$ 893.600,00 X 402,6 = R\$ 359.763.360,00 quinquenalmente.

Discussão

Considerações Finais

Estudos futuros

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. F. Efeitos da Variação da Carga por Eixo, Pressão de Inflação e Tipo de Pneu na Resposta Elástica de um Pavimento. Escola de Engenharia. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2209>>. Acessado em 04/12/2014.

ALBANO, J. F. Efeitos dos Excessos de Carga Sobre a Durabilidade de Pavimentos. Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4498/000457228.pdf>>. Acessado em 10/01/2015.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviário. Lei que define a Cabotagem. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/12-ApresentacaoAnaMaria0.pdf>>. Acessado em 10 mar. 2013.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Contrato entre a Concessionária Arteris e a ANTT. Brasília, 2008. Disponível em:

<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5299/Autopista_Regis_Bittencourt.htm>. Acessado em 05/03/2015.

ARTERIS – Concessionária Gestora da Autopista Régis Bittencourt. Institucional (site). Sede em Registro – São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.autopistaregis.com.br/?link=institucional>>. Acessado em 05/03/2015.

AZEVEDO, et al. Uso de Análise Envoltória de Dados para Mensurar Eficiência Temporal de Rodovias Federais Concessionadas. Journal of Transport Literatura Vol. 6, Nº 1, pp. 37-56, Jan. 2012 Research Directory. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jtl/v6n1/v6n1a03.pdf>>. Acessado em: 04/12/2014.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial. Editora Artmed – 5ª edição, Porto Alegre, 2004.

BARAT, Josef et all. Logística e Transporte no Processo de Globalização – Oportunidades para o Brasil, Editora Unesp, São Paulo, 2007.

CASTRO, B. A. C. de. O Cálculo do Número “N”. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2004. Disponível em:

<<http://www.etg.ufmg.br/ensino/transportes/disciplinas/etg033/turmaa/tb10.pdf>>. Acessado em 11/03/2015.

COLARES, L. G. Concessão Administrativa: Gerenciando a Manutenção de Rodovias por Parâmetros de Desempenho. Programa de Pós-Graduação em Controle Externo – PGCE – Curso de Especialização em Controle de Regulação – 2ª Edição. Tribunal de Contas da União – Instituto Serzedello Corrêa, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2491047.PDF>>. Acessado em 11/02/2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. A Importância do Setor de Transporte. Brasília, 2012. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDMQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.cnt.org.br%2FImagens%2520CNT%2FPDFs%2520CNT%2FEconomia%2520em%2520foco%2FECONOMIA%2520EM%2520FOCO%252010.01.2012.pdf&ei=b-LkVI31C4KggwTfk4TgAw&usg=AFQjCNH7EteaqXHvTvXes8NwmH7E7u3MQw&sig2=BwPyI0pckOcb7kAB7vrG0A&bvm=bv.85970519,d.eXY>>. Acessado em 05/12/2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. Pesquisa de Rodovias 2013. Brasília, 2013. Disponível em:

<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fpesquisarodovias.cnt.org.br%2FPDFs%2FPesquisa_CNT_Rodovias_2013_Resumo_Imprensa.pdf&ei=8qaAVKizH8OpNuTagJAG&usg=AFQjCNHmFw_OMEAlorRrAe8D6oeKKrckO0w&sig2=2IW7vujDOyxNAPdYC3oCEw&bvm=bv.80642063,d.eXY>. Acessado em: 04/12/2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. Pesquisa de Rodovias 2014. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/principaisDados.aspx>>. Acessado em 05/01/2015.

CONSELHO REGIONAL DE ADMINISTRAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL – CRA-RS. Os Gargalos da Intermodalidade no Brasil. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <http://crars.org.br/artigos_interna/os-gargalos-da-intermodalidade-no-brasil-52.html>. Acessado em 15/12/2014.

DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE). Manual de conservação rodoviária. 2. ed. – Rio de Janeiro, 2005.

DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE). Manual de Pavimentação. 3ª Edição – Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos de Pesquisa. Rio de Janeiro, 2006.

MORAES, C. R. B; SILVA, E. da. Estudo da Arte do Pavimento Rígido – “Durabilidade, Economia e Segurança”. Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Barretos, 2009. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.feb.br%2Findex.php%2Fsetor-compras%2Fdoc_download%2F742-carlosreedsontextopdf&ei=59waVfS7E4awyAT-04HgBQ&usg=AFQjCNH3pV7Ci_fUyl8d-_TErFO7cxk33Q&sig2=yzliFur9zLjokYSskNV4Pg&bvm=bv.89381419,d.bGg>. Acessado em 13/03/2015.

FARUOLO, Luciano Bruno. Análise de Confiabilidade da Pesagem Dinâmica de Veículos Rodoviários. Dissertação de Mestrado do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET / RJ. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em:

<http://xrepo01s.inmetro.gov.br/bitstream/10926/1774/1/Faruolo_2007.pdf>. Acessado em 03/12/2014.

FELIPE JUNIOR, N. F; SILVEIRA, M. R. A Intermodalidade na Europa e no Brasil: O Porto de Pederneiras-SP como Ponto Nodal. Revista Eletrônica Geografia em Atos, Nº 7, Volume 2. Presidente Prudente, 2007. Disponível em:

<<http://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/viewFile/237/pdf15>>. Acessado em 03/12/2014.

FERNANDES JUNIOR, J. L; SÓRIA, M. H. A; WIDMER, J. A. Efeitos das Solicitações do Tráfego Sobre os Custos de Construção, Manutenção e Utilização de Rodovias. In Reunião Anual de Pavimentação (Apud Albano, 2005). Cuiabá, 1995.

FERNANDES, K. dos S. Logística: Fundamentos e Processos. Editora IESD Brasil. Curitiba, 2012.

FLEURY, Paulo. Logística No Brasil: Situação Atual e Transição para uma Economia Verde. Federação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-7.pdf>>. Acessado em 01/12/2014.

HIIJAR, Maria Fernanda; LOBO, Alexandre. Cenário da Infraestrutura Rodoviária no Brasil. Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS), Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:

http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1807&Itemid=74. Acessado em 02/07/2013.

INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN – ILOS. Panorama ILOS – Custos Logísticos no Brasil. Rios de Janeiro, 2014. Disponível em:

<http://www.ilos.com.br/ilos_2014/wpcontent/uploads/PANORAMAS/PANORAMA_brochura_custos.pdf>. Acessado em: 02/12/2014.

KEEDI, Samir. Logística, Transporte, Comércio Exterior e Economia em Conta-Gotas. Editora Aduaneiras, São Paulo, 2007.

MACHLINE, Claude. Potencial do Modal de Cabotagem no Brasil. Congresso da Fundação Getúlio Vargas – SIMPOI, São Paulo, 2011. Disponível em:

<http://www.feg.unesp.br/dpd/cegp/2013/LOG/Textos%20gerais/simpoi%2011%20-%20cabotagem.pdf>. Acessado em: 25/06/2014.

MOURA, D. A. de; BOTTER, R. C. O Transporte por Cabotagem no Brasil – Potencialidade para a Intermodalidade Visando a Melhoria do Fluxo Logístico. Artigo da Revista Científica Eletrônica de Engenharia da Produção – Produção Online. Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/897/798>>. Acessado em 06/01/2015.

REBELO, Jorge. Logística de Carga no Brasil. “Como Reduzir Custos Logísticos e Melhorar Eficiência?”. Departamento de Desenvolvimento Sustentável do Banco Mundial, 2011. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1323121030855/JorgeRebello.pdf?resourceurlname=JorgeRebello.pdf>. Acessado em 25/06/2014.

REIS, N.G. Excesso de peso ganha manual. Associação Nacional do Transporte de Carga e Logística. São Paulo, 2011. Disponível em

<http://www.portalntc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=612:excesso-de-peso-ganha-manual&catid=38:destaques>. Acessado em 10/12/2014.

ROJAS, Pablo. Introdução à Logística Portuária e Noções de Comércio Exterior. Editora Bookman, Porto Alegre, 2014.

SANTOS; Jaqueline Guimarães, et al. Logística e Gestão da Distribuição: um estudo de caso em uma empresa transportadora em Campina Grande – PB – VII Simpósio em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos10/357_Artigo%20-%20Logistica%20-%20Com%20identificacao.pdf>. Acessado em 25/05/2013.

SCHIESSER, A; BULL, A. Caminhos: Um Novo Enfoque para a Gestão e Manutenção Rodoviária. CEPAL – Instituto Panamericano de Carreteras, Brasília, 1994.

SETCEPAR – SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE CARGAS NO ESTADO DO PARANÁ. Informativo / Boletim de Fevereiro, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.setcepar.com.br/arquivos/Arquivo_BoletimPDF12112013111649.pdf>. Acessado em 05/03/2015.

SILVA, Juacy da. Logística e o Custo Brasil, Sinop – MT, 2013. Disponível em: <http://www.agronoticiasmt.com.br/artigos/logistica-e-o-custo-brasil.html>. Acessado em 02/07/2013.

SILVEIRA, J. Q., AZEVEDO, G. H. I, SOARES de MELLO, J. C. C. B. Aplicação da Análise Envoltória de Dados na Avaliação da Eficiência de Rodovias Federais Concessionárias. In: XXIV ANPET, Congresso de pesquisa e ensino em transporte, Salvador, BA, 2010.

TIZZOT, R. W. Rodovias sem Conservação, Prejuízos para o Setor. Financial and Institutional Reform os Road Conservation in Latin America and the Caribbean Technical Cooperation Program os the Federal Republic of Germany. Disponível em: <<http://www.zietlow.com/docs/pordocs.htm>>. Acessado em 05/12/2014.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO – TCU. Auditoria da Qualidade das Obras Rodoviárias Federais. Secretaria de Fiscalização de Obras e Patrimônio da União, Brasília, 2004. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=OCD8QFjAE&url=http%3A%2F%2Fportal2.tcu.gov.br%2Fportal%2Fpls%2Fportal%2Fdocs%2F2056106.PDF&ei=XUx_VNrsKcGrNoLPg5AG&usg=AFQjCNGSjQf-jNVTlGuq2AkbMuZUBmCazoA&sig2=J8Ae4rY-bD0PMVfSbPI8eA&bvm=bv.80642063,d.eXY>. Acessado em 03/12/2014.

VICENTINI, D. Carga do tráfego: Cálculo do número N (para pavimentos flexíveis). Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Departamento de Transportes. Curitiba, 2013. Disponível em: <[http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Numero_N_\(Daniele\).pdf](http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Numero_N_(Daniele).pdf)>. Acessado em 03/03/2015.

NOTAS

Nota 1

SETCEPAR: Sindicato das Empresas de Transporte de Cargas no Estado do Paraná. Disponível em: http://www.setcepar.com.br/arquivos/Arquivo_BoletimPDF12112013111649.pdf

Nota 2

Contrato entre a Arteris e a ANTT:

http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5299/Autopista_Regis_Bittencourt.html

Capítulo 2



10.37423/220205385

INTERVAL BRENT'S ROOT FINDING METHOD

Sérgio Mário Lins Galdino

*Escola Politécnica da Universidade de
Pernambuco*

Jornandes Dias da Silva

*Escola Politécnica da Universidade de
Pernambuco*



Abstract: Interval analysis has proven successful for finding a root ξ of nonlinear equation $f(x)=0$ in the interval $[a,b]$. The classical version of interval Newton's method and a interval Brent's method has been tested on a series of examples. The interval Brent's method is competitive when compared with the interval Newton's method. The numerical results empirically shows that all methods give us verified computations (self- validating), ensuring that the exact value is certain to belong to the intervals computed. Finding simple roots by Brent's method can be applied to large classes of functions.

keywords: self-validating numerical methods, interval analysis.

INTRODUCTION

Determining roots of nonlinear functions is frequently found in scientific and engineering applications. Given a function $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, we seek a point $\xi \in \mathbb{R}$ such that $f(\xi) = 0$. This ξ is called a root of the equation $f(x) = 0$, or simply a zero of f . At first, we only require that f be continuous on an interval $[a, b]$ of the real line, $f \in C[a, b]$, and that this interval contains the root of interest. The function f could have many different roots; we will only look for one.

In this paper we consider the problem of finding and bounding simple zeros of $f(x)$ in a given finite, closed interval $X_0 = [a, b]$, the methods are interval methods. Several interval methods for this problem have been published [1, 2, 3, 4]. Recently, based on interval extension of the Newton method, there are an interval extension of Ostrowski method and its modified method [5] for computing the enclosure solutions of nonlinear equations. In [6] was produced an interval extension of the King method. Also, an interval version of Traub's method is presented in [7].

The methods allow us to find a set of intervals of smallest possible width such that each interval includes one or more zeros of $f(x)$ from a given interval $[x]_0 \subset \mathbb{R}$. We focus on the case of one isolated zero in $[x]_0$ using methods without derivatives.

In developing such methods we consider two particular points [4]. The methods should on the one hand be applicable to large classes of functions under easily verifiable conditions. On the other hand, the inclusions for the zeros should also be guaranteed when the methods are implemented on a computer where instead of the regular interval arithmetic we have a machine interval arithmetic as given in section (2.1).

Simple realizations of such methods are given by the so-called subdivision methods. These are interval versions of the binary search method or of other search methods. We shall give a short explanation of such a procedure.

In order to improve the inclusion of one isolated zero in $[x]_0$ we subdivide $[x]_0$ at the point $y \in [x]_0$ into $[\text{left}]_0$ and $[\text{right}]_0$ such as

$$[x]_0 = [\text{left}]_0 \cup [\text{right}]_0 = [\underline{x}, y] \cup [y, \bar{x}]$$

At each step one investigates either only the right or the left half of the interval. If at any step we have $0 \in f([\text{left}])$ or $0 \in f([\text{right}])$, then the procedure is restarted with the interval $[\underline{x}, y] \subset [x]_0$ or with the interval $[y, \bar{x}] \subset [x]_0$. This iteration therefore generates a sequence of subintervals of $[x]_0$ that included

a zero of f . The widths of these intervals tend to zero since at each step the method divides the interval in two by computing the point $y \in [x]_0$. We have that these stepwise calculated intervals will necessarily converge to one of the zeros of $f \in [x]_0$. See Moore [8].

2 PRELIMINARY CONSIDERATIONS

At one time or another, most of us will likely have to solve problems using some reliable numericAt each step one investigates either only the right or the left half of the interval. If at any step we have $0 \in f([left])$ or $0 \in f([right])$, then the procedure is restarted with the interval $[x, y] \subset [x]_0$ or with the interval $[y, x] \subset [x]_0$. This iteration therefore generates a sequence of subintervals of $[x]_0$ that included a zero of f . The widths of these intervals tend to zero since at each step the method divides the interval in two by computing the point $y \in [x]_0$. We have that these stepwise calculated intervals will necessarily converge to one of the zeros of $f \in [x]_0$. See Moore [8].

al computation. As many of us are neither familiar with interval analysis nor intimately familiar numerical analysis, we can get ourselves into trouble if we're not careful. This section is an introduction to basic concepts.

2.1 NOTATION AND RELATIONS

Throughout this paper interval variables are enclosed in square brackets $[x]$. Underscores and overscores denote lower and upper bounds, respectively. A real interval $[x]$ is a nonempty set of real numbers $[x] = [\underline{x}, \overline{x}] = \{\tilde{x} \in \mathbb{R} : \underline{x} \leq \tilde{x} \leq \overline{x}\}$ where $\underline{x}$ and $\overline{x}$ are called the infimum (inf) and supremum (sup), respectively, and $\tilde{x}$ is a point value belonging to an interval variable $[x]$. The set of all intervals $\mathbb{R}$ is denoted by $I(\mathbb{R})$ where $I(\mathbb{R}) = \{[\underline{x}, \overline{x}] : \underline{x}, \overline{x} \in \mathbb{R} : \underline{x} \leq \overline{x}\}$.

The midpoint of $[x]$ is defined as, $\text{mid}[x] = \tilde{x} = \frac{1}{2}(\underline{x} + \overline{x})$ and the radius of x is defined as, $\text{rad}[x] = \Delta x = \frac{1}{2}(\overline{x} - \underline{x})$. The $[x, x] \equiv x$ is called point interval or thin interval. A point or thin interval has zero radius and a thick interval has a radius greater than zero.

The interval arithmetic operations are defined for exact calculation [8]. Machine computations are affected by rounding errors. Therefore, the formulas were modified in order to consider the called direct rounding [9].

One of the most important functions in INTLAB (an efficient software for interval arithmetic) is the function `setround` which allows the rounding mode of the processor to be changed between nearest, round down and round up [9].

This routine allows interval arithmetic and the numerous other functions to be implemented.

An important result is the inclusion property theorem. Rall aptly calls this the fundamental theorem of interval analysis [10, 3].

Theorem 2.1 [Fundamental Theorem] If the function $f([x]_1, [x]_2, \dots, [x]_n)$ is an expression with a finite number of intervals $[x]_1, [x]_2, \dots, [x]_n \in I(\mathbb{R})$ and interval operations $(+, -, \times, \div)$, and if $[w]_1 \subseteq [x]_1, \dots, [w]_n \subseteq [x]_n$ then $f([w]_1, [w]_2, \dots, [w]_n) \subseteq f([x]_1, [x]_2, \dots, [x]_n)$

2.2 RIGOROUS BOUNDS OF ZEROS OF A FUNCTION OF ONE REAL VARIABLE

Interval root-finding methods allow us to find a interval narrowest possible containing a zero of f from a given interval $[x]_0 \in I(\mathbb{R})$. Simple realization of such methods are given by interval versions of so-called backtracking methods [4].

For this purpose we consider a continuous function f that has a zero in a given interval $[x]_0 \in I(\mathbb{R})$; that is, $f(\xi) = 0$ for some $\xi \in [x]_0$.

DEFINITION: Let f be a continuous function and ξ a zero of f in the interval $[x]_0$. The sequence $[x]_k$ calculated according to some interval root-finding algorithm, to get rigorous bounds of zeros of a function of one real variable, must have the following properties:

$$\xi \in [x]_k, \quad k \geq 0, \\ [x]_0 \supseteq [x]_1 \supseteq [x]_2 \supseteq \dots \quad \text{with} \quad \lim_{k \rightarrow \infty} [x]_k = [\xi, \xi]$$

or the sequence comes to rest after a finite number of steps at the point $[\xi, \xi]$.

On a computer, the procedure can be halted when $[x]_{k+1} = [x]_k$. Using interval arithmetic at a specific number of digits, this yields the narrowest interval possible (with that many digits) containing ξ . For a particular subinterval, $[x]_k$, perform root inclusion test:

- (Range Test) Compute the interval $f([x]_k)$ of $f(x)$ (this provides bounds on the range of $f(x)$ for $x \in [x]_k$).

2.3 THE INTERVAL NEWTON'S METHOD

Given an initial interval $[x]_0$ that contains a root, this leads to the interval version of Newton's method [1, 2, 3, 4]

$$[x]_{i+1} = [x]_i \cap \left(\text{mid}([x]_i) - \frac{f(\text{mid}([x]_i))}{f'([x]_i)} \right) \quad (1)$$

The stopping criterion is taken to be $[x]_{i+1} = [x]_i$ or $\text{wid}([x]_{i+1}) < \epsilon$.

If f_0 has a zero in the interval $[x]_i$ then clearly (1) is not defined. Therefore if f has a multiple root, or two distinct roots in $[x]$ then the iteration (1) can not be used. A necessary condition for the iteration to work is that $[x]_0$ must contain at most one root, and the root must be a simple one.

The Octave script M-file implement the interval Newton's method root-finding algorithm, see Appendix A.

2.4 THE INTERVAL BRENT'S METHOD

Brent's method, which is proposed by Brent (1973) [11] and introduced in many numerical books [12], is a root-finding algorithm with combining root bracketing, bisection and inverse quadratic interpolation, based on Dekker's method [13] to avoid the problem that it converges very slowly, in particular, when $|x_k - x_{k-1}|$

may be arbitrarily small, where k is the index for iterative steps. The method is guaranteed (by Brent) to converge, so long as the function can be evaluated within the initial interval known to contain a root.

The MATLAB function `fzero` also implements Brent's method. Other implementations of the algorithm (in C++, C, and Fortran) can be found in the Numerical Recipes books [14] and [12] using Python.

One-dimensional root-finding algorithms can be divided into two classes: root bracketing and root polishing [14]. The interval Brent's method combine features of both types of methods to achieve both speed and reliability.

As we can see from [14] and [12], the Brent's method is very complicated and difficult to understand. It is obvious that, the algorithm still preserves the idea that determines the next iteration interval from

two subintervals, in which one endpoint of previous interval is replaced with the new one calculated using inverse quadratic interpolation.

The Octave script M_le implement the interval Brent algorithm (Van Wijngaarden{Dekker{Brent Method [14]}), see Appendix A.

3 NUMERICAL RESULTS

Here we present the results of numerical experiments with interval root find methods. The battery of test functions are listed in Table 1. These nonlinear equations are well known (simple zeros). They are from a series of published examples (see [15, 16, 17, 18, 19]). The number of iterations is used for comparison.

The Table 2 list the total number of iterations for each individual root interval with each root-finding method.

Table 1: Used functions for numerical comparing the root-finding methods.

n	$f_n(x)$	root ¹
1	$x^3 - 1$	1.0
2	$x^2(x^2/3 + \sqrt{2} \cdot \sin(x)) - \sqrt{3}/18$	0.3994222917109681945143142
3	$11x^{11} - 1$	0.8041330975036643237414635
4	$x^3 + 1$	-1.0
5	$x^3 - 2x - 5$	2.094551481542326591482387
6	$2 \cdot x \cdot e^{-n} + 1 - 2 \cdot e^{-n \cdot x}, (n = 5)$	0.1382571550568240759336382
7	$2 \cdot x \cdot e^{-n} + 1 - 2 \cdot e^{-n \cdot x}, (n = 10)$	0.06931408868702347330301405
8	$2 \cdot x \cdot e^{-n} + 1 - 2 \cdot e^{-n \cdot x}, (n = 20)$	0.03465735902085385136237324
9	$1 + (1 - n)^2 \cdot x - (1 - n \cdot x)^2, (n = 5)$	0.03840255184062190047805165
10	$1 + (1 - n)^2 \cdot x^2 - (1 - n \cdot x)^2, (n = 10)$	0.009900009998000499860041987
11	$1 + (1 - n)^2 \cdot x^2 - (1 - n \cdot x)^2, (n = 20)$	0.002493750039062011726379261
12	$x^2 - (1 - x)^n, (n = 5)$	0.3459548158482420179582044
13	$x^2 - (1 - x)^n, (n = 10)$	0.2451223337533072399504911
14	$x^2 - (1 - x)^n, (n = 20)$	0.1649209572764409523908500
15	$1 + (1 - n)^4 \cdot x - (1 - n \cdot x)^4, (n = 5)$	0.003617108178904063540768351
16	$1 + (1 - n)^4 \cdot x - (1 - n \cdot x)^4, (n = 10)$	0.0001514713347838913936418667
17	$1 + (1 - n)^4 \cdot x - (1 - n \cdot x)^4, (n = 20)$	0.000007668595122185336697465608
18	$e^{-n \cdot x} \cdot (x - 1) + x^n, (n = 5)$	0.5161535187579335664275878
19	$e^{-n \cdot x} \cdot (x - 1) + x^n, (n = 10)$	0.5395222269084158431708662
20	$e^{-n \cdot x} \cdot (x - 1) + x^n, (n = 20)$	0.5527046666784877872399358
21	$x^2 + \sin(x/n) - 1/4, (n = 5)$	0.4099920179891371316212584
22	$x^2 + \sin(x/n) - 1/4, (n = 10)$	0.4525091455776412254580672
23	$x^2 + \sin(x/n) - 1/4, (n = 20)$	0.4756268485960624131198423

1 - Obtained with fsolve Maple function using 25 digits.

The total number of interactions, Table 2, shows that the interval Newton's methods was more faster than Brent's method. Per iteration the interval Brent's method require one evaluation of the function and the interval Newton's method require one evaluation of the function and one evaluation of its first derivative with interval evaluation (more expansive to calculate). Therefore, the Ostrowski [20] computational efficiency sense is favourable to interval Brent's method. Rigorous bounds of zeros inclusion interval (Table 3 and Table 4) for each root-finding method passed by the root inclusion test (See Table 1 reference values). All final root intervals found includes zero, then we can a self-validating ($\xi \in [Root]$).

4 CONCLUSION

The design of interval iterative formulas for solving nonlinear equations is very important and is also an interesting task in interval computing. In this paper, we have proposed interval Brent's root-finding algorithms, to get rigorous bounds

Table 2: Number of interactions and root inclusion interval for each root-finding method.

f_n	Newton	Brent	$[a,b]^1$
f_1	5	8	$[0.6, 1.5]$
f_2	6	11	$[0.1, 1]$
f_3	7	10	$[0.1, 1]$
f_4	5	9	$[-1.8, -0.5]$
f_5	5	9	$[2, 3]$
f_6	6	8	$[0, 1]$
f_7	7	10	$[0, 1]$
f_8	8	10	$[0, 1]$
f_9	4	7	$[0, 0.2]$
f_{10}	4	9	$[0, 0.2]$
f_{11}	4	10	$[0, 0.2]$
f_{12}	6	7	$[0, 0.9]$
f_{13}	7	8	$[0, 0.9]$
f_{14}	7	10	$[0, 0.9]$
f_{15}	4	9	$[0, 0.2]$
f_{16}	3	13	$[0, 0.2]$
f_{17}	3	17	$[0, 0.2]$
f_{18}	7	6	$[0, 1]$
f_{19}	8	7	$[0, 1]$
f_{20}	9	11	$[0, 1]$
f_{21}	5	9	$[0, 1]$
f_{22}	6	8	$[0, 1]$
f_{23}	6	8	$[0, 1]$
Σ	132	214	

1 - Initial interval with $\xi \in [a,b]$.

of zeros of a function of one real variable. Numerical tests demonstrate that interval Brent's method is preferable to the classical interval Newton's method in Ostrowski computational efficiency sense. Finding simple roots by Brent's method can be applied to large classes of functions. The interval Newton method for (1) defines a sequence $[x]_n$ by setting $[x]_0$ "appropriate" ($0 \notin f'([x]_0)$).

Table 3: Root inclusion interval from Newton's method.

1	[0.9999999999999998, 1.0000000000000001]
2	[0.3994222917109681, 0.3994222917109683]
3	[0.8041330975036642, 0.8041330975036645]
4	[-1.0000000000000003, -0.99999999999999973]
5	[2.094551481542326, 2.094551481542327]
6	[0.138257155056824, 0.1382571550568241]
7	[0.06931408868702346, 0.06931408868702348]
8	[0.03465735902085384, 0.03465735902085386]
9	[0.03840255184062174, 0.03840255184062206]
10	[0.009900009998000499, 0.009900009998000502]
11	[0.00249375003906201, 0.002493750039062013]
12	[0.345954815848242, 0.3459548158482421]
13	[0.2451223337533071, 0.2451223337533073]
14	[0.1649209572764409, 0.164920957276441]
15	[0.003617108178904063, 0.003617108178904064]
16	[0.0001514713347838879, 0.0001514713347838942]
17	[7.668595122185335e - 06, 7.668595122185338e - 06]
18	[0.5161535187579334, 0.5161535187579336]
19	[0.5395222269084157, 0.5395222269084159]
20	[0.5527046666784877, 0.5527046666784879]
21	[0.409992017989137, 0.4099920179891372]
22	[0.4525091455776411, 0.4525091455776413]
23	[0.4756268485960624, 0.4756268485960625]

Table 4: Root inclusion interval from Brent's method.

n	[Root]
1	[0.9999999999999991, 1.0000000000000005]
2	[0.399422291710968, 0.3994222917109732]
3	[0.8041330975036591, 0.8041330975036644]
4	[-1.0000000000000005, -0.9999999999999994]
5	[2.094551481542326, 2.094551481542332]
6	[0.138257155056824, 0.1382571550568241]
7	[0.06931408868701846, 0.06931408868702348]
8	[0.03465735902085385, 0.03465735902085386]
9	[0.03840255184061695, 0.03840255184062197]
10	[0.009900009997995498, 0.009900009998000502]
11	[0.002493750039057019, 0.00249375003906202]
12	[0.345954815848237, 0.3459548158482422]
13	[0.2451223337533063, 0.2451223337533115]
14	[0.1649209572764409, 0.164920957276446]
15	[0.003617108178899063, 0.003617108178904065]
16	[0.0001514713347788937, 0.0001514713347838938]
17	[7.668595122185335e - 06, 7.668595127185338e - 06]
18	[0.5161535187579335, 0.5161535187579336]
19	[0.5395222269084134, 0.5395222269084186]
20	[0.5527046666784877, 0.5527046666784929]
21	[0.409992017989137, 0.4099920179891422]
22	[0.4525091455776412, 0.4525091455776413]
23	[0.4756268485960624, 0.4756268485960625]

REFERENCES

1. S. Galdino, Interval methods for root-finding of nonlinear equations of one variable, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp. 439–444, 2012.
2. R. Moore, R. Kearfott, and M. Cloud, Introduction To Interval Analysis. Cambridge Uni Press (CUP), 2009.
3. E. Hansen and G. Walster, Global Optimization Using Internal Analysis, second edition, revised and expanded ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004.
4. G. Alefeld and J. Herzberger, Introduction To Interval Computation. New York: Academic Press, 1983, translated by Jon Rockne.
5. T. Eftekhari, A new proof of interval extension of the classic Ostrowski's method and its modified method for computing the enclosure solutions of nonlinear equations. Numerical Algorithms, 69, no. 1, 157-165, 2015.
6. Producing an interval extension of the King method. Appl. Math. Comput. 260, 288-291, 2015.
7. M.S. Petković, Multi-step root solvers of Traubs type in real interval Arithmetic. Appl. Math. Comput. 248, 430-440, 2014.
8. R. Moore, Interval Analysis. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1966.
9. U. Kulish and W. Miranker, "The arithmetic of the digital computers: A new approach," SIAM Review, vol. 28, no. 1, pp. 1–40, 1986.
10. L. Rall, Computacional Solution of Nonlinear Operator Equations. New York: Wiley, 1969.
11. R.P. Brent, Algorithms for Minimization without Derivatives. Prentice- Hall, 1973.
12. J. Kiusalaas. Numerical Methods in Engineering with Python, 2nd Edition, Cambridge University Press, 2010.
13. T. J. Dekker, Finding a zero by means of successive linear interpolation, In
14. B. Dejon and P. Henrici (eds), Constructive Aspects of the Fundamental Theorem of Algebra, Wiley-Interscience, 1969.
15. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and , B. P. Flannery. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, 3rd ed. , Cambridge University Press, 2007
16. X. Wu, Z. Shen, and J. Xia, "An improved regula falsi method with quadratic convergence of both diameter and point for enclosing simple zeroes of nonlinear equations." Applied Mathematics and Computation, vol. 144, pp. 381–388, 2003.
17. G. Alefeld and F. Potra, "Some efficient methods for enclosing simple zeroes of nonlinear equations." BIT, vol. 32, pp. 334–344, 1992.

18. G. Alefeld, F. Potra, and Y. Sh, "On enclosing simple roots of nonlinear equations." Math. Comput., vol. 61, pp. 733–744, 1993.
19. M. Dowel and D. Jarratt, "The "pegasus" method for computing the root of an equation." BIT, vol. 12, pp. 503–508, 1972.
20. "A modified regula falsi method for computing the root of an equation." BIT, vol. 11, pp. 168–174, 1971.
21. A. Ostrowski, Solution of Equations and Systems of Equations, 2nd ed. New York, N.Y.: Academic Press, 1966.

APPENDIX A - OCTAVE M-FILES

The following Octave script M-_le implement the interval Newton's method root-finding algorithm.

Newton.m - This routine computes bounds on the roots of a function from a given interval.

```

0. pkg load interval
1. % Newton Finds single roots of a function in given interval.
2. %
3. % Newton(func,dfunc,a,b,tol)
4. %
5. % Uses an interval version of Newton's method to provide
6. % rigorous bounds on the single roots of a function f.
7. % Bounds are displayed as they are found.
8. % Roots are displayed if radius of enclosure < tol
9. % or if enclosure is no longer becoming tighter.
10. %
11. % INPUT: func function of nonlinear equation.
12. % dfunc derivative function of nonlinear equation.
13. % a,b assumes that the root is initially bracketed
14. % in (a,b).
15. % tol used as stopping criterion.
16. %
17. function [x,t] = Newton(func,dfunc,a,b,tol)
18. x=infsup(a,b);
19. X=1.1*x;
20. t=0;
21. while or(wid(x) > tol , X < x)
22. X=x;
23. m=mid(X);
24. Fm=func(m);
25. GX=dfunc(X);
26. x=m-Fm/GX;
27. x=intersect(x,X);
28. t=t+1;
29. end
30. endfunction

```

Sample script that calls the above function is followed by running results:

```

format long
tol = 1e-14
f = @(x)2*x*exp(-10)+1-2*exp(-10*x);
g = @(x)2*exp(-10)+20*exp(-10*x);
[root,t]=Newton(f,g,0,1,tol)
f(root)

>> format long
>> tol = 1e-14
tol = 1.000000000000000e-014
>> f = @(x)2*x*exp(-10)+1-2*exp(-10*x);
>> g = @(x)2*exp(-10)+20*exp(-10*x);

```

```
>> [root,t]=Newton(f,g,0,1,tol)
root = [0.06931408868702346, 0.06931408868702348]
t = 7
>> f(root)
ans = [-4.440892098500627e-16, +2.220446049250314e-16]
>>
```

The following Octave script `M_le` implement the interval Brent (Van Wijngaarden{ Dekker{Brent Method [14])method root-finding algorithm. Using Brent's method, return the root of a function `func` known to lie between `(x)` and `(x)`. The root will be refined until its accuracy is `tol`.

`Brent.m` - This routine computes bounds on the roots of a function from a given interval.

```
0. % pkg load interval
1. % Brent Finds single roots of a function from a given interval.
2. %
3. % Brent(func,a,b,tol)
4. %
5. % Uses an interval version of Brent's method to provide
6. % rigorous bounds on the single roots of a function f.
7. % Bounds are displayed as they are found.
8. % Roots are displayed if radius of enclosure < tol
9. % or if enclosure is no longer becoming tighter.
10. %
11. % INPUT: func function of nonlinear equation.
12. % a,b limits of the interval containing the root.
13. % tol used as stopping criterion.
14. % macheps = eps(1/2);
15. function [x,Iter] = Brent(f,a,b,tol)
16. IterMax=500;
17. Iter=0;
18. x=infsup(a,b)
19. a=inf(x)
20. b=sup(x)
21. Fa=f(a);
22. if Fa == 0; x = infsup(a,a); return; end
23. Fb=f(b);
24. if Fb == 0; x = infsup(b,b); return; end
25. if Fa*Fb > 0
26. 'Root is not bracketed in (a,b)'
27. x=infsup(NaN, NaN);
28. return;
29. end
30. c=b;Fc=Fb;
31. while (1 == 1)
32. if Fb*Fc > 0; c=a; Fc=Fa; d=b-a; e=d ;end
33. if abs(Fc) < abs(Fb)
34. a=b;b=c;c=a;Fa=Fb;Fb=Fc;Fc=Fa;
35. end
36. Tol = 2*eps(1/2)*abs(b) + 0.5*tol;
38. z=(c-b)/2;
39. % Conversion to interval by infimum and supremum computed
40. % such that [x1,x2] is enclosed in interval x = infsup(x1,x2)
41. if Fa*Fb < 0
42. if a < b
43. x=infsup(a, b);
44. else
45. x=infsup(b, a);
46. end
47. else
48. if b < c
49. x=infsup(b, c);
```

```

50.     else
51.         x=infsup(c, b);
52.     end
53. end
54. if or(abs(z) <= tol , Iter > IterMax); break ;end
55. if Fb==0
56.     '===== F(x)= 0 ====='
57.     x=infsup(b,b);
58.     break
59. end
60. if and(abs(e) >= Tol , abs(Fa) )> abs(Fb)
61.     s=Fb/Fa;
62.     if a == c
63.         p=2*z*s;q=1-s;
64.     else
65.         q=Fa/Fc;r=Fb/Fc;p=s*(2*z*q*(q-r)-(b-a)*(r-1));
66.         q=(q-1)*(r-1)*(s-1);
67.     end
68.     if p>0; q=-q; else p=-p; end
69.     if 2*p < min(3*z*q-abs(Tol*q),abs(e*q))
70.         e=d;d=p/q;
71.     else
72.         d=z;e=z;
73.     end
74. else
75.     d=z;e=z;
76. end
77. a=b;Fa=Fb;
78. if abs(d) > Tol
79.     b=b+d; 'if1';
80. else
81.     b=b+sign(z)*Tol; 'if2';
82. end
83. Iter=Iter+1;Fb=f(b);
84. end
85. 'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx'
86. if or(abs(z) <= tol ,Fb == 0); Erro=0;else;Erro=1;end
87. end
-

```

Sample script that calls the above function is followed by running results:

```

format long
tol = 1e-14
f = @(x)2*x*exp(-10)+1-2*exp(-10*x);
[root,t]=Brent(f,0,1,tol)
f(root)

>> format long
>> tol = 1e-14
tol = 1.0000000000000000e-014
>> f = @(x)2*x*exp(-10)+1-2*exp(-10*x);
>> [root,t]=Brent(f,0,1,tol)
x = [0, 1]
a = -0
b = 1
ans = xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
root = [0.06931408868701846, 0.06931408868702348]
t = 10
>> f(root)
ans = [-5.040412531798211e-14, +2.220446049250314e-16]
>>

```

Capítulo 3



10.37423/220205400

PRÁTICAS DE ENSINO EM ENGENHARIA QUÍMICA APLICANDO REJEITO DE CAULIM DA AMAZÔNIA

MARLICE CRUZ MARTELLI

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

SHIRLEY CRISTINA CABRAL NASCIMENTO

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

DARLLAN DO ROSÁRIO PINHEIRO

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

ERIC MOCHIUTTI

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

LEONARDO RODRIGUES GONÇALVES

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

JOSUÉ CHAVES TUMA

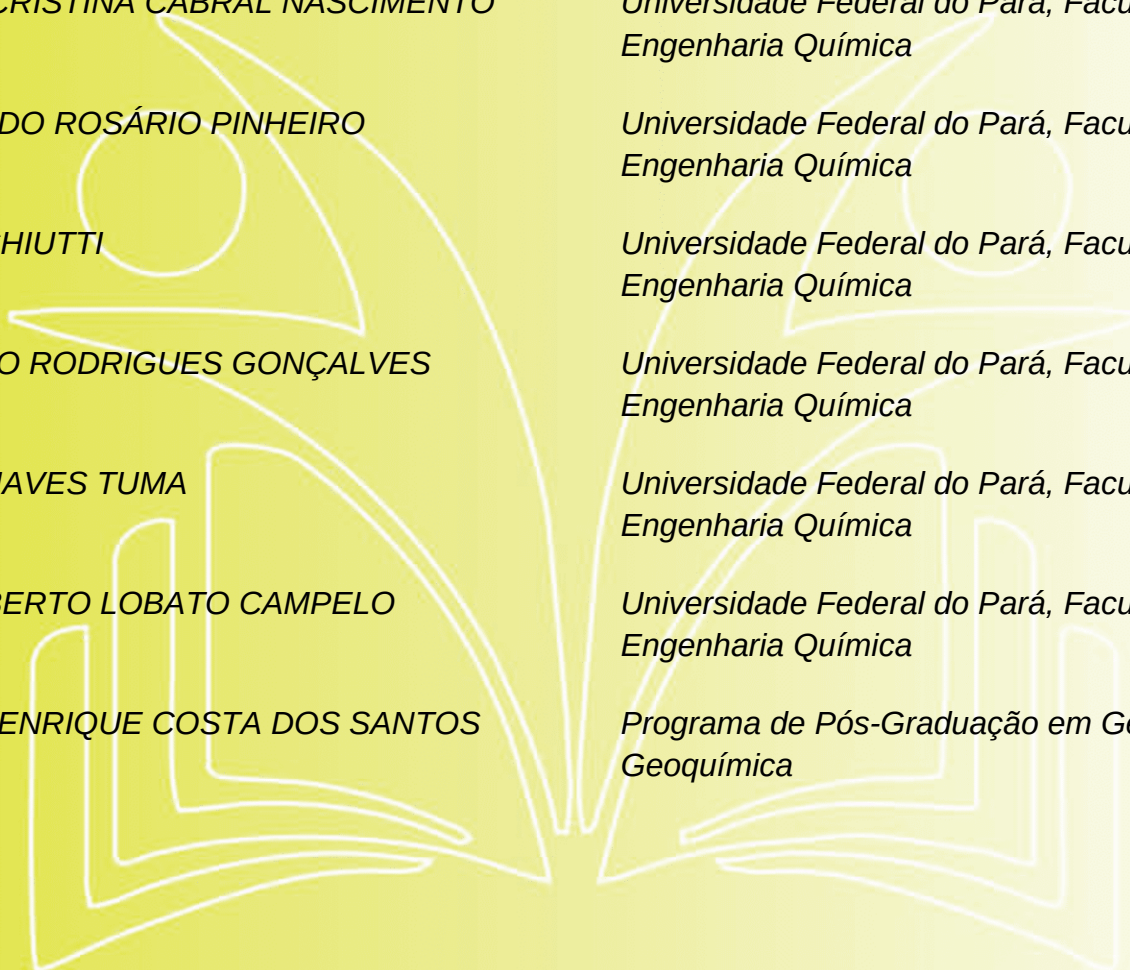
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

JOSÉ ROBERTO LOBATO CAMPELO

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

PABLLO HENRIQUE COSTA DOS SANTOS

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica



Resumo: Embora as inúmeras empresas instaladas na região Amazônica tenham uma grande importância na economia do estado, como as de beneficiamento de caulim, geram uma quantidade significativa de rejeito, que é armazenado ao meio ambiente. O rejeito de caulim é formado em grande parte por caulinita, que é um material com grande potencial para ser empregado como matéria prima em vários processos e para diferentes tipos de aplicações. Neste trabalho é a da síntese de zeólita sodalita e zeólita A. O método aplicado de aproveitamento é através de sua utilização em aulas práticas de engenharia. Para isto foram produzidos roteiros experimentais englobando várias etapas de processamento como moagem, peneiramento, síntese de zeólitas e a caracterização do material sintetizado. Os resultados são apresentados para todas as etapas de síntese, classificação por peneiramento e de caracterização dos materiais por DRX.

Palavras-chave: *Caulim. Rejeito. Ensino.*

1. INTRODUÇÃO

O caulim é formado essencialmente pelo mineral caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), e destaca-se como um dos mais importantes minerais industriais e, provavelmente, um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre. O termo é utilizado tanto para denominar a rocha que contém a caulinita como seu principal constituinte, quanto para o produto resultante do seu beneficiamento (FARIAS, 2009).

Embora a atividade mineradora tenha uma grande importância na economia do estado do Pará, as inúmeras empresas instaladas na região, devido sua elevada produção, geram uma quantidade significativa de rejeito, que é disposto, de diversas formas, ao meio ambiente. Esse resíduo é o próprio caulim, constituído basicamente por caulinita, sendo que a sua granulometria é inadequada para a produção de papel, caracterizando dessa maneira em um material com grande potencial para ser empregado como matéria prima em vários processos e para diferentes tipos de aplicações dentre elas a síntese de zeólitas (MAIA *et al.*, 2007). Zeólitas são aluminossilicatos cristalinos com uma grande variedade de aplicações tecnológicas. Sua estrutura apresenta canais e cavidades, nas quais se encontram íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorbatos e sais. A utilização desse rejeito como matéria-prima para a síntese de zeólitas é largamente estudada. Alto grau de hidratação, baixa densidade, estabilidade da estrutura cristalina, propriedades de troca catiônica, condutividade elétrica, adsorção de gases e propriedades catalíticas são as principais propriedades das zeólitas (LUZ, 1995).

A síntese de zeólitas utilizando rejeito de caulim como matéria-prima vem sendo largamente estudada, tendo em vista que o caulim possui consideráveis concentrações de Si e Al, principais materiais de uma estrutura zeolítica. Nesse sentido, este trabalho apresenta a utilização do rejeito de caulim para aplicação nas aulas de laboratório de ensino em engenharia química com o objetivo de reaproveitar o rejeito e oferecer aos alunos através de uma metodologia experimental conceitos importantes sobre operações unitárias (moagem e peneiramento), síntese e caracterização de materiais (zeólitas).

2. METODOLOGIA

Para este trabalho foi realizado um levantamento de publicações que utilizaram o rejeito de caulim como matéria prima principal adequando a utilização do mesmo para práticas de laboratório abordando os assuntos: moagem, peneiramento, síntese de materiais e caracterização do material

produzido que neste caso foi zeólita, assim como literaturas que abordam operações unitárias. Com as adequações realizadas dois roteiros experimentais foram formulados sendo descritos nas subseções 2.1 e 2.2.

Para cada um dos roteiros foi pedido aos alunos relatórios dos experimentos e os resultados que estão apresentados neste trabalho foram os obtidos pelos discentes que cursaram a disciplina laboratório de engenharia química 2 da Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

2.1 AULA 01: PRÁTICA DE MOAGEM E PENEIRAMENTO

Materiais

- Rejeito de Caulim
- Moinho de bolas
- Balança Eletrônica
- Peneiras (série Tyler): # 65; #80; # 100; # 150; # 200.
- Agitador de peneiras

Procedimento experimental

- Medir a massa de cada peneira (peneiras vazias), previamente lavada e seca;
- Colocar as peneiras na ordem de maior abertura (menor mesh) para a de menor abertura (maior mesh);
- Medir a massa de rejeito de caulim, previamente seco em estufa a 105° C por 24h;
- Submeter o material à moagem por 30 minutos utilizando um moinho de bolas;
- Medir a massa, do material moído, que vai ser peneirado;
- Colocar a massa moída na peneira de maior abertura da série e peneirar o material em mesa vibratória por 15 minutos para sua classificação;
- Medir a massa de cada peneira com a respectiva massa retida;
- Preencher a tabela de distribuição granulométrica (massa retida, %retida, %passante, %retida acumulada e %passante acumulada).

Cálculos

O diâmetro médio das partículas que passam em cada peneira foi estimado como sendo o valor médio entre o diâmetro de abertura da peneira analisada (n) e o diâmetro de abertura da peneira anterior (n-1), de acordo com a equação (1).

$$\text{Diâmetro médio} = \frac{D_n + D_{n-1}}{2} \quad (1)$$

As porcentagens de massas retidas e passantes foram calculadas pelas equações (2) e (3).

$$\%Retida = \frac{m_{retida}}{m_{total}} * 100 \quad (2)$$

$$\%Passante = \frac{m_{total} - m_{retida}}{m_{total}} * 100 \quad (3)$$

Assim, será possível calcular as porcentagens acumuladas de massas retidas e passantes através das equações (4) e (5) respectivamente.

$$\%Retida \text{ acumulada} = \%Retida + \%Retida \text{ nas peneiras anteriores} \quad (4)$$

$$\%Passante \text{ acumulada} = 1 - \%Retida \text{ acumulada} \quad (5)$$

2.1 AULA 02: SÍNTESE DE ZEÓLITA SODALITA + ZEÓLITA A**Materiais**

- Na₂CO₃ P.A. (Marca Neon, pureza: 99%)
- NaOH P.A. (Marca Isofar, pureza: 97%)
- Metacaulinita obtida por calcinação (700°C, 2h) do rejeito de caulim retido na peneira de #100 obtida na aula anterior;
- Balão de três vias (capacidade: 2L)
- Agitador Mecânico Eletrônico
- Manta de aquecimento
- Controlador de temperatura
- Balança analítica
- Bomba de vácuo
- Microcomputador
- Balões volumétricos
- Becker
- Funil Buchner

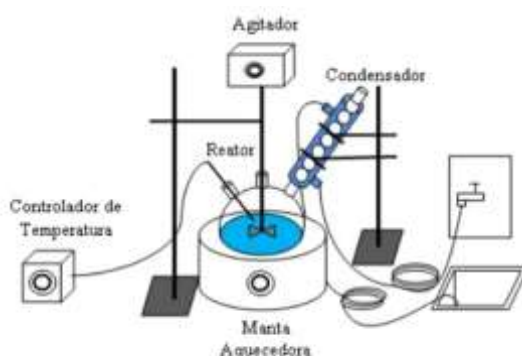
Preparo das soluções de carbonato de sódio e hidróxido de sódio

- Preparar 2 volumes de 1 L de solução de carbonato de sódio em balão volumétrico 1000 mL.
- Medir aproximadamente 42,8385 g de carbonato de sódio em balança analítica com auxílio de um béquer. Repetir o mesmo procedimento mais uma vez para preparar o segundo volume de solução.
- Solubilizar o carbonato adicionando água destilada no Becker e agitando com auxílio de um bastão de vidro.
- Transferir cuidadosamente para o balão de 1 L utilizando um funil de vidro de 30mL, lavando o béquer com água destilada (piseta com água destilada). Tampar, aferir o balão e homogeneizar a solução.
- Preparar uma solução de 250 mL de hidróxido de sódio medindo aproximadamente 50,5094 g de hidróxido de sódio em balança analítica com auxílio de um Becker.
- Solubilizar o hidróxido de sódio adicionando água destilada no béquer e agitando com auxílio de um bastão de vidro (cuidado: a solubilização do hidróxido de sódio com água é exotérmica, o Becker irá aquecer).
- Transferir cuidadosamente para o balão de 250 mL lavando o Becker com água destilada (piseta com água destilada). Tampar, aferir o balão e homogeneizar a solução.

Síntese de sodalita e zeólita A

- Utilizar o sistema demonstrado na Figura 1.
- Adicionar 40 g de metacaulinita, 1,320 L de solução de Na_2CO_3 e 60 mL de solução de NaOH.
- Aquecer até 100 °C e deixar reagindo durante 90 min.
- Aguardar esfriar e filtrar à vácuo o sólido e lavar durante a filtração com água destilada até o filtrado atingir pH neutro (realizar este procedimento com auxílio de fita de pH).
- Secar o material seco a 100 °C, armazená-lo em frascos de amostras.
- O docente levará as amostras para caracterizar por DRX, e disponibilizará os resultados para os discentes tratarem os resultados e incorporarem ao relatório.

Figura 1. Sistema para síntese.



Fonte: PINHEIRO, 2017

3 RESULTADOS

Os resultados descritos a seguir foram obtidos pelos discentes após as práticas.

3.1 PENEIRAMENTO

Na Tabela 1 estão os valores referentes a análise granulométrica do rejeito. Pode ser observado que houve uma quantidade maior de massa retida na malha de # 80 (tyler).

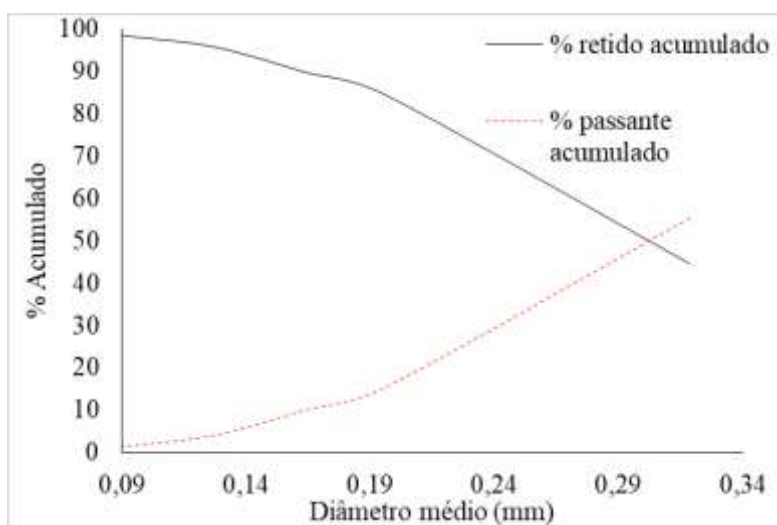
Tabela 1. Análise granulométrica

Tyler	Diâmetro (mm)	Retida	% retido	% passante	% retido acumulado	% passante acumulado
65	0,3185	255,4	25,54	74,46	44,656	55,344
80	0,196	398,45	39,845	60,155	84,501	15,499
100	0,1645	52,3	5,23	94,77	89,731	10,269
150	0,1275	60,47	6,047	93,953	95,778	4,22
200	0,09	27,61	2,761	97,239	98,539	1,461

Fonte: Autores

Na Figura 2 estão as curvas de distribuição granulométrica. Por meio das curvas de distribuição é possível identificar as porcentagens retidas e passantes em cada faixa de granulometria e identificar uma tendência linear da distribuição granulométrica das partículas, isso significa que a amostra em questão possui uma granulação continua conforme Silva *et al* (2008). Mostra, também, o crescimento e decrescimento das porcentagens de massa passante e massa retida, sendo este de forma proporcional. O diâmetro médio foi de aproximadamente 3,5mm.

Figura 2. Retido acumulado e passante acumulado.



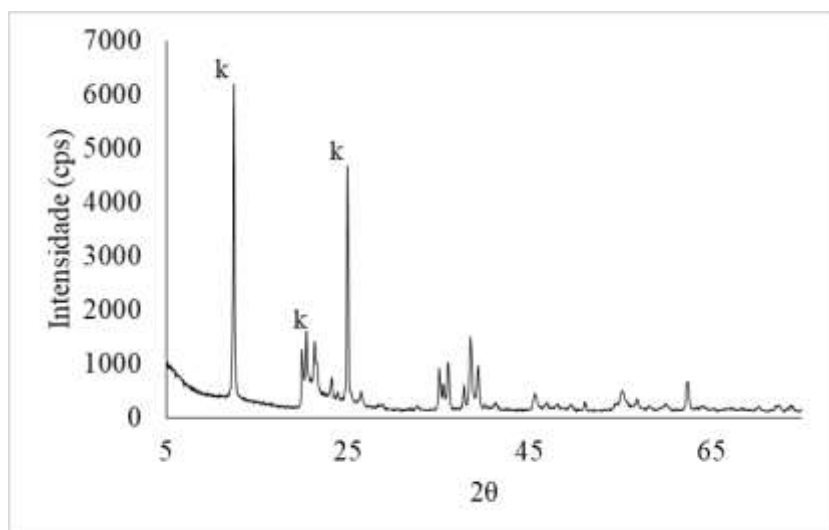
Fonte: Autores

3.2 CARACTERIZAÇÃO

DRX

Na Figura 3 está o difratograma caracterizado pelos alunos apresentando picos principais característicos para caulinita, identificado como k (posição 2θ : 12,4°; 21,2°; 24,9°).

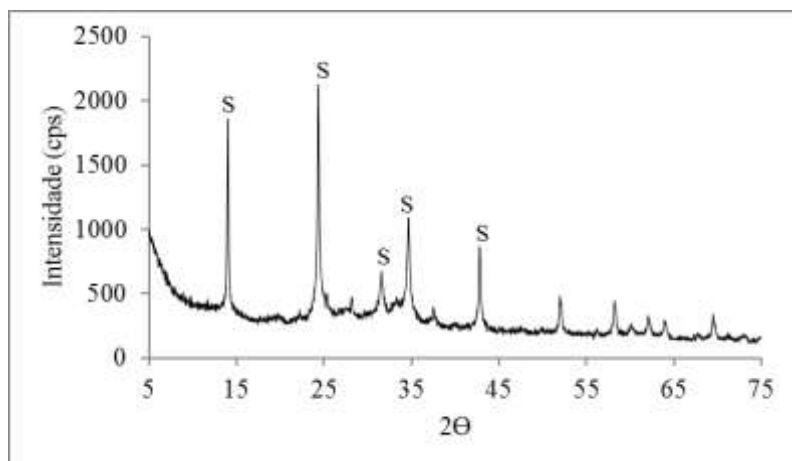
Figura 3. DRX rejeito



Fonte: Autores

Na Figura 4 está o difratograma do produto final de síntese. Pode ser observada que a fase zeolítica majoritária sintetizada pelos discentes foi a sodalita identificada como S (posição 2θ : 14°; 24,34°; 31,6°; 34,62°; 42,76°), porém picos menores entre 50 a 75° podem ser observados sendo estes característicos para a zeólita A.

Figura 4. DRX zeólita sintetizada.



Fonte: Autores

3.3 AVALIAÇÃO DOS RELATÓRIOS

Os resultados avaliativos referentes aos relatórios das práticas elaboradas (Aula 01 e Aula 02) foram satisfatórios, tendo em vista que os 22 discentes da turma obtiveram notas médias de 82,6 e 91,6 respectivamente. Em práticas de anos anteriores, os roteiros laboratoriais apresentavam uso de outros materiais precursores. Para as práticas de cominuição utilizavam-se blocos de concreto e para a síntese de zeólitas utilizavam-se materiais para análise de reagentes P.A., enquanto que neste trabalho foram utilizados materiais resíduos de caulim.

Vale ressaltar que para os discentes a abordagem sobre caulim, assim como o resíduo de caulim, era outrora, de forma teórica em disciplinas relacionadas à processos industriais, deste modo, a inclusão destes materiais em práticas laboratoriais desde o beneficiamento até uma aplicação prática em síntese de um novo produto, por exemplo, se mostrou satisfatória levando os discentes serem críticos e aprenderem sobre responsabilidade ambiental, sendo sujeitos e não mais objetos de suas ações e, quando estiverem diante de grandes projetos que exijam tamanhas habilidades e competências, saberão atuar com humanização, o que será um diferencial no mercado de trabalho, que prioriza por essa demanda.

4 CONCLUSÃO

A aplicação de rejeito de caulim em práticas de laboratório em ensino de engenharia química foi satisfatória uma vez que os discentes através dos resultados obtidos conseguiram trabalhar este material aplicando conceitos de moagem e peneiramento, assim como sintetizar um material (zeólita) a partir de uma matéria prima alternativa. E principalmente fazendo uso de um material armazenado no meio ambiente, sendo demonstrada uma aplicação deste resíduo de beneficiamento de caulim e a possibilidade de adequá-las às práticas de ensino. Além disto, os discentes tiveram uma visão prática de identificação e caracterização de materiais através da análise de difratogramas de DRX. Os discentes desta forma puderam trabalhar com o mesmo material utilizado na moagem e peneiramento usando-o como precursor de síntese de um material (zeólita).

Metodologias estas de ensino, que envolvem os alunos nos processos de aprendizagem são eficazes para o desenvolvimento de suas habilidades e competências para a sua formação, baseadas na aprendizagem ativa, senso crítico, capacidade de decisão, estímulo ao trabalho em grupo e com base em uma engenharia sustentável além das questões ambientais, com a solução de um problema e geração de novos produtos para a melhoria da sociedade.

REFERÊNCIAS

FARIAS, J. O.G. Perfil do Caulim. Relatório 39. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM); 2009. Contrato Nº 48000.003155/2007-17. Ministério de Minas e Energia.

LUZ, A.B. Zeólitas: propriedades e usos industriais. Série: Tecnologia Mineral. CETEM/MCT, 68, 1995, 37p.

MAIA, A. A. B.; SALDANHA, E.; ANGÉLICA, R.S. et al. Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. Cerâmica. 2007 Sep. p. 319-324.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. Estudos Avançados, 19 fev. 2005 a. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v19n53/24088.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2011.

Capítulo 4



10.37423/220205409

PERSPECTIVAS DOS ESFORÇOS DE INOVAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

Humberto Medrado Gomes Ferreira

UNIFASE

Isabel Cristina dos Santos

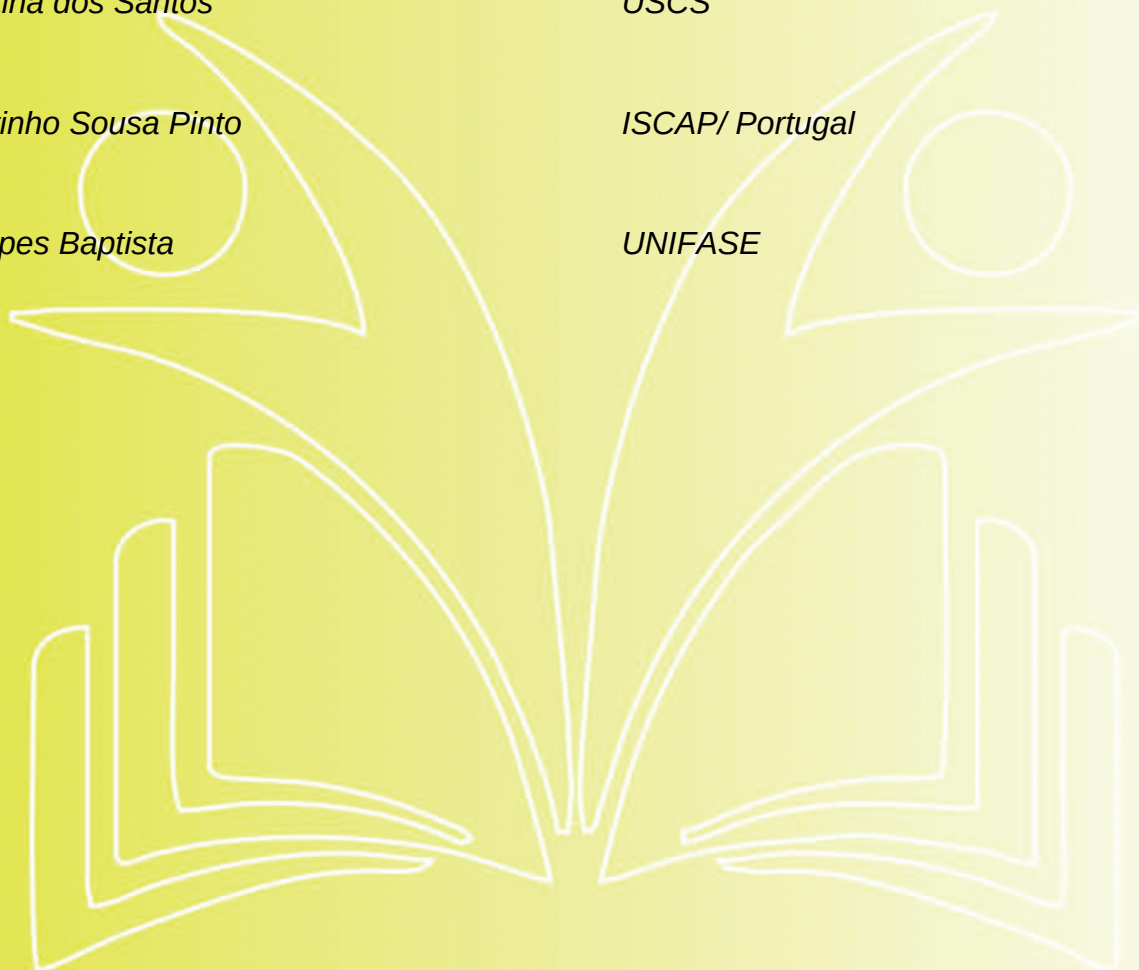
USCS

José Agostinho Sousa Pinto

ISCAP/ Portugal

Luciene Lopes Baptista

UNIFASE



Resumo: A evolução demográfica ensejou um conjunto de necessidades refletidas em novos padrões de consumo, com efeitos tanto na produção industrial quanto no comportamento social, deslocando o eixo economia-ambiente para uma nova arena de debates que inclui a preocupação universal com a geração energética, que é um importante elemento de segurança e soberania nacional.

A mitigação das crises energéticas destaca-se nas pautas das discussões dos países impondo soluções sobre a urgência de novas fontes de geração e de produção, visando a redução da dependência de uma matriz centrada em combustível fóssil.

O aumento da demanda requer urgente revisão das matrizes energéticas globais conjugado à necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, que surge como imperativo à solução energética em nível mundial. Como um dos principais atores da cadeia energética mundial, os centros de pesquisa, governo e empresas devem alinhar-se com o fito de constituir uma estrutura inovadora no setor.

Tendo como suporte as questões propositivas de investigação a luz dos eixos principais de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, este trabalho qualitativo, e de caráter exploratório-descritivo, tem por objeto de estudo a P&DT no setor energético brasileiro.

Palavras-chave: Inovação; Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico; Technological Readiness Level; Produção Energética.

OBJETIVOS

Esta pesquisa se propõe analisar as interações e os esforços de inovação no setor energético brasileiro, a partir da análise da pesquisa e desenvolvimento tecnológico – P&DT - em empresas e Institutos de Ciência e Tecnologia (ICT) focados em pesquisa no segmento de energia e que constituem a cadeia produtiva do setor energético brasileiro. Assim, define-se como objetivos específicos deste estudo, centrado no setor energético nacional:

- Apresentar os conceitos que justifiquem os esforços tecnológicos no setor;
- Delinear o papel do governo nos esforços de inovação no cenário da P&DT no setor; - Apresentar a TRL como metodologia de análise de maturidade das inovações no setor de energia no Brasil.

Aspectos teórico-metodológicos

O Brasil, em que pese sua participação e efetiva pesquisa pela busca de fontes renováveis de energia, é referência mundial não só na exploração em águas profundas como também no desenvolvimento de inovações estratégicas para o setor.

Observa-se em trabalhos acadêmicos que a temática acerca da produção energética do Brasil e sua matriz, está frequentemente associada aos seguintes conceitos:

- Matriz Energética: Compreende a configuração das fontes energéticas, distintas entre renováveis e não renováveis, a partir da análise dos setores energéticos produtivos no Brasil, em especial dos setores hidrelétrico, eólico, petróleo e gás natural, solar e biomassa. Contribui para a formação de uma matriz energética consistente políticas oriundas do Marco Regulatório para o setor, sendo projetado neste trabalho sua estruturação e perspectivas.
- Eficiência energética: compreende a necessidade premente de abastecimento energético não só para os setores produtivos, como também para as famílias. Do seu conceito derivam as possibilidades de crescimento e desenvolvimento econômico de um país;
- Planejamento energético: consiste na análise estrutural da matriz energética brasileira, fontes e capacidade produtiva e as interações entre agentes da cadeia produtiva;
- Interações em P&D: visa fazer frente às necessidades tecnológicas do setor incrementado pelo conceito da hélice-tríplice que envolve os principais atores do segmento na busca por inovações e projetos de pesquisa e desenvolvimento para o setor.

Ao conjunto desses elementos definidos, produziu-se um levantamento bibliométrico sintetizado nas três principais ocorrências e que é representado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento bibliométrico por eixo temático

Eixo Temático (Palavras-Chave)	Artigos Analisados	“Hot Topics” (Frequência)
Matriz Energética & Marco Regulatório	24	Fontes Alternativas (18); Competitividade (10); Sustentabilidade (9)
Eficiência Energética	52	Eficiência Produtiva (23); Política Energética (13); Segurança Energética (8)
P&DT	51	Desenvolvimento Tecnológico (14); Inovação Sustentável (11); Inovação (9)
Planejamento Energético	42	Potencial Elétrico Alternativo (16); Investimentos em Energia (7) ; Eficiência Energética (6)

Fonte: Os autores (2016)

Tendo esses constructos teóricos por fundamento, salienta-se que a pesquisa realizada a título de análise bibliométrica encontrou elementos esparsos nas análises efetuadas, visto que os temas foram tratados, em sua maioria, de forma independente, por vezes aplicado a casos únicos, a partir dos direcionamentos dos temas pesquisados.

Para a futura execução desse trabalho, a metodologia de pesquisa seguirá o definido por Gil (2010), de acordo com a seguinte classificação:

- a) Será de natureza exploratória e descritiva. Exploratória, pois o principal propósito é proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito envolvendo, neste tópico principalmente o levantamento bibliográfico sobre o tema proposto, descritiva, pois o projeto proposto visa “ir além da de identificação da existência de relações entre variáveis” (GIL, 2010); objetivando a pesquisa determinar à natureza dessa relação visto a proximidade entre os atores envolvidos no processo.
- b) Quanto a abordagem, a pesquisa será qualitativa, pois nela depreende-se que o valor da pesquisa está intimamente ligado a analisar e compreender efeitos que o objeto estudado exerce sobre o meio onde se localiza e a forma como se dá sua interação humana neste contexto (SANTOS, 2004).

BREVE DESCRIÇÃO

Um dos grandes problemas para a humanidade se reflete na capacidade de geração de energia para que se possa pensar em desenvolvimento sob a ótica da eficiência baseada no tripé economia-ambiente e sociedade. Alia-se a este contexto a necessidade de se enfrentar possíveis crises energéticas por conta da ação do homem, em especial seu *modus operandi*, conquanto se busque respostas para mitigar a dependência das fontes energéticas tradicionais ocasionadas pelo aumento da população, crescimento econômico e aumento da demanda por energéticos (FURTADO, 2010).

O Brasil é rico em fontes renováveis de energia, que compreendem aquelas oriundas das fontes geotérmica, eólica, solar, das marés, biomassa (produto proveniente da transformação da lenha, bagaço de cana e lixo) e resíduos.

Além disso, o Brasil também direciona parte considerável do seu PIB para investimento em pesquisa e desenvolvimento, que busquem inovações tecnológicas que possam se aplicar ao segmento de energia, tendo desenvolvido, ao longo dos últimos 10 anos, potencial estratégico e competitivo no âmbito científico e tecnológico que permitirão o país criar uma expectativa positiva frente ao futuro dos investimentos em P&DT (CRUZ, 2010).

Identificar esforços e o direcionamento destas inovações é condição premente na gestão energética atual, ambiente altamente volátil e que, pelo seu dinamismo, requer práticas de gestão que ampliem o conhecimento sobre novas formas produtivas que incrementem o segmento.

Complementa este pensamento a oportunidade de redirecionamento estratégico como maneira de fomentar suas estratégias de negócios a potencialização das oportunidades de mercado, que tem no aprimoramento e no incremento das competências um forte aliado (ALMEIDA E MELO, 2012).

Como se apresenta no Quadro 1 a gestão tecnológica apresenta fases distintas de evolução, a saber:

Quadro 1 - Evolução dos modelos de gestão tecnológica

Descrição	Modelo de 1ª Geração	Modelo de 2ª Geração	Modelo de 3ª Geração	Perspectiva de desenvolvimento sustentável
Período	1960 - 1974	1975 - 1990	1990 – 1999	2000
Ênfase	Fomento	Rentabilidade	Rentabilidade e crescimento	Rentabilidade, crescimento, responsabilidade social e

Estratégia tecnológica	Estratégia tecnológica não explícita	Transição para o alinhamento das estratégias tecnológicas às estratégias de negócio		ambiental.
Ligação entre P&D e o planejamento estratégico corporativo	Sem ligação	Realimentação não explícita. Normalmente ocorre via conhecimento tácito	Forte alinhamento das estratégias tecnológicas às estratégias de negócio, com foco na rentabilidade	Alinhamento das estratégias tecnológicas às estratégias de negócio e espaço estratégico para P&D de alto risco e alta recompensa, de mais longo prazo. Foco na sustentabilidade e visão de longo prazo
			P&D influencia o planejamento estratégico das áreas de negócio. Utilização de <i>roadmappings</i> tecnológicos	P&D contribui para o planejamento estratégico corporativo, pela construção de cenários tecnológicos de negócios e technological forecasting
Planejamento tecnológico	Capacitação e infraestrutura	Planejamento, avaliação e controle de projetos	Planejamento estratégico da tecnologia, incorporando as análises de maturidade tecnológica e de	Planejamento estratégico da tecnologia incorporando as análises de maturidade tecnológica e de impactos competitivo, social e ambiental.

Fonte: Almeida e Melo (2012, p.286)

O Quadro 1 apresenta a possibilidade de ampliação da pesquisa que gere novo dinamismo ao mercado e possibilite refrear a dependência estratégica de combustíveis fósseis ao propor novos modelos tecnológicos inovadores, sejam eles incrementais ou radicais, melhorando o planejamento das ações integradas entre a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico que transborde um novo olhar para o mercado.

Nesse sentido, os princípios propostos por um novo modelo conceitual, a Technology Readness Level (TRL) - segundo Mankins (1995) “um sistema de medição sistemática que suporta a avaliação da maturidade de uma determinada tecnologia”, dará suporte a proposta de pesquisa desse artigo, visto que é um modelo adotado para legitimar o padrão escalar do nível de maturidade tecnológica de um projeto em P&D, onde se apresentam os fundamentos que classificam o grau de maturidade dentro do qual os processos inovadores se alinham e demonstrem condições para absorver o maior e melhor nível de maturidade possível. Em síntese, é a avaliação do grau de maturidade de uma inovação e sua possibilidade de uso e que é apresentado pelo Quadro 2.

Quadro 2 – Technology Readiness Level – TRL

TRL	Definição
TRL 1	Princípios básicos observados e relatados
TRL 2	Conceito e / ou aplicação da Tecnologia formulado
TRL 3	Função crítica analítica e experimental e / característica de prova de conceito
TRL 4	Componentes e / ou validação placa de ensaio em ambiente de laboratório
TRL 5	Componentes e / ou validação placa de ensaio no ambiente relevante
TRL 6	Sistema / modelo do subsistema ou demonstração do protótipo em um relevante meio ambiente (solo ou espaço)
TRL 7	Protótipo de demonstração Sistema em um ambiente espacial
TRL 8	Sistema real concluído e "vôo qualificado" através de teste e demonstração (solo ou espaço)
TRL 9	Sistema real "vôo comprovado" através de operações de missão bem-sucedidas

Fonte: Department of Energy (2011)

RESULTADOS ESPERADOS PELA PROPOSTA DE ARTIGO

Da perspectiva teórica descrita nesse artigo extraem-se proposições a serem investigadas por eixo temático, e que deu origem ao Quadro 3.

Quadro 3 - Questões proposições de investigação

Eixo: Matriz energética (ME) & Marco Regulatório (MR)
Proposições: (1) A otimização nas etapas de produção e distribuição de energia, via inovação tecnológica, devem ser elementos componentes da P&DT no setor. (2) que as características transformadoras advindas do marco regulatório estimulam o adensamento da inovação ao longo cadeia produtiva energética do Brasil e devem servir para a perenidade do fornecimento energético.
Eixo: Eficiência Energética
Proposição: O investimento em P&DT no setor energético contribuiu para a eficiência energética, ao incorporar, ao longo da cadeia produtiva a oferta dos recursos naturais.
Eixo: Planejamento Energético
Proposição: Os processos de P&DT, via incremento tecnológico, contribuem para planejamento energético brasileiro, que considera a progressão do consumo, a dinâmica demográfica e as taxas de crescimento industrial.
Eixo: P&DT
Proposição: em se tratando de um ativo estratégico ao desenvolvimento social e econômico do país, a pesquisa energética deve provocar interações público-privadas no padrão de inovação aberta.

Fonte: Os autores (2016)

Como salienta Borchardt et al (2007), as perspectivas públicas quanto a privada, têm, por finalidade, aumentar a competitividade do setor com as pesquisas de curto prazo e longo prazo que mitiguem a escassez e atuem diretamente sobre a cadeia produtiva – no curto prazo e crie novas tecnologias produtivas – em longo prazo.

Por conta disso, quando o assunto é pesquisar o setor energético os centros de pesquisa, governo e empresas formam a base estrutural para o desenvolvimento de novas tecnologias produtivas e inovadoras.

É mister estruturar a pesquisa e a inovação no setor energético brasileiro que sofre com a influência de forças distintas de mercado e que influenciam também os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, comprometendo, de forma positiva ou negativa, projetos inovadores e mesmo sua colocação para o mercado.

Essa premissa fundamenta a proposta de pesquisa deste artigo que deverá responder sobre a configuração da Pesquisa e o Desenvolvimento Tecnológico no setor energético brasileiro. Em conclusão, tendo sido realizada uma entrevista semiestruturada que, sob a ótica de um pré-teste procurou-se a validação da proposta da pesquisa, pode-se afirmar que:

- É extremamente relevante definir-se o direcionamento dos esforços de P&DT no segmento energético, visto que muitos projetos se perdem ao longo da cadeia de desenvolvimento;
- As perspectivas de investimento precisam ser claras quanto ao direcionamento: seu uso comercial, de cunho público ou privado; ou uso exclusivo do desenvolvedor das inovações;
- Salieta-se a relevância da avaliação dos projetos patenteados para uso no segmento energético ao longo de toda cadeia produtiva que se traduzem em eficiência energética;
- Os processos de P&DT têm que ser avaliados de acordo com a disponibilidade de recursos, tanto público quanto privado;
- Necessidade de validação do uso da TRL no âmbito da aplicabilidade das inovações no setor energético e;
- Maior criticidade quanto aos custos ao longo da cadeia de P&DT sob a ótica da TRL;

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. F. L; MELO, M. A. C. Gestão da tecnologia e aprendizagem organizacional: evolução das práticas de uma empresa brasileira de energia na direção do desenvolvimento sustentável. *Parcerias Estratégicas*, v. 15, n. 30, p. 279-296. 2012.
- BORCHARDT, M. SELLITTO, M. A; PEREIRA, G. M; POLTOSI, L. A. C. Implementação do EcoDesign: Um estudo de caso na indústria eletrônica. XXVII Enegep. Foz do Iguaçu, 2007.
- CRUZ, Carlos Henrique de Brito. Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil: desafios para o período 2011 a 2015. *Revista Interesse Nacional*, 2010.
- FURTADO, M. C. Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energia renováveis no Brasil. São Paulo: 2010. Originalmente apresentado como Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2010.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas. 2010.
- MANKINS, John C. Technology readiness and risk assessments: A new approach. *Acta Astronautica*, Volume 65, Issues 9–10, November–December 2009.
- SANTOS, I. C. Um modelo estruturado de gestão do conhecimento em indústrias de base tecnológica: estudo de caso de uma empresa do setor aeronáutico. São Paulo/SP, 2004. Apresentado originalmente como Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. 2004.
- U.S. Department of Energy. Technology Readiness Assessment Guide, 2011. .

Capítulo 5



10.37423/220205413

INSTRUMENTOS PARA AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE PROGRAMAS CURRICULARES: A MOTIVAÇÃO COMO O FOCO CENTRAL

Lucas Anastasi Fiorani

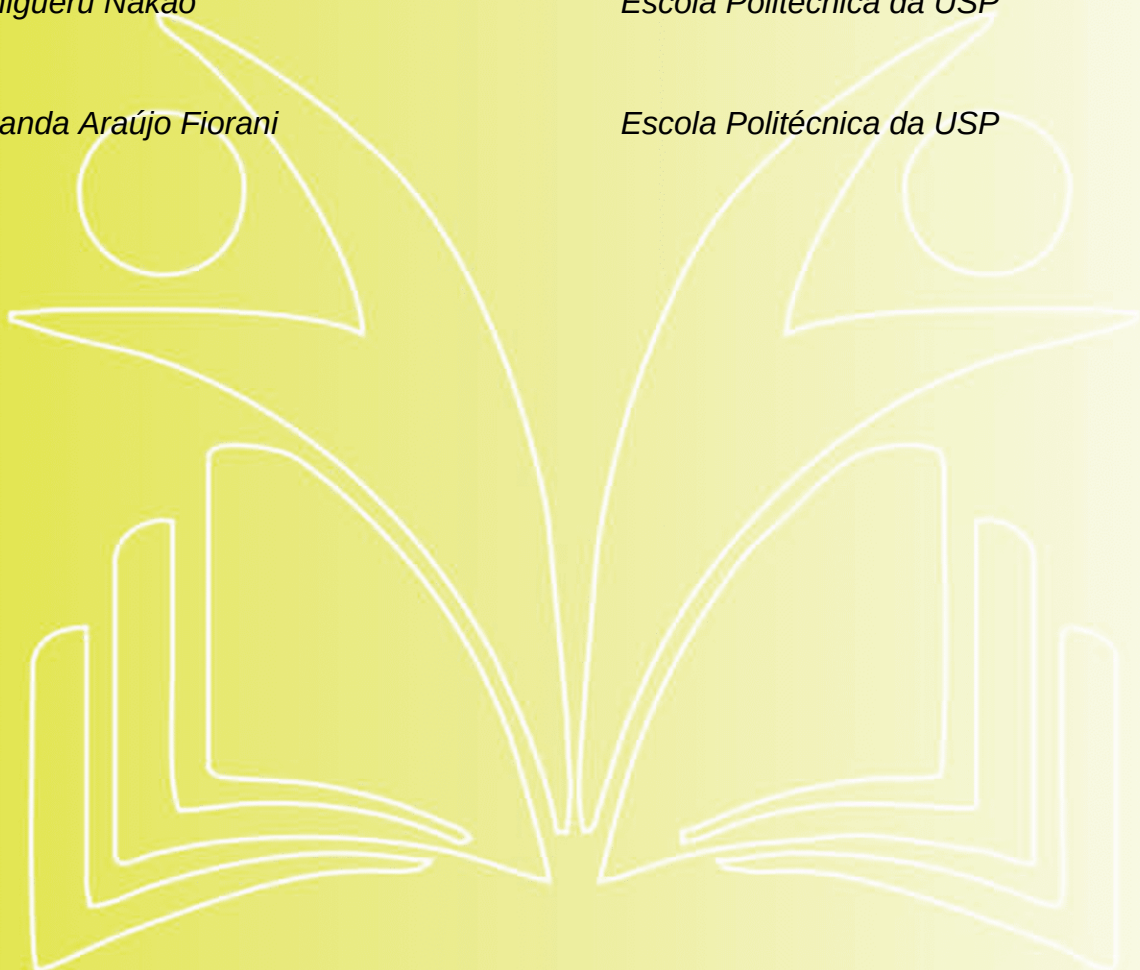
Instituto Federal de São Paulo

Osvaldo Shigueru Nakao

Escola Politécnica da USP

Viviane Miranda Araújo Fiorani

Escola Politécnica da USP



Resumo: *Em edições do COBENGE, diversos trabalhos foram publicados sobre as alterações curriculares aplicadas na disciplina “PEF2308- Fundamentos de Mecânica das Estruturas” que é ministrada para os alunos de graduação de Engenharia Elétrica e de Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, nos quais foram apresentados os resultados obtidos, especialmente no que se refere aos trabalhos propostos aos alunos durante os períodos letivos. Decorridos mais de 10 anos desde as primeiras alterações, a disciplina precisou ser atualizada e ajustada à realidade, havendo, inclusive, o objetivo da atribuição formal de carga horária que representasse o tempo gasto com o trabalho proposto. Neste contexto, além de (1) referenciar os trabalhos desenvolvidos em anos anteriores, apresenta (2) instrumentos elaborados, que já testados junto a um grupo de alunos da disciplina, apurou os níveis de satisfação dos alunos, abrindo-se espaço para proposição de alterações programáticas, as quais visam o aumento dos níveis de interesse, motivação e satisfação dos alunos frente à disciplina.*

Palavras-chave: Motivação, aprendizado, mecânica das estruturas e resistência dos materiais

1 CONTEXTUALIZAÇÃO E CONCEITOS INICIAIS

As disciplinas que apresentam aos alunos de graduação os fundamentos da Mecânica das Estruturas são básicas na formação dos engenheiros das diversas habilitações, razão pela qual Nakao (1.999) destaca que não se deve atender, exclusivamente, aos interesses imediatistas do mercado trabalho, pois há de se considerar o “[...] compromisso com a formação de um profissional com conhecimento básico e sólido o suficiente para promover as mudanças tecnológicas que certamente virão [...]”. Adicionalmente, cita Bringhenti (1993) e particulariza para o universo de alunos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), apontando que não se deve deixar de considerar o anseio dos estudantes de Engenharia em terem uma formação generalista sólida.

Na mesma referência, aponta-se que, com base na lei No. 9394 de 20 de dezembro de 1.996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB, diversos cursos de “[...] Engenharia têm solicitado redução na carga horária ou até a eliminação da disciplina Resistência dos Materiais [...]”, sendo que, parte deste anseio, está ligada à dificuldade dos professores em “[...] motivar os alunos e contextualizar a disciplina [...]” dentro de uma habilitação que não a enfatize.

Neste contexto, a disciplina “Fundamentos de Mecânica das Estruturas”, ministrada para os alunos de graduação de Engenharia Elétrica e de Computação da EPUSP esteve, no final dos anos 90, próxima de ser eliminada da matriz curricular uma vez que era apontada como desinteressante pelo corpo discente, fato que vinha apresentando eco no corpo docente. Assim, conduziu-se uma reformulação, a partir do 2º semestre de 1.998, na chamada Estrutura Curricular 2 – EC2 modificando completamente seu conteúdo programático e seu método de avaliação visando a aumentar o grau de satisfação e tendo a motivação dos alunos como a principal operação estabelecida. Na Tabela 1 apresentam-se as principais alterações desenvolvidas na disciplina.

Tabela 1 – Estruturação na disciplina PEF2308: antes e depois de 1.998

Antes de 1.998	Após 1.998
Programa extenso: de esforços solicitantes a estado duplo de tensão	Programa otimizado: de esforços solicitantes à flexo-compressão
4 horas-aula semanais (créditos)	2 horas-aula semanais (créditos)
3 provas por período	2 provas por período
Sem trabalhos avaliativos	1 trabalho avaliativo

O conceito de motivação está ligado à definição de “operação estabelecadora” que, segundo Catania (1.999), é “[...] qualquer operação que mude a condição de um estímulo como um reforçador ou punidor: privação, saciação [...] [e] [...] procedimentos que estabelecem estímulos [...]”.

O estudo das motivações por estímulos conduziu à estratégia de se substituir uma das três provas (obrigatórias à época) por um trabalho prático que motivasse os alunos do curso por meio de temas que combinassem as aptidões da área de Engenharia Elétrica e de Computação com os conceitos de Resistência dos Materiais. Permitindo-se total liberdade criativa, os resultados foram satisfatórios, pois qualitativamente, observou-se incremento do interesse dos alunos pela disciplina, conforme exposto por Nakao (1998 & 2001).

Apesar de se terem atingido os objetivos iniciais, decorridos 10 anos desde as alterações da EC2, se fez necessária uma avaliação da disciplina a fim de corrigir eventuais falhas existentes e, manter o elevado nível de interesse que os alunos vinham apresentando.

Embora se tenha substituído uma das provas, como forma de compensar o acréscimo de carga horária gerada pela inclusão do trabalho prático, pretendia-se solicitar a inclusão de carga horária de trabalho (crédito-trabalho) aos estudantes pelos seus esforços, aumentando o interesse e a motivação para com as atividades extraclasse da disciplina, exatamente como prevê a LDB.

Para que isto se materializasse, foi necessário o levantamento de documentação que fosse capaz de demonstrar as principais alterações programáticas aplicadas em 1.998, o aumento do interesse e da motivação dos alunos, as alterações programáticas que, pretendia-se, fossem implantadas e o aumento do nível de interesse dos alunos frente a estas novas modificações programáticas.

2 OBJETIVOS

Ante ao exposto este artigo objetivou apresentar os trabalhos elaborados (informações qualitativas) e os instrumentos elaborados e testados junto aos alunos da disciplina (informações quantitativas). A ideia foi abrir espaço para adequar essas informações a fim de se levantar os dados necessários para os objetivos futuros e para propor alterações programáticas que possibilitassem aumentar os níveis de interesse, de motivação e de satisfação com a disciplina.

3 INFORMAÇÕES QUALITATIVAS: TRABALHOS APRESENTADOS

Os trabalhos desenvolvidos pelos alunos da disciplina apresentam uma grande variedade e refletem o interesse dos alunos pela disciplina por combinarem, por exemplo, as situações do cotidiano, os conceitos computacionais e os abordados na disciplina.

Para ilustrar, apresenta-se o programa “Temas de Resistência dos Materiais” (Figura 1) desenvolvido pelo aluno Manuel F. P. Ledón no primeiro semestre de 2.001, o qual permite que sejam desenvolvidos dois diferentes esquemas estruturais de treliça (Esquema 1 - Figura 2 - e Esquema 2 - Figura 3) nos quais é possível introduzir o esforço aplicado, a geometria da estrutura, a composição dos materiais (tipo de aço) e os diâmetros das barras, possibilitando que sejam calculados os esforços, a tensão atuante e a tensão admissível, por meio de algoritmo que combinou o método de Ritter com o método das tensões admissíveis (Figura 4).

Figura 1 – Layout do programa “Temas de Resistência dos Materiais”



Figura 2 – Input do esquema 1

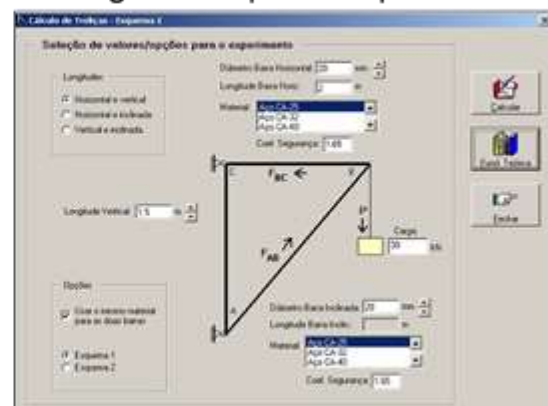


Figura 3 – Input do esquema 2

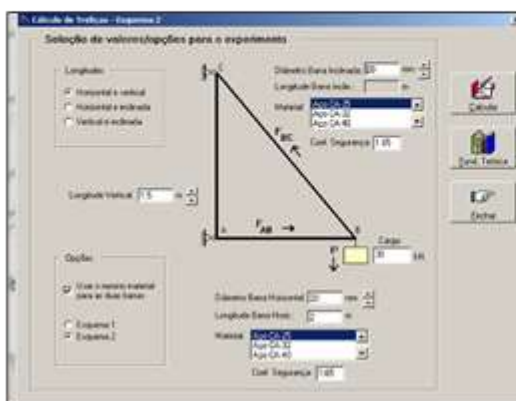
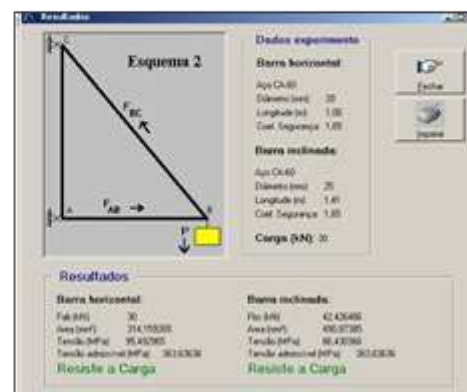


Figura 4 – Output



4 INFORMAÇÕES QUANTITATIVAS: QUESTIONÁRIO ELABORADO

De acordo com Gunther (2003) elaborou-se um questionário protótipo que, testado em alunos do primeiro quadrimestre de 2.010 contendo 12 perguntas dissertativas sobre o conteúdo da disciplina e 32 afirmações, pelas quais, em uma escala de *Likert* com 4 alternativas, permitiu que os alunos demonstrassem: (1) as suas expectativas profissionais e pessoais ao cursarem a disciplina e suas percepções sobre o método como esta foi ministrada; (2) a forma de apresentação aos alunos; (3) o desenvolvimento da disciplina; (4) a avaliação do professor; (5) os resultados obtidos.

Questionário:

1) EXPECTATIVAS PROFISSIONAIS E PESSOAIS

AFIRMATIVA 1: Considero importante estudar outras áreas da engenharia para meu desenvolvimento pessoal

AFIRMATIVA 2: Acho relevante cursar disciplinas de outra grande área da engenharia somente quando vejo relação com a Engenharia de Computação

AFIRMATIVA 3: Acho importante cursar disciplinas de outras grandes áreas somente quando percebo que obterei conhecimentos que me levarão a melhores cargos e salários

AFIRMATIVA 4: Ao cursar disciplinas de outras grandes áreas da engenharia, independentemente do assunto, sinto-me perdendo tempo, o qual poderia direcionar para outras atividades ou mesmo para estudar melhor disciplinas voltadas para meu curso

2) Apresentação aos alunos

AFIRMATIVA 5: No início do período letivo, o programa da disciplina foi **BEM** informado (P. Ex.: aulas, provas, trabalhos, etc..)

AFIRMATIVA 6: No início do período letivo, ficaram **BEM** claros os objetivos da disciplina

AFIRMATIVA 7: No início do período letivo, foram **BEM** apresentados os materiais de consulta (bibliografia)

AFIRMATIVA 8: No início do período letivo, foram **BEM** indicados os locais para consultar os materiais da disciplina (P. Ex.: sites, bibliotecas, xerox, etc..)

AFIRMATIVA 9: No início do período letivo, o professor se apresentou PERFEITAMENTE, indicando (1) seus horários de atendimento aos alunos, (2) a forma como daria suas aulas, (3) as suas atividades acadêmicas e (4) seus objetivos pessoais.

AFIRMATIVA 10: No início do período letivo, ficaram BEM claros os métodos de avaliação e o computo da média final

AFIRMATIVA 11: No início do período letivo, ficou BEM delineado como estudar durante o período

3) Desenvolvimento da disciplina

AFIRMATIVA 12: O conteúdo da disciplina foi BASTANTE adequado em relação ao número de aulas semanais.

AFIRMATIVA 13: A organização e continuidade da disciplina foram MUITO adequadas.

AFIRMATIVA 14: O material didático indicado estava PERFEITAMENTE condizente com o conteúdo apresentado em sala de aula

AFIRMATIVA 15: O trabalho prático proposto foi BASTANTE satisfatório

AFIRMATIVA 16: O nível das provas foi BEM condizente com o ensinado

AFIRMATIVA 17: O tempo despendido com exercícios foi MUITO adequado

AFIRMATIVA 18: Os recursos didáticos utilizados (P. Ex.: Site, Apresentações, Visitas Técnicas, Listas de exercício etc..) foram BASTANTE adequados

4) Avaliação do professor

AFIRMATIVA 19: O professor foi MUITO respeitoso com os alunos

AFIRMATIVA 20: O professor era BASTANTE assíduo e pontual às aulas

AFIRMATIVA 21: O professor prepara com AFINCO as aulas antes de ministrá-las

AFIRMATIVA 22: O professor foi SUFICIENTEMENTE comunicativo

AFIRMATIVA 23: O professor respondia à TODAS as perguntas completa e claramente

AFIRMATIVA 24: O professor aproveitava ADEQUADAMENTE o tempo em sala de aula

AFIRMATIVA 25: O professor era BEM acessível fora da sala de aula

AFIRMATIVA 26: O professor era BASTANTE didático

5) Resultados Obtidos

AFIRMATIVA 27: Estou certo que os objetivos da disciplina foram atingidos

AFIRMATIVA 28: A disciplina me auxiliará, ou já auxiliou, no meu desenvolvimento profissional, financeiro ou pessoal.

AFIRMATIVA 29: O trabalho prático proposto me motivou no decorrer da disciplina

AFIRMATIVA 30: Gostei de ter conhecido os princípios da resistência dos materiais

AFIRMATIVA 31: Acho que o vocabulário adquirido será interessante para conversar com engenheiros de outras áreas

AFIRMATIVA 32: Enxerguei a importância de cursar disciplinas de outras áreas

6) Perguntas para melhorar o curso

PERGUNTA 1: Seria interessante ter material didático, como apostila voltada a esta disciplina, contendo um conteúdo relacionado ao ensinado em sala de aula?

PERGUNTA 2: O nível das provas poderia ter sido mais exigente?

PERGUNTA 3: Seria interessante se a disciplina tivesse um site para apresentar notas e materiais didáticos?

PERGUNTA 4: Você sentiu falta de algum conhecimento prévio para cursar a disciplina?

PERGUNTA 5: Você preferiria substituir o trabalho prático por outra prova?

PERGUNTA 6: Tem alguma coisa que queira nos dizer e que possa melhorar a disciplina?

PERGUNTA 7: A atividade de correção da prova foi importante para o aprendizado?

PERGUNTA 8: A atividade de correção de prova desenvolveu habilidades?

PERGUNTA 9: A atividade de correção de prova desenvolveu valores?

PERGUNTA 10: A atividade de projeto foi estimulante?

PERGUNTA 11: A atividade de projeto foi importante para o aprendizado?

PERGUNTA 12: a atividade de projeto desenvolveu

As 5 primeiras afirmações, que mostrariam as expectativas profissionais e pessoais ao cursarem a disciplina, permitiram levantar um índice de pré-disposição do aluno ao cursar uma disciplina básica de engenharia e não específica da habilitação Elétrica e de Computação.

As respostas às afirmações 6 a 32, demonstraram que:

- o índice de satisfação dos alunos frente à disciplina atingiu $IPS = 8,33$ em uma escala de 0 (menor satisfação) a 10 (maior satisfação), valor este calculado mediante as definições de pesos da Tabela 2 e do índice IPS, descritos na eq. (1);

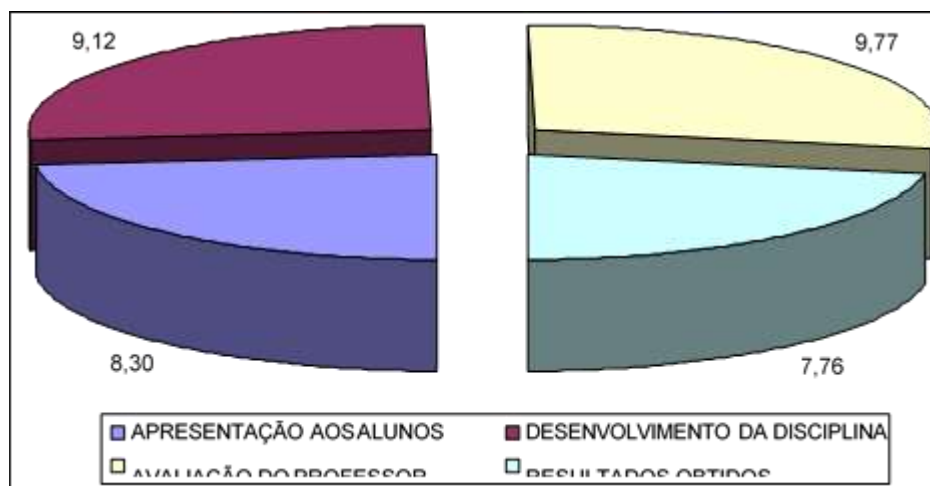
Tabela 2 – Atribuição de notas

Concordo plenamente (CP)	Concordo (C)	Discordo (D)	Discordo plenamente (DP)
10,00	6,67	3,33	0,00

$$IPS = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Peso}_i}{n} \quad (1)$$

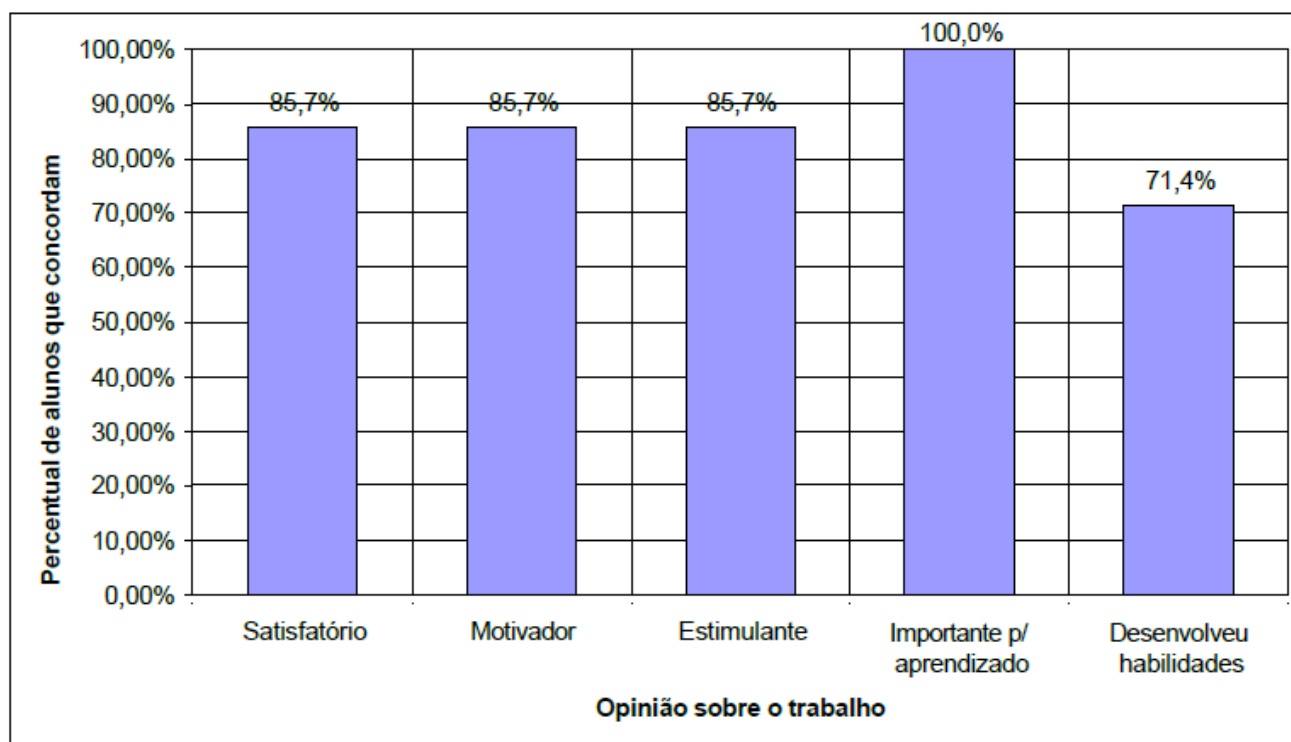
com IPS = Índice de satisfação, Peso = Tabela 2 e n = número de questionários respondidos (7).

Gráfico 1 – Distribuição dos índices de satisfação por grupos analisados



- 85,71% dos alunos são favoráveis ao trabalho técnico proposto, distribuídos de acordo com as classes apuradas no questionário (Gráfico 2);

Gráfico 2 – Distribuição das opiniões dos alunos sobre aspectos do trabalho da disciplina



- existem aspectos a serem aprimorados na disciplina, pois os alunos apontaram que desenvolvimento/aprimoramento de alguns aspectos da disciplina auxiliariam no processo de aprendizagem do conteúdo e no andamento da disciplina, tais como o desenvolvimento de um site com maiores recursos e elaboração de apostilas com o conteúdo específico do curso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentaram-se as principais alterações curriculares aplicadas, na disciplina “Fundamentos de Mecânica das estruturas” na EC-2, as quais visaram aumentar o nível de interesse e motivação.

Decorridos 10 anos a partir das modificações, propôs-se uma avaliação de acompanhamento dos níveis de satisfação e de motivação do curso, desenvolvendo instrumentos que medissem a situação, permitindo a proposição de alterações no curso.

Neste sentido, elaborou-se um questionário que, testado em um grupo de alunos, demonstrou que, os alunos estavam satisfeitos com seu programa e com o trabalho prático proposto, devendo ser aprimorado afim de que fosse atingido o objetivo de manter os níveis de satisfação e motivação.

Deve-se prosseguir com esse acompanhamento, avaliando a cada período, seja de 10 anos ou menos, para manter o nível de motivação que contribua para o aprendizado de boa qualidade lembrando que a evolução das ferramentas didáticas e a forma de enxergar o mundo podem modificar o interesse dos alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRINGHENTI, I.. O Ensino na Escola Politécnica da USP: fundamentos para o ensino de engenharia. São Paulo: EPUSP, 1993.
- CATÂNIA, A. C.. Aprendizagem: Comportamento, Linguagem e Cognição. Artes Médicas. 1.999. 372 p.
- GUNTHER, H.. Como elaborar um questionário. Série: Planejamento de pesquisas nas ciências sociais, No. 01. Brasília, DF: UNB, Laboratório de Psicologia Ambiental.
- NAKAO, O. S. . Motivando alunos de Engenharia de Computação para o estudo de fundamentos de Resistência dos Materiais. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 1999, Natal. COBENGE'99 - XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 1999.
- NAKAO, O. S. . O desafio de estudar linguagens de programação para aplicação num curso de Mecânica das Estruturas. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2001, Porto Alegre. XXIX COBENGE: Anais. Porto Alegre, ABENGE, 2001. Caucaia, Ceará: CD+, Nordeste Digital Line S/A, 2001.

Capítulo 6



10.37423/220305459

ANÁLISE DO RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO NO SETOR DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO BRASILEIRO

Fabio Emanuel Farago

Universidade de São Paulo



Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar o Retorno Sobre o Investimento (ROI) das dez empresas do setor de Tecnologia da Informação da Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBovespa), no período de 2013 a 2015. As rápidas evoluções tecnológicas obrigam as empresas a inovarem para se manterem competitivas, a eficiência da administração da empresa pode ser definida nos termos do lucro gerado com as aplicações de recursos, que pode ser medido pelo ROI. A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória, as fontes secundárias foram o Banco Central, BM&FBovespa e a Comissão de Valores Mobiliários. Os resultados demonstraram que no agregado do setor o ROI médio das dez empresas em 2013 foi de 3,49%, em 2014 foi de 8,47% e em 2015 de -3,37%. Abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), sendo que em 2013 6 empresas ficaram acima da TMA, em 2014 somente 4 e em 2015 apenas 3.

Palavras-chave: Administração financeira; retorno econômico; análise de balanço.

1. INTRODUÇÃO

O setor de Tecnologia da Informação tem como principal característica o elevado grau de inovação necessário para se manter competitivo no mercado. A informática está em constante evolução e sempre surgem novas tecnologias no mercado, inovações em software e hardware forçam as empresas do setor a inovarem constantemente para sobreviver.

A rentabilidade do setor está inerentemente ligada a sua capacidade de inovar, oferecendo os softwares e hardwares mais atualizados do mercado, beneficiando as empresas que os utilizam nos mais diversos setores da economia, promovendo aumento na eficiência e produtividade das mesmas, reduzindo os custos e contribuindo com o desenvolvimento econômico brasileiro.

A função básica da administração é a de atingir os objetivos organizacionais com a menor quantia de recursos, que em termos financeiros pode ser expresso pela relação entre a quantia monetária investida com os retornos financeiros alcançados, nesse sentido o Retorno Sobre o Investimento é um dos mais importantes indicadores de gestão de uma empresa.

Assim, o presente artigo teve por objetivo analisar o Retorno Sobre o Investimento (ROI) das empresas de capital aberto do setor de Tecnologia da Informação da BM&FBovespa, no período de 2013 a 2015. A hipótese fundamental está alicerçada na premissa de que o setor de Tecnologia da Informação foi impactado pela crise econômica e política que vem se agravando no Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A importância das empresas do setor de Tecnologia da Informação reside no auxílio que prestam para a administração das empresas, auxiliando com programas e equipamentos específicos e gerais para suas demandas, melhorando a gestão das empresas consumidoras. Na visão de Silva e Fischmann (2002, p.6) a adoção de tecnologia de informação tem sido uma vantagem competitiva essencial para as organizações, que buscam se adaptar ativamente as mudanças cada vez mais rápidas do mercado. Os canais de distribuição dos mais diversos produtos têm se mostrado atentos a essa tendência.

Complementarmente, sobre a importância do setor Weill e Ross (2006) citados em Tarouco e Graeml (2011 p.7-8) afirmam que o termo tecnologia da informação (TI) abrange todas as formas de investimento de uma empresa para gerar valor para o negócio, a partir de recursos tecnológicos, seja cortando despesas, automatizando ou suportando processos de negócio, ganhando vantagem competitiva, utilizando a informação para administrar, vender, contabilizar, controlar, compartilhar informações com clientes, fornecedores e consumidores, embutir em produtos e assim por diante.

Foi observado por Keen (1991) citado em Mariano e Dias (1996, p.8) que a tecnologia da informação atualmente faz parte da empresa, como a administração financeira ou de recursos humanos. Pesquisas têm evidenciado que os executivos visualizam a importância da TI e seu impacto na competitividade. Complementarmente Freitas e Lesca (1992, p.92) afirmaram que as informações e o conhecimento compõem curso estratégico essencial para o sucesso e a adaptação das empresas em seu ambiente competitivo.

O setor de Tecnologia da Informação tem um elevado grau de turbulência em suas transformações, se caracterizando como um setor de elevado dinamismo. Na visão de Freire e Bastos (2000, p.48) a introdução cada vez mais veloz, de sofisticados aparelhos e sistemas tecnológicos de informação e comunicação nas mais diferentes atividades empresariais, está eliminando postos de trabalho de tarefas rotineiras e repetitivas. Complementarmente Choo (1999) citado em Fasan e Muniz (2004, p.205) observou que a sobrevivência de uma empresa depende, em parte, de sua capacidade de antecipar as mudanças e de considerá-las na definição dos eixos estratégicos que deseja implantar. Devendo para isso coletar, estocar e, sobretudo, analisar informações relativas ao estado e à evolução de seu ambiente socioeconômico.

A tendência das empresas que não inovam é sair do mercado, a constatação segundo

North, (1990) e Eggertsson, (1990) citados em Campanário e Silva (2002, p.3) é de Adam Smith (1776), que foi um dos primeiros autores a se preocupar com a questão da coordenação no funcionamento da economia. Afirmando que existe um conjunto de leis naturais, entre elas a “mão invisível”, que garantem que o livre funcionamento dos mercados pode conduzir a alocação eficiente dos recursos escassos.

A mão invisível de Adam Smith em 1776 é observada até os dias atuais, principalmente nas empresas ligadas a tecnologia e informática. A sobrevivência de uma empresa depende do seu grau de inovação, que tem impactos em sua rentabilidade. A análise do Retorno Sobre o Investimento (ROI) pode ser vista como um indicador de sobrevivência, caso seja baixo, uma estratégia de desinvestimento pode ser adequada, caso negativo, denota prejuízo financeiro, que se mantido por muito tempo pode obrigar a organização a fechar as portas.

Observa-se que inovação e rentabilidade estão conectados, os sucessos ou fracassos das inovações das empresas impactam na variável lucro, que dependendo da proporção com os investimentos feitos podem ser satisfatórios ou não. Servindo assim como uma referência da eficiência da administração da empresa.

3. METODOLOGIA

A análise financeira do índice de Retorno Sobre o Investimento (ROI) das empresas do setor de Tecnologia da Informação, teve como dados secundários as informações do Banco Central do Brasil (Bacen), Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBovespa), e da Comissão de Valores Mobiliários (CVM). A análise levou em consideração as dez empresas de capital aberto do setor de Tecnologia da Informação da BM&FBovespa em seus dois segmentos, no segmento de Programas e Serviços: BRQ Soluções em Informática S/A (BRQ), Gama Participações S/A (Gama Part), Ideiasnet S/A (Ideiasnet), Linx S/A (Linx), Quality Software S/A (Quality Soft), Senior Solution S/A (Senior Sol), Telec. Brasileiras S/A (Telebrás) e Totvs S/A (Totvs); no segmento de Computadores e Equipamentos: Itautec S/A (Itautec) e Positivo Informática S/A (Positivo Inf).

Pesquisa exploratória, com uso da estatística descritiva, os valores monetários foram atualizados pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) para abril de 2016. O período selecionado, de 2013 a 2015, foi marcado por incertezas macroeconômicas, com o agravamento da crise econômica, impactando negativamente os diferentes setores da economia. O produto interno bruto (PIB) no ano de 2013 foi positivo 3,01%, em 2014 foi de 0,1% e em 2015 foi negativo em -3,85%.

O índice selecionado, de Retorno Sobre o Investimento, foi escolhido para avaliar como as empresas do setor de Tecnologia da Informação se saíram frente as adversidades econômicas. Os resultados obtidos foram comparados com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que foi definida pela taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic), definida pela média simples das taxas mensais, que em 2013 foi de 8,10%, em 2014 de 10,78% e em 2015 de 13,28%.

O Retorno Sobre o Investimento (ROI) aponta o retorno, o lucro operacional, obtido com os investimentos da empresa, seja de capital próprio ou de terceiros, o índice aponta o êxito econômico da empresa num contexto de aplicação de capitais. Operacionalizado dessa forma:

$$ROI = (LL + DF) / INV$$

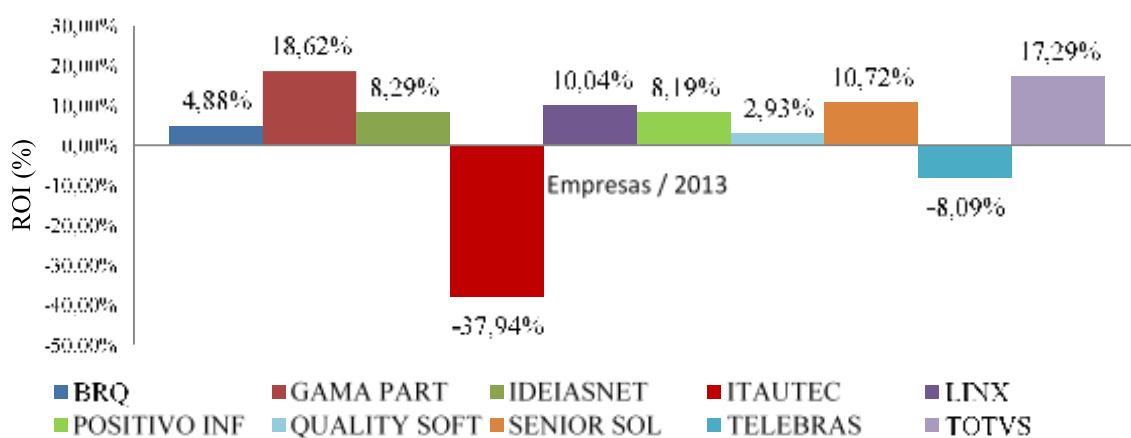
em que: ROI o Retorno sobre o Investimento (%), LL o lucro líquido (R\$ 1,00), DF as despesas financeiras (R\$ 1,00) e INV o investimento (R\$ 1,00).

RESULTADOS

RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO EM 2013

O Retorno Sobre o Investimento (ROI) médio das dez empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2013 foi de 3,49%. O segmento de Programas e Serviços obteve o ROI médio de 8,09% e o segmento de Computadores e Equipamentos de -14,87% no mesmo ano. O desvio padrão dos dados foi de 16,37%.

Figura 1. ROI das empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2013.



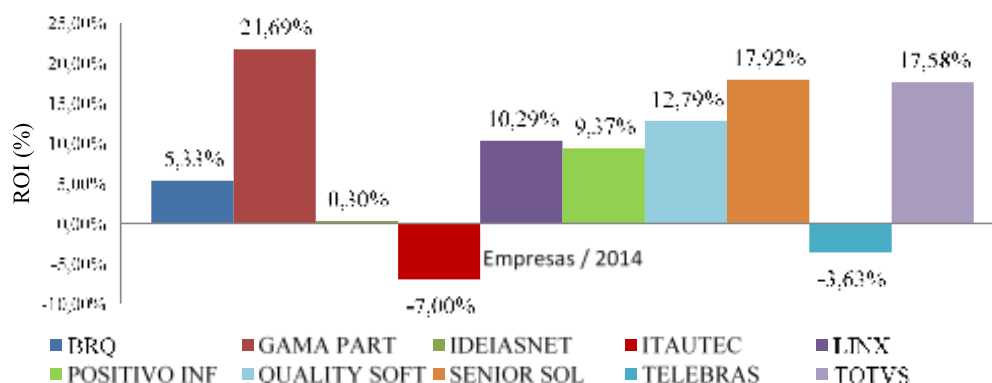
Fonte: Elaborado pelo autor com dados da BM&FBovespa e da CVM (2016).

O pior resultado verificado foi da empresa Itautec que ficou com um ROI de -37,94% em 2013, que foi devido ao investimento da empresa ter atingido o montante de R\$ 831.453.025,23, e da soma do Lucro Líquido (LL) com as Despesas Financeiras (DF) ter sido negativa em R\$ -315.414.288,57. O melhor resultado foi da Gama Part que obteve o ROI de 18,62%, que foi devido ao investimento ter sido de R\$ 2.380.973,91 e do LL ter sido positivo em R\$ 443.319,41.

4.2 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO EM 2014

O ROI médio das dez empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2014 foi de 8,47%. O segmento de Programas e Serviços obteve o ROI médio de 10,29% e o segmento de Computadores e Equipamentos de 1,19% no mesmo ano. O desvio padrão dos dados foi de 9,62%.

Figura 2. ROI das empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2014.



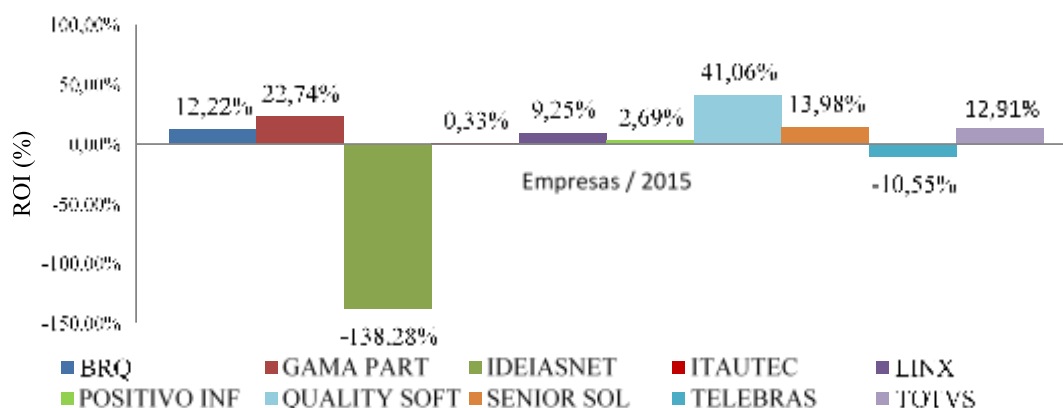
Fonte: Elaborado pelo autor com dados da BM&FBovespa e da CVM (2016).

O pior resultado verificado foi da empresa Itautech que ficou com um ROI de -7,00% no ano de 2014, apesar do investimento da empresa chegado ao montante de R\$ 331.009.147,21, sendo que no ano anterior foi superior em 151,19%, a soma do Lucro Líquido (LL) com as Despesas Financeiras (DF) foram negativas em R\$ -23.166.002,61, tornando o ROI negativo no período. O melhor resultado foi novamente da Gama Part que obteve o ROI de 21,69%, que foi devido ao investimento ter sido de R\$ 2.703.546,02 e do LL ter sido positivo em R\$ 586.496,02, resultando em um ROI muito positivo no período.

4.3 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO EM 2015

O ROI médio das dez empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2015 foi de -3,37%. O segmento de Programas e Serviços obteve o ROI médio de -4,58% e o segmento de Computadores e Equipamentos de 1,51% no mesmo ano. O desvio padrão dos dados foi de 49,36%.

Figura 3. ROI das empresas do setor de Tecnologia da Informação no ano de 2015.



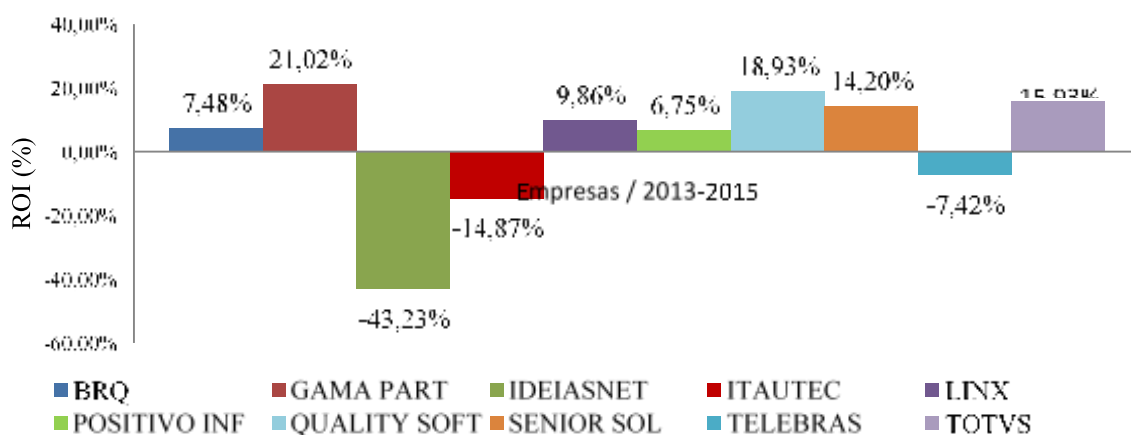
Fonte: Elaborado pelo autor com dados da BM&FBovespa e da CVM (2016).

O pior resultado verificado foi da empresa Ideiasnet que ficou com um ROI de 138,28% no ano de 2015, o investimento da empresa obteve o valor de R\$ 140.783.630,21, sendo que no ano anterior foi superior em 190,17%, a soma do Lucro Líquido (LL) com as Despesas Financeiras (DF) foram negativas em R\$ -194.677.176,90, fazendo com que o ROI fosse muito negativo no período. O melhor resultado foi da empresa Quality Soft, que obteve o ROI de 41,06%, que foi devido ao investimento ter sido de R\$ 22.582.578,70 e da soma do LL com a DF ter sido positiva em R\$ 9.273.260,70, resultando em um ROI muito positivo no período.

4.4 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO MÉDIO DE 2013 A 2015

O ROI médio das dez empresas do setor de Tecnologia da Informação nos três períodos analisados, de 2013 a 2015 foi de 2,86%. O segmento de Programas e Serviços obteve o ROI médio de 4,60% e o segmento de Computadores e Equipamentos de -4,06% no período de análise. O desvio padrão médio dos dados foi de 14,26% e a taxa média de crescimento do ROI nas dez empresas foi de -31,67%, ou seja, decresceu de 2013 para 2015.

Figura 4. ROI das empresas do setor de Tecnologia da Informação nos anos de 2013 a 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da BM&FBovespa e da CVM (2016).

O pior resultado verificado foi da empresa Ideiasnet que ficou com um ROI de 43,23% no período de 2013 a 2015, que foi devido a empresa ter obtido um ROI abaixo da média do setor nos dois últimos períodos, com um valor extremamente baixo em 2015. O melhor resultado foi da empresa Gama Part, que foi devido ao ROI ter sido extremamente positivo em todos os períodos analisados, ficando acima da média do setor em todos os anos, sendo que nos dois primeiros foi o melhor resultado do setor e no terceiro período foi o segundo melhor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam o desempenho ruim das empresas brasileiras do setor de Tecnologia da Informação, sendo que a média do setor ficou abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) em todos os períodos investigados.

No ano de 2013 seis das dez empresas obtiveram um ROI acima da TMA, que foram: Gama Part, Ideiasnet, Linx, Senior Sol, Totvs e Positivo Inf, ficando o restante abaixo. Em 2014 apenas quatro empresas ficaram acima da TMA, que foram: Gama Part, Quality Soft, Senior Sol e Totvs. E em 2015 apenas três empresas foram mais rentáveis que a TMA: Gama Part, Quality Soft e Senior Sol.

A principal causa do ROI ter sido baixo se deu pelo fato do Lucro Líquido ter sido baixo em grande parte das empresas, se tornando em algumas até negativo. A hipótese de que a crise econômica surtiu efeitos no ROI das empresas do setor de Tecnologia da Informação não pode ser confirmada, visto que o fato do ROI médio em 2015 ter sido negativo, foi devido apenas a uma empresa ter apresentado um resultado muito ruim, elevando o desvio padrão e deixando a média negativa.

REFERÊNCIAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). Consulta à Taxa Selic. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp>> Acesso em: 07 jun 2016.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO (BM&FBOVESPA). Empresas por setor. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-ederivativos/renda-variavel/empresas-listadas.htm> Acesso em: 30 mai 2016.

CAMPANÁRIO, M. A.; SILVA, M. M. Modelagem de Impacto de Sistema Eletrônico de Compras Públicas: Estudo de Caso da BEC/SP. XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, Salvador, 2002.

COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS (CVM). Demonstrações Fiscais anuais

(DFP). Disponível em:

<<http://cvmweb.cvm.gov.br/SWB/Sistemas/SCW/CPublica/CiaAb/FormBuscaCiaAb.aspx?TipoConsult=c>> Acesso em: 30 mai 2016.

FREIRE, L. C.; BASTOS, A. V. B. Tendências de transformação no mundo do trabalho: uma análise da dinâmica ocupacional brasileira. RAUSP, São Paulo, vol.35, nº. 03, p. 48-59, 2000.

FREITAS, H.; LESCA, H. Competitividade empresarial na era da informação. RAUSP, São Paulo, vol.27, nº. 03, p. 92-102, 1992.

MARIANO, S. R. H.; DIAS, D. S. Downsizing em tecnologia da informação: o caso da Brahma. RAUSP, São Paulo, vol.31, nº. 04, p. 7-18, 1996.

SILVA, A. L.; FISCHMANN, A. A. Adoção de tecnologia de informação em canais de distribuição. RAUSP, São Paulo, vol.37, nº. 02, p. 6-16, 2002.

TAROUCO, H. H.; GREML, A. R. Governança de tecnologia da informação: um panorama da adoção de modelos de melhores práticas por empresas brasileiras usuárias. RAUSP, São Paulo, vol.46, nº. 01, p. 7-18, 2011.

Capítulo 7



10.37423/220305462

ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS PARA O CLIMA DE TERESINA-PIAUÍ

FABIO LIMA BONA

*CENTRO UNIVERSITÁRIO MAURÍCIO DE
NASSAU*



Resumo: Este artigo apresenta uma observação comparativa de diferentes tipos de coberturas, e tem como objetivo analisar o conforto térmico desses materiais, a fim de identificar quais são os mais adequados para o clima da capital piauiense, Teresina. Este estudo foi desenvolvido utilizando os principais materiais de cobertura (telhas) comercializados no mercado e algumas inovações, tais como: cerâmica, metálica, fibrocimento, ecológica e termoacústica. As telhas foram instaladas separadamente em células de teste confeccionadas em MDF, colocadas em local aberto para a incidência da radiação solar sem interferências. O método utilizado para essa análise foi a obtenção de dados de temperatura nas superfícies externa e interna das placas e das temperaturas dos ambientes externo e interno das células de teste. Os resultados obtidos neste artigo são que o revestimento cerâmico está mais adaptado ao clima da região em estudo, em comparação aos demais materiais analisados, pois transmite menos calor para a célula de teste nos momentos em que esses revestimentos são mais exigidos no período mais quente do dia.

Palavras-chave: Telhas. Temperatura. Conforto térmico. Calor.

1 INTRODUÇÃO

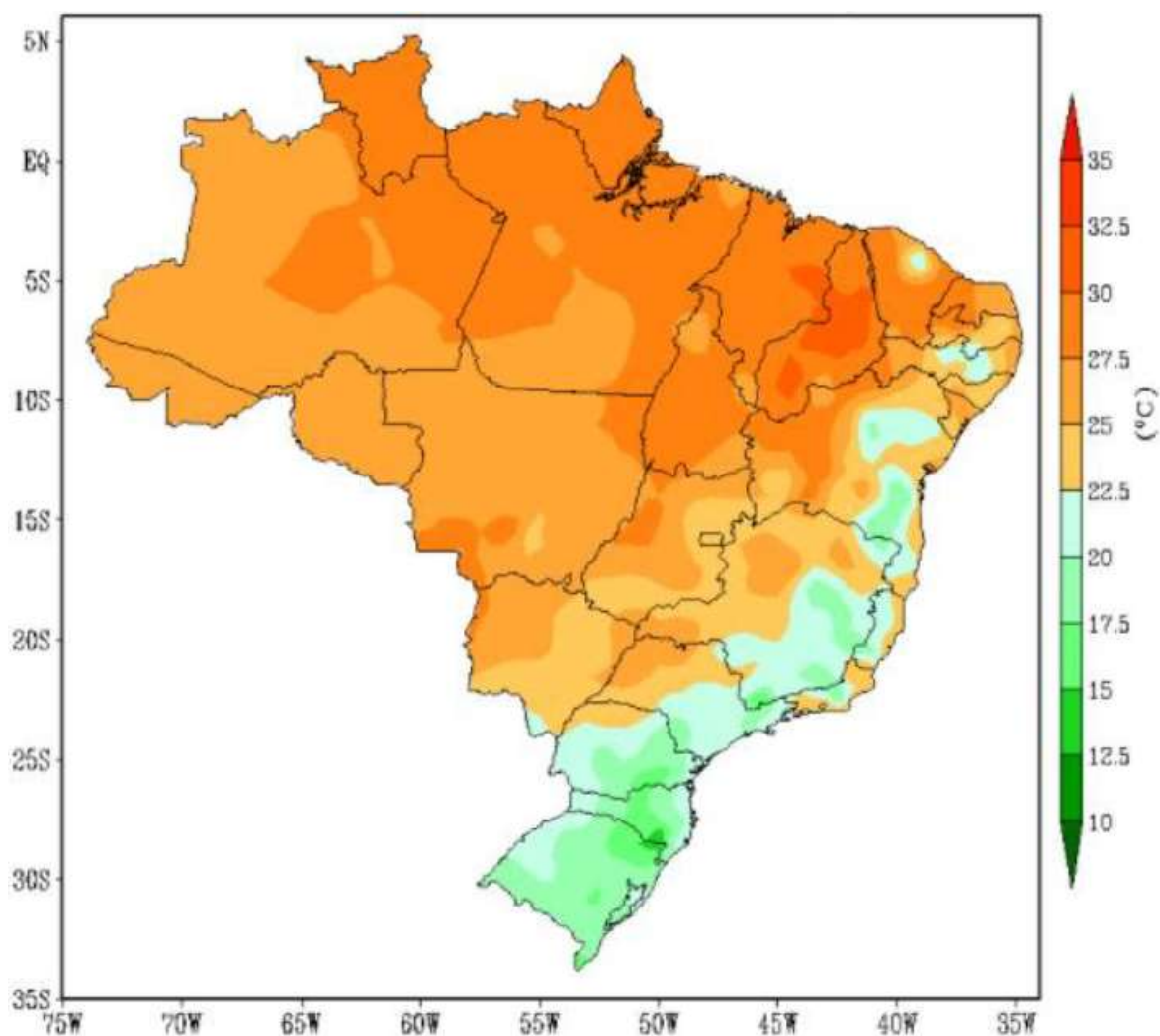
No decorrer da história humana, a busca por abrigo sempre foi algo essencial para sobrevivência. Ao longo de milênios, as habitações sofreram adaptações, não somente para garantir a sobrevivência dos seus ocupantes, mas também para promover conforto e bem-estar em geral.

O conforto térmico tem sensível importância para os seres humanos. Segundo Diedrich (2018), tem relação direta com a percepção humana do que é termicamente confortável. Ou seja, é a condição em que o ser humano se sente satisfeito com o ambiente em que se encontra, não necessitando a busca de mais calor ou mais frio para sua comodidade.

De acordo com Fix (2020), “Um conforto térmico adequado é um dos objetivos a serem alcançados por profissionais tanto da engenharia civil como da arquitetura”. Uma das formas para minorar a incidência da radiação solar nas edificações é por meio da cobertura, onde é possível, através de uso de materiais específicos, diminuir a absorbância e aumentar refletância, a fim de controlar e melhorar a sensação térmica dentro da edificação.

A análise do conforto térmico de coberturas em edificações tem importante papel para identificação de quais materiais podem ser usados de maneira termicamente eficiente, conforme o clima da região que foi solicitado.

Teresina, capital do estado do Piauí, possui um clima predominantemente tropical, mas com uma particularidade climática percebida principalmente nos períodos de setembro a novembro, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde a cidade pode alcançar temperaturas máxima média (°C) acima de 32,9 °C (Figura 1).

Figura 1 – Temperatura Máxima Média (°C) para o período de setembro a novembro de 2020

Fonte: INMET, 2020

Esse período do ano é conhecido popularmente por seus habitantes como B R O – BRÓ, onde, em um determinado época do ano, os teresinenses experimentam uma sensação térmica em suas residências como as mais elevadas do ano, o que conseqüentemente exige o uso de eletrodomésticos como ventiladores e aparelhos de ar-condicionado para amenizar esse desconforto térmico, mas aumentando consideravelmente o consumo de energia.

Contudo, o que poderia ser feito para mitigar essa problemática? Atualmente existe uma gama infindável de materiais e processos construtivos para edificações que prometem auxiliar no controle e/ou manutenção da temperatura internas das habitações.

A cobertura recebe boa parte da radiação solar que incide sobre toda edificação. Sendo, portanto, o principal meio pelo qual ocorre a transmissão de calor para ambiente interno de uma habitação. Nesse

sentido, entende-se a necessidade de um estudo comparativo de diferentes tipos de cobertura, com o objetivo de identificar qual delas possui as propriedades adequadas para o clima específico da cidade de Teresina-PI.

Como **hipótese**, para resolução do exposto acima, acredita-se que a telha cerâmica, por ser o material construtivo mais utilizado nas edificações de Teresina, seja o material mais adequado para a capital do Piauí. No entanto, somente após estudo detalhado que se pode dizer se realmente é o material apropriado ou se existe algo mais adaptado ao clima em questão.

Para tal, definiu-se como **objetivo geral**: avaliar o desempenho térmico de diferentes tipos de cobertura por meio de monitoramento de abrigos em tamanho reduzido com uso de termômetro para análise comparativa. E como **objetivos específicos**: obter dados de monitoramento de temperatura de 5 (cinco) tipos diferentes de telhas: cerâmica, fibrocimento, metálica, ecológica e termoacústica; e demonstrar, por meio de tabelas e gráficos comparativos, qual desses materiais é o mais adequado para Teresina-PI.

Como metodologia, este trabalho utilizou, além da revisão bibliográfica, aspectos climatológicos sobre a região de Teresina-PI e sobre as formas de transmissão de calor que incidem sobre a superfície das coberturas. Foram realizados estudo por meio de testes de campo, utilizando células testes com cada tipo de cobertura.

Para discorrer sobre esta análise, foram consultados principalmente: Magalhães (2018), que fala sobre desempenho térmico de telhas: um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento; Çengel (2012), Kreith (2014) e Halliday (2012), abordando sobre os principais meios de transferência de calor; e Lima *et al* (2020), que expõe as características climáticas do estado do Piauí.

Em razão da importância das coberturas para uma edificação, no tocante à função de diminuir a incidência da radiação solar, este trabalho justifica-se pela necessidade de se identificar qual tipo de cobertura tem melhor desempenho em relação à transferência de calor para dentro do ambiente.

O artigo está organizado em 5 (cinco) partes, divididas da seguinte maneira: introdução, referencial teórico, metodologia, resultados e discussões, conclusão. Inicialmente, a introdução faz um prelúdio do que será abordado nos outros tópicos, baseando-se nos levantamentos bibliográficos pesquisados. Na sequência, o referencial teórico, subdividido em três tópicos, aborda conceitos importantes como: clima da cidade; principais conceitos sobre transmissão de calor; e como ocorre essa transferência por meio da telha. Em seguida, disserta-se sobre a metodologia realizada para obtenção dos dados:

local dos testes, descrição dos materiais analisados, ferramentas utilizadas e o método aplicado. Logo depois, foi feita a coleta dos dados e as informações foram transferidas para tabelas e gráficos para melhor interpretação. Por fim, foram apresentadas as considerações finais com base nos resultados analisados.

2 CONCEITOS IMPORTANTES PARA ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO DE TELHAS

Nesta parte do trabalho, serão apresentados alguns conceitos essenciais para compreensão da importância deste artigo, e a demonstração de conceitos técnicos necessários para o entendimento dos métodos e resultados apresentados aqui.

2.1 CLIMA DE TERESINA

Para se ter o conhecimento de quais materiais são adaptados à cidade de Teresina-PI é necessário conhecer o clima característico dessa região. Pois somente identificando a climatologia local é possível indicar e até mesmo criar materiais ajustados ao clima local.

O Brasil, por ser um país continental, possui uma variação de tipos climáticos. Logo, em cada região, é preciso ser levada em consideração suas individualidades meteorológicas para assim determinar quais matérias serão mais adequadas para proporcionar um desempenho térmico satisfatório nas suas edificações.

A classificação climática do Piauí é baseada no modelo de Köppen-Geiger, conhecida comumente por classificação climática de Köppen. Esse modelo de classificação é largamente utilizado e adaptado em áreas da ciência como a geografia, climatologia e a ecologia.

De acordo com Lima *et al* (2020), a classificação climática é baseada na fitossociologia e na ecologia, ou seja, na vegetação natural de cada grande região da Terra. Então, o que determina as características climáticas de uma região está diretamente relacionada com o bioma local.

Nesse tipo de classificação climática são respeitadas a estação do ano e os valores médios anuais e mensais de temperatura do ar e da precipitação. Cada grupo climático nesse método recebe uma denominação por meio de códigos, com uso de letras maiúsculas e minúsculas, e que, ao se relacionarem, é possível identificar qual clima característico da região analisada (Tabela 1).

Tabela 1 – Tipos Básicos de climas definidos por Köppen

CLIMA	TIPO	SUBTIPO
A	TROPICAL	w
		f
B	ÁRIDO	S
		W
C	TEMPERADO OU TEMPERADO QUENTO	w
		f
D	CONTINENTAL OU TEMPERADO FRIO	grau de estiagem
		grau de frio
E	GLACIAL	grau de estiagem
		grau de frio

w - Chuvas ocorrem no verão e a estação seca no inverno

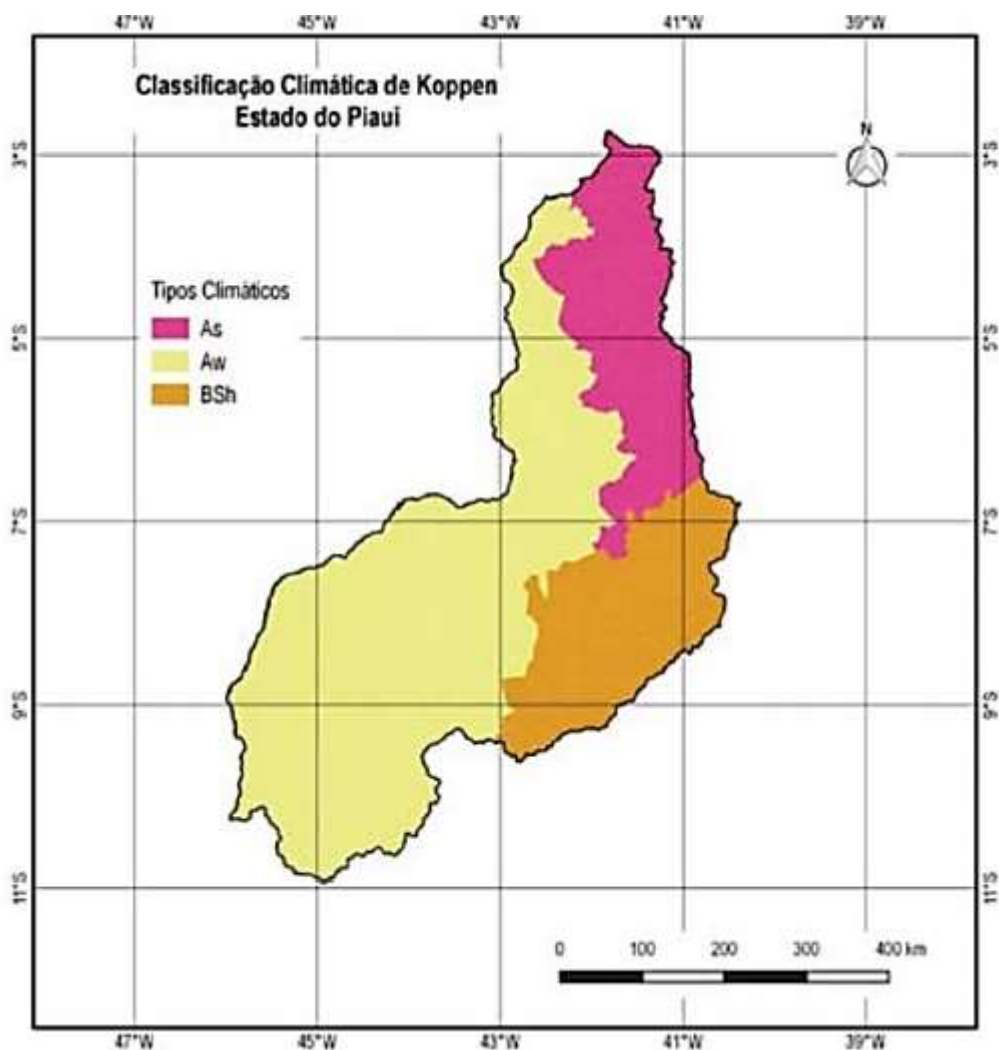
f - Chuvas está homogeneamente distribuída ao longo do ano

W - Clima desértico

S - Estepe semiárido

Fonte: Adaptado do livro Clima do Piauí: interações com ambiente, de Lima et al (2020)

Então, segundo Köppen, a classificação de Teresina-PI é do tipo “Aw”, ou seja, clima tropical com períodos chuvosos no verão e seca no inverno (Figura 2).

Figura 2 – Classificação climatológica, segundo o modelo Köppen para o Piauí

Fonte: Lima et al (2020)

O clima de Teresina-PI possui uma particularidade referente aos meses entre setembro e novembro de todos os anos, período este onde são registradas as maiores temperaturas do ano e, consequentemente, em que as pessoas sofrem mais com desconforto térmico dentro de suas habitações (Quadro 1).

Quadro 1 – Dados de Temperatura Máxima Média (°C) dos últimos 11 anos

ANO MÊS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
JAN	29,02	29,94	28,91	29,07	27,82	29,25	28,63	29,35	28,77	28,72	28,78
FEV	29,31	29,73	27,74	30,25	27,92	27,96	28,96	27,92	28,12	28,5	28,28
MAR	29,01	30,09	28,38	29,27	27,58	27,77	28,36	27,73	28,34	27,98	28,43
ABR	29,11	28,89	28,46	28,35	28,01	28,07	29,31	28,42	28,12	28,25	30,59
MAI	29,48	28,32	29,39	28,51	28,52	28,39	29,25	28,97	28,77	29,36	31,46
JUN	28,73	28,45	29,38	28,56	28,66	28,51	29,18	28,79	28,37	30,47	30,73
JUL	29,18	28,26	29,93	28,86	29,12	28,84	29,5	28,4	28,62	29	31,66
AGO	30,11	29,05	30,5	30,5	29,97	30,05	30,6	30,08	29,37	30,02	32,44
SET	31,61	31	31,73	31,44	31,12	31,48	32	31,37	30,32	31,2	34,24
OUT	31,89	-	32,79	31,9	31,57	32,49	32,7	32,09	30,89	31,82	34,83
NOV	32,65	30,11	32,21	30,7	31,7	32,41	33,07	31,24	30,83	32	32,37
DEZ	31,77	30,09	30,89	29,91	30,72	32,59	30,9	30,04	28,61	31,53	32,41

Fonte: Adaptado banco de dados do INMET (2021)

2.2 CONCEITOS RELACIONADOS À TRANSMISSÃO DE CALOR

Neste capítulo, serão abordados alguns conceitos importantes para compreensão de como ocorre a transferência de calor entre materiais.

Em termodinâmica, calor é a energia transferida em consequência de uma diferença de temperatura. A energia flui na forma de calor de uma região de temperatura alta para uma região de temperatura baixa. Portanto, em um sistema cujas paredes não são isolantes térmicos, se o sistema está mais frio do que a vizinhança, a energia flui da vizinhança para sistema (ATIKINS; JONES, 2012, p. 243).

Em nível molecular, os materiais se comportam de forma a realizar continuamente a troca de energia entre si. Essa troca pode ser cedida ou recebida pelos corpos em contato, e essa variação é percebida de acordo com as variações de temperatura entre sistemas vizinhos.

Quando há contato de dois sistemas com temperaturas diferentes ocorre um processo de transmissão de calor (KREITH, 2014). Como esse fenômeno é uma grandeza que se pode determinar seu valor quantitativo, direção e sentido, entende-se que o fluxo de calor sempre vai do corpo de maior temperatura para o de menor até que se equilibrem, de acordo com a segunda lei da termodinâmica.

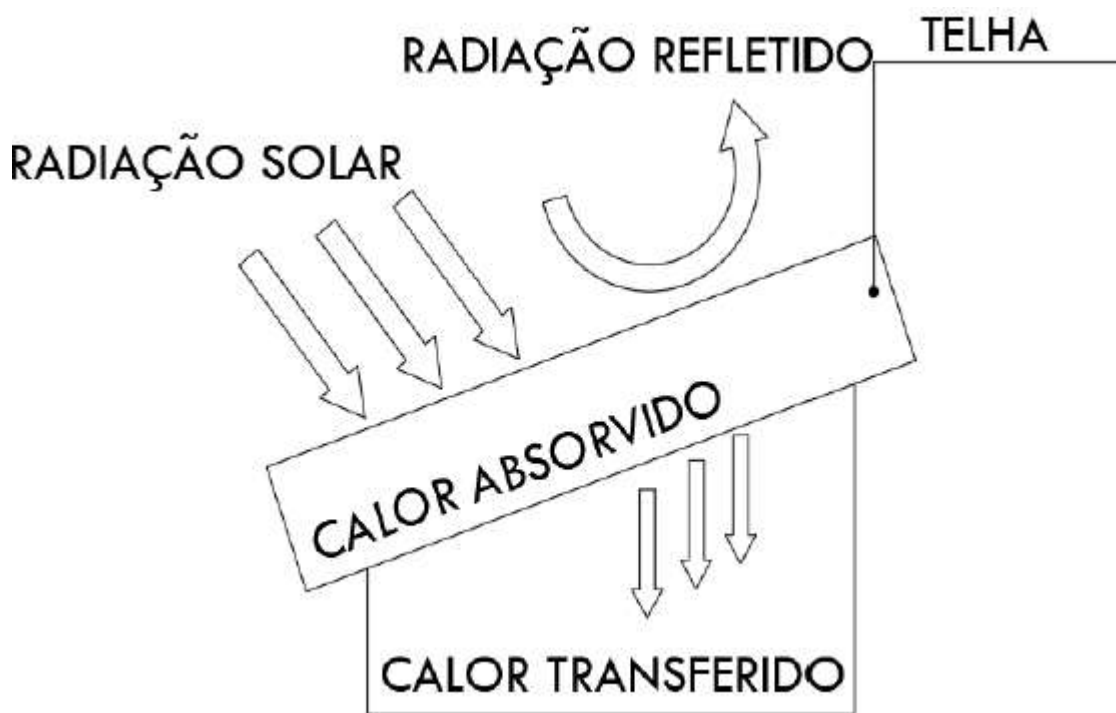
Neste estudo, a troca de calor entre matérias, mais especificamente entre a cobertura e o interior das edificações, pode ocorrer pela diferença de temperatura do meio externo para o interior da edificação,

principalmente por meio da radiação solar. E à noite esse processo inverte, pois o interior acumulado de calor absorvido durante o dia irá transmitir do sistema com maior temperatura para de menor, ou seja, o meio externo passa a receber essa energia.

Segundo Halliday (2012), existem três mecanismos de transferência de calor: *radiação*, na qual pode ocorrer a transferência de energia no vácuo, um exemplo disso é a energia solar transferida por meio do vácuo até o planeta Terra; *condução*, que é a transferência de calor entre as extremidades de um corpo ou de um corpo para outro; e por *convecção*, que acontece quando há troca de calor por meios gasosos e ou líquidos.

Como a radiação solar é o principal responsável pela carga de energia que interfere diretamente no ambiente interno de uma edificação. Esta energia solar ao entrar em contato com a face externa da telha pode ser refletida, absorvida ou transferida para ambiente interno (Figura 3).

Figura 3 – Troca de calor em um telhado



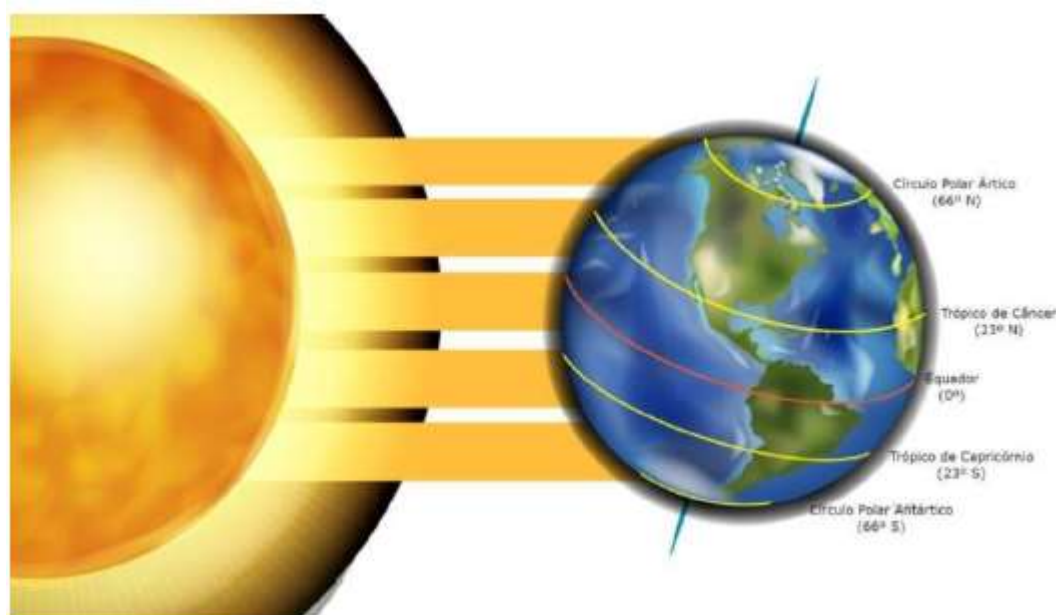
Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

2.2.1 RADIAÇÃO

A radiação solar é uma forma de transferência de energia que não requer um meio material para sua propagação. Essa forma de transferência de calor é a principal técnica que incide sobre a cobertura de uma edificação levando essa energia para seu interior. Segund Young e Freedman (2018), qualquer

corpo, mesmo em um grau de calor ou de frio considerado normal e/ou regular ou zero absoluto, envia energia sob a forma de radiação eletromagnética. Já Halliday (2012), define radiação térmica como sendo as ondas eletromagnéticas que transferem calor (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de Radiação



Fonte: Noronha (2020)

2.2.2 CONDUÇÃO

A condução é, conforme Halliday (2012), a transferência que ocorre pelo contato direto de um mesmo corpo ou entre corpos. Quando os átomos e elétrons de um corpo estão em alta temperatura, eles passam a vibrar e colidir com átomos e elétrons vizinhos. Dessa forma, o calor é gradualmente transferido do meio mais quente para o mais frio até que se equilibrem na mesma temperatura.

De acordo com Çengel e Ghajar (2012, p. 17), a condução é definida como uma forma em que o calor se propaga por meio de um condutor, ou seja, é a “transferência de energia de partículas mais energéticas de uma substância para as partículas adjacentes menos energéticas como resultado das interações entre as partículas” (Figura 5).

Figura 5 – Exemplo de condução



Fonte: Borges (2020)

2.2.3 CONVECÇÃO

A convecção é a transferência de calor que acontece quando um fluido, como ar ou água, entra em contato com um objeto cuja a temperatura é maior. A temperatura do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta, e essa parte do fluido se expande, ficando menos densa. O fluido expandido é mais leve que o restante do fluido que o cerca, devido a isso, surge uma força de empuxo que o faz subir. Logo, o fluido mais denso se escoa para tomar o lugar do fluido menos denso, que sobe. Esse processo pode continuar indefinidamente (HALLIDAY, 2012).

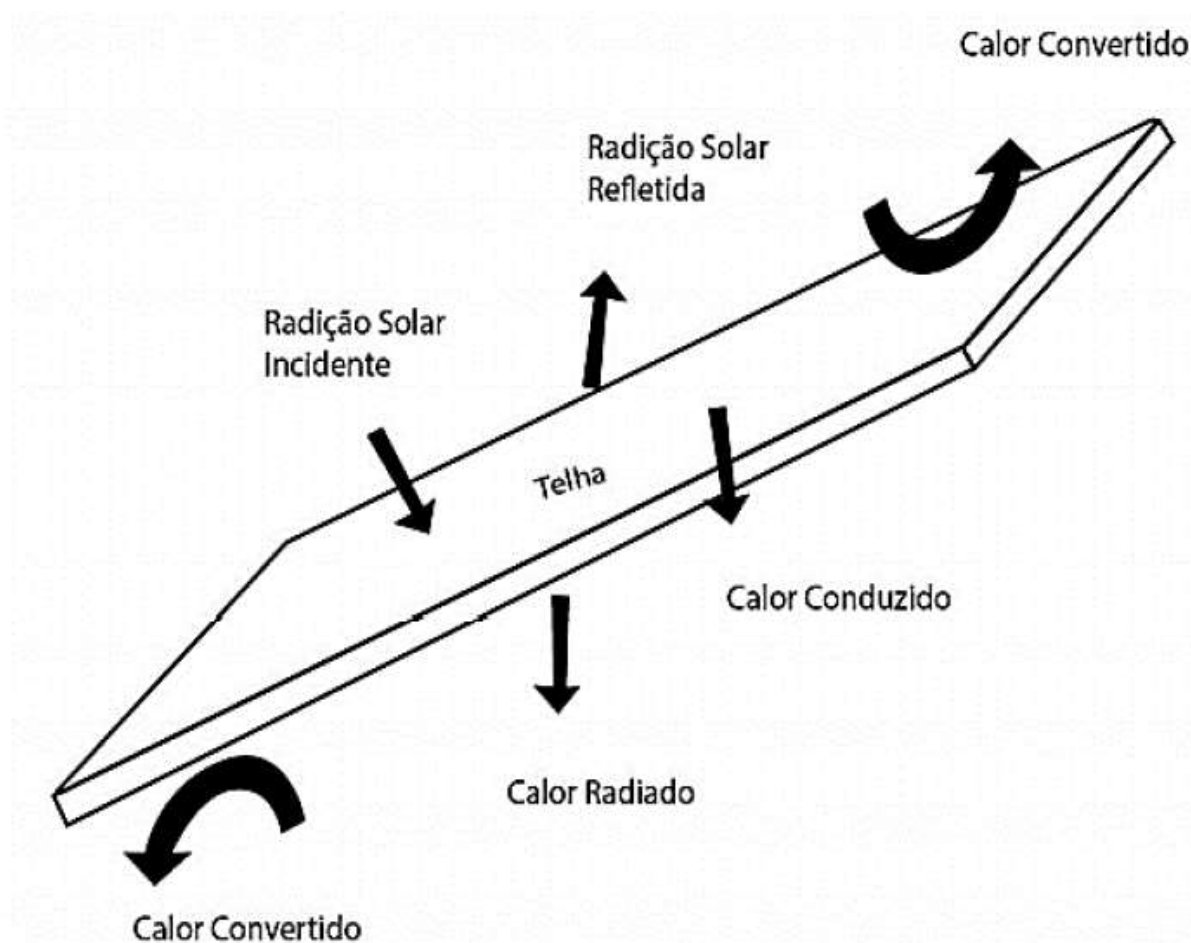
Um exemplo similar à transferência de calor por convecção da telha para interior da edificação ocorre ao ligar um ar-condicionado de uma sala. O ar quente, menos denso, é mais leve, e ao ser resfriado pela ação do aparelho passa a ser mais denso, e conseqüentemente desce, criando um ciclo de convecção para manter o ambiente resfriado (Figura 6).

Figura 6 – Exemplo de convecção

Fonte: Slidetodoc (2021)

2.3 COMO OCORRE A TROCA DE CALOR EM TELHADOS

A troca térmica de uma cobertura ocorre da seguinte maneira: a radiação solar incide sobre a face superior externa da telha, que é absorvida pelo material e outra parte é refletida; ocorrendo de forma simultânea, tem-se a troca por convecção, pois o ar próximo à cobertura está se movendo devida a mudança de densidade de ar quente e frio; a parte do calor absorvido pela cobertura é transferida por condução da face superior da telha para face inferior; e por fim, dentro do ambiente ocorrem dois processos de troca de calor, um por radiação térmica emitida pela telha e outro por convecção, já que surge uma variação de densidade do ar pela circulação de ar quente e frio no interior da edificação (MAGALHÃES, 2018) (Figura 7).

Figura 7 – Representação esquemática das trocas térmicas em telhados

Fonte: Magalhães (2018)

A partir desses conceitos mencionados anteriormente, no próximo capítulo serão abordados os métodos, os materiais e os instrumentos utilizados para identificar qual tipo de cobertura melhor se adapta às condições particulares do clima da cidade de Teresina-PI.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma área descampada e plana sem interferência e/ou influência de outros elementos como: edificações, aclives ou declives no terreno, vegetações que pudessem criar algum tipo de sombreamento e, conseqüentemente, interferir nos resultados do estudo. Esta pesquisa foi realizada na zona rural de Teresina-PI, localidade Santa Teresa, nas coordenadas de latitude 4°59'27.37"S e longitude 42°37'53.59"O (Figura 8).

Figura 8 – Localização via satélite

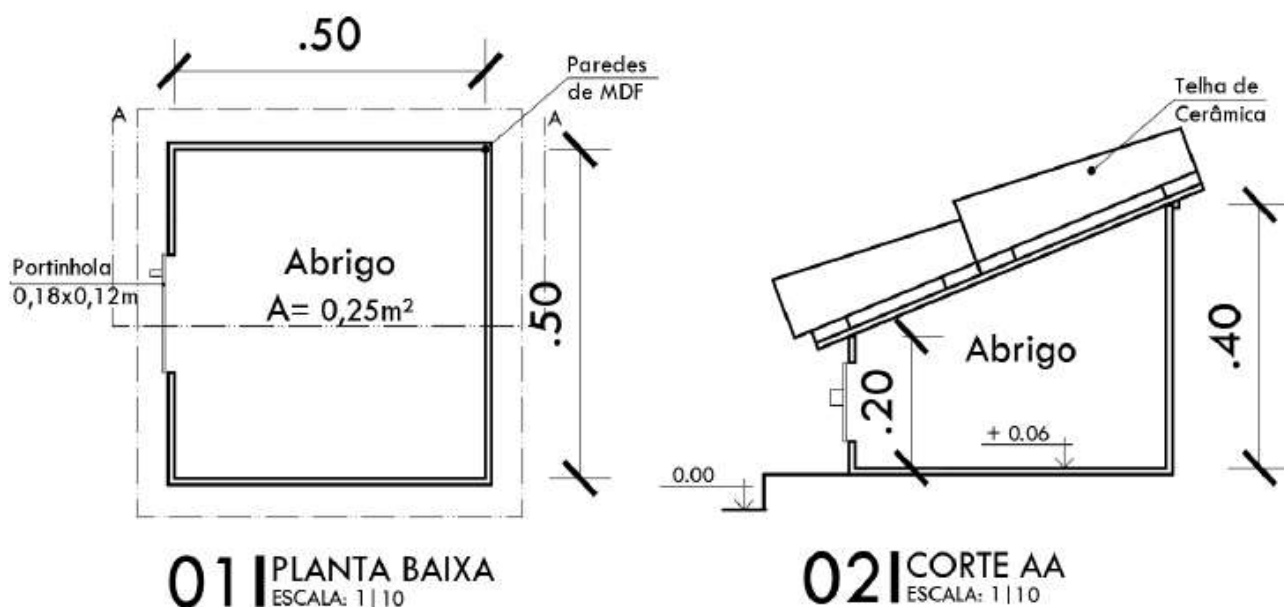
Fonte: *Google Earth* (2021)

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS USADOS

Foram construídas 5 (cinco) caixas idênticas, denominadas “células teste”, com estruturas compostas de MDF (sigla para *Medium Density Fiberboard*), e as placas feitas de material oriundo da madeira com uma resina sintética. Todas pintadas da mesma cor, branca, para evitar discrepâncias nos resultados.

As células teste foram confeccionadas com as dimensões de 50x50cm, fachada de 20cm de altura e fundo de 40cm para simulação da inclinação de um telhado. Na parte frontal, foi feita uma portinhola deslizante com a finalidade de obter dados na parte interna dos abrigos, sem que a temperatura do ambiente interno e da face inferior da telha se dissipasse no decorrer dos testes (Figura 9).

Figura 9 – Projeto das células teste



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Os materiais analisados foram: Tcer – Telha Cerâmica (modelo: americana dupla); Tacust – Telha termoacústica (duas chapas de aço em formato trapezoidal e entre elas o EPS – Poliestireno expansível); Tmet – Telha Metálica (uma única chapa de aço em formato de trapézio); Tfibro – Telha de fibrocimento (telha ondulada composta por fibrocimento, livre de amianto); e Teco – Telha Ecológica (telha corrugada de fibra vegetal impermeabilizada com betumem e resina termofixa) (Figura 10).

Figura 10 – Células teste com as telhas: (a) Fibrocimento; (b) Ecológica; (c) Metálica; (d) Termoacústica; (e) Cerâmica



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Além do mencionado acima, foram utilizados dois equipamentos para medição das temperaturas: termômetro digital com infravermelho, para medição das faces superior e inferior das telhas; e dois

termômetros de mercúrio para medição da temperatura ambiente externa e interna das células teste (Figura 11 e 12).

Figura 11 – Termômetros digital com infravermelho



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Figura 12 – Termômetros de mercúrio



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

3.2 MÉTODO APLICADO

Para identificar qual foi a telha mais adequada para região de Teresina-PI, utilizou-se do método de medição *in loco* definida pela NBR 15575-1 item 11.1c, que permite a realização de teste em edificações ou **protótipos construídos**.

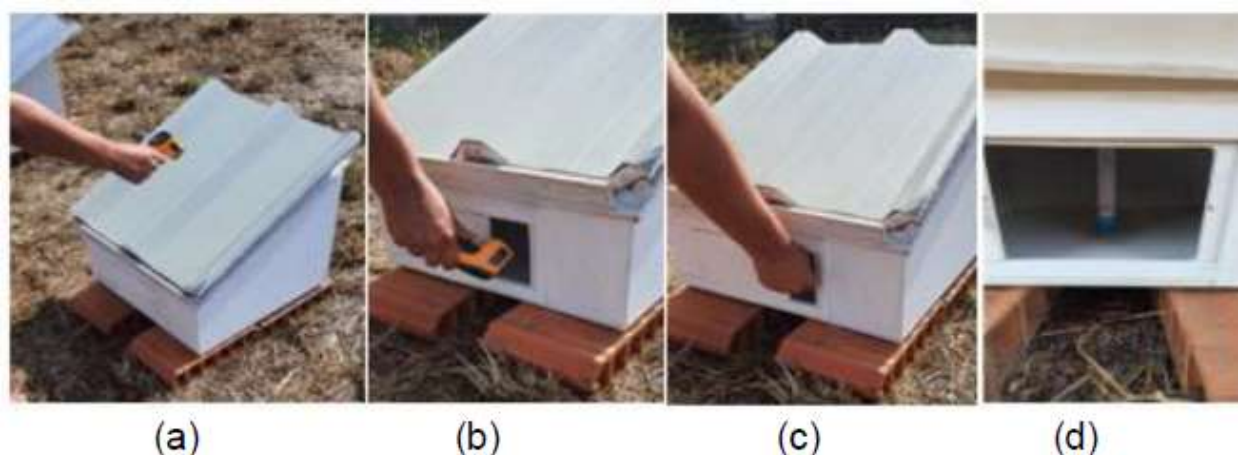
De acordo com Abreu *et al* (2011), a disposição das células teste devem ser de leste para o oeste, ou seja, a frente dos abrigos foi locada para o oeste com o intuito de receber o máximo de incidência solar durante o dia (Figura 13).

Figura 13 – Locação das células teste



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Os dados das temperaturas foram obtidos da seguinte forma: nos horários definidos para 8h, 12h, 15h e 18h, foram aferidas as temperaturas das faces superior (a) e inferior (b) (c) das telhas, a uma distância média de 10cm, com termômetro digital com infravermelho e, simultaneamente, um dos termômetros de mercúrio foi colocado dentro da célula teste (d) por 5 minutos cada para medição da temperatura do ambiente interno (Figura 14).

Figura 14 – Medição das temperaturas das faces das telhas e do ambiente interno

Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

O processo se repetiu para todas as células teste, em todos os horários determinados entre os dias 21 a 25 de setembro de 2021. O outro termômetro de mercúrio foi preparado em uma estrutura de ferro (como suporte) para que ficasse acima do solo 30cm, a fim de obter a temperatura ambiente externa próxima a células teste (Figura 15).

Figura 15 – Medição da temperatura externa

Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

A partir de todos os dados coletados, após metodologia adotada neste capítulo, foi possível transcrever todas as informações para o *software Excel*. E com essas informações, pode-se fazer uma análise detalhada do comportamento dos materiais estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Abreu *et al* (2011), a transmissão de calor ocorre entre meios quando existe uma diferença de temperatura entre eles, desde que esta diferença esteja sempre seguindo da maior para a de menor temperatura. Caso não apresente essa diferença, significa dizer que essa transferência estará em equilíbrio térmico, definindo assim este processo de gradiente de temperatura (Gt) representada pela eq. 1.

Eq. (1)

$$Gt = Ts - Ti$$

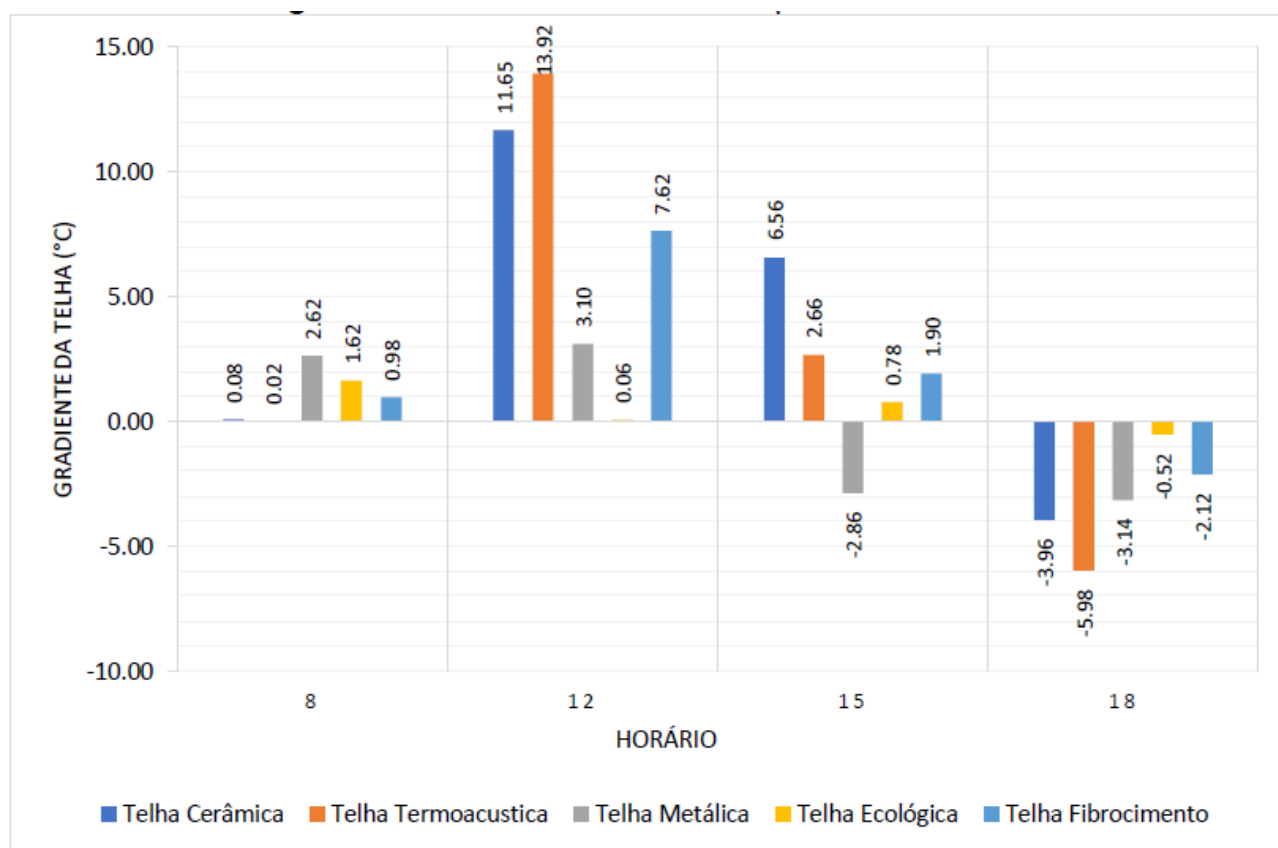
Sendo:

- Gt – Gradiente de Temperatura ($^{\circ}C$)
- Ts – Temperatura da face superior da telha ($^{\circ}C$)
- Ti – Temperatura da face inferior da telha ($^{\circ}C$)

Quando o gradiente de temperatura é positivo, significa que o sentido da transferência de calor é do meio externo para meio interno; e, se for negativo, o inverso.

Por meio da radiação solar, o fluxo da transferência de calor (na maior parte do dia) ocorre da face superior para face inferior das telhas de forma gradativa (no decorrer do dia), e invertendo o sentido para todas as telhas após às 18h. Na sua maioria, as telhas apresentaram os resultados esperados, principalmente nos horários de maior incidência de radiação solar (de 12h às 15h).

Particularidades foram observadas nas telhas metálicas e ecológicas. No horário das 12h, a telha ecológica praticamente não teve troca de calor, significando um equilíbrio térmico. Já a telha metálica, no horário das 12h, apresentou baixa gradiente, mas ainda positivo, podendo ser explicado pela sua coloração bastante reflexiva (cor prateada), explicando assim seu baixo gradiente de temperatura. E por fim, a telha metálica, no horário das 15h, apresentou gradiente negativo, indicando que o calor passou a ser transferido de face inferior para face superior da mesma (Figura 16).

Figura 16 – Gradiente médio de temperatura das telhas

Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Com os dados coletados, também foi possível analisar o desempenho térmico de cada material, podendo assim comprovar a diferença de temperatura média do ambiente interno em relação à temperatura média do ambiente externo no período do estudo, usando a seguinte eq. 2.

Eq. (2)

$$\Delta t = T_{(int)} - T_{(ex)}$$

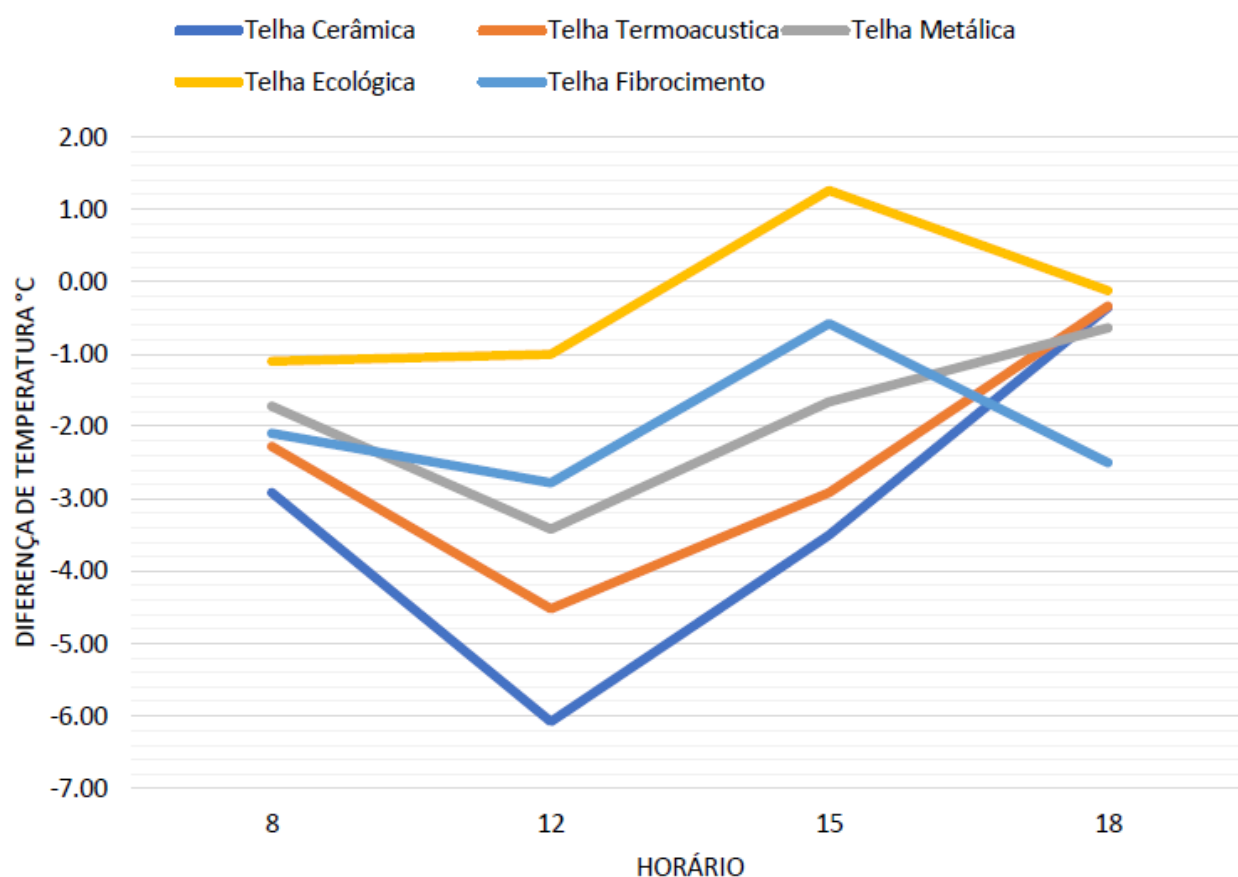
Sendo:

- Δt – Diferença média de Temperatura (°C)
- $T_{(int)}$ – Temperatura média do ambiente interna (°C)
- $T_{(ex)}$ – Temperatura média do ambiente externa (°C)

Durante todo período da pesquisa, a maioria das telhas apresentaram um comportamento similar, com temperaturas menores que a do ambiente externo.

A NBR 15575, anexo A 2.1, menciona que a temperatura máxima do ar interno tem que ser menor ou igual à temperatura máxima do ar externo. Então, para os parâmetros da norma citada acima, pôde-se verificar que todas as telhas, exceto a telha ecológica, atenderam às especificações normativas (Figura 17).

Figura 17 – Diferença média de temperatura entre os Ambientes Interno e Externo



Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

5 CONCLUSÕES

De posse das informações obtidas neste estudo, conclui-se que a telha cerâmica é o material mais adequado para cidade de Teresina-PI, pois nos horários em que a temperatura ambiente externa são mais altas, o seu comportamento ofereceu um conforto térmico consideravelmente melhor, 6°C menor que o ambiente externo. Outros materiais se destacaram, como a telha termoacústica, com temperaturas próximas de menos 4,5 °C em relação ao ambiente externo.

A telha metálica apresentou o terceiro melhor desempenho, porém, por causa da cor do seu material (prateado), seu real resultado pode ter sido encoberto. Já a telha fibrocimento mereceu destaque

neste estudo, pois, apesar de não possuir o melhor desempenho térmico, poderia ser uma alternativa economicamente acessível, pelo seu baixo custo, tanto do próprio material e do seu processo construtivo. Infelizmente a telha ecológica não atingiu os parâmetros normativos da NBR 15575, sendo reprovado nos horários mais quentes do dia.

Para estudos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de alternativas combinando propriedades dos diferentes materiais aqui estudados, com intuito de criar um tipo de cobertura adaptado às regiões e locais de climas similares ao de Teresina-PI.

Como exemplo: a possibilidade de construir uma telha termoacústica usando, ao em vez das duas chapas de aço, duas telhas de fibrocimento com o EPS entre elas, usando a mesma metodologia aqui apresenta para devidas análises e assim verificar se seu desempenho térmico melhora em relação aos outros materiais testados.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15575-1: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABREU, P. G. de, et al. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47099/1/analise-termografica-da-temperatura.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BORGES, Dayane. Sensação térmica: quando ocorre tipos de transferência de calor. Conhecimento Científico. Física e Química. 2020. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.r7.com/sensacao-termica/>. Acesso em: 04 maio 2021.
- ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de calor e massa. São Paulo: AMGH, 2012.
- DIEDRICH, C.H. Análise do comportamento térmico de coberturas em residências de interesse social. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do
- FIX, Fernando Rebello; GOULART, Maik Buss. Desempenho térmico de telhas: índice de refletância solar (SRI) em telhas cerâmicas semi-grês e o impacto no consumo de energia elétrica gerado através das cores das telhas. 2020. Trabalho de Conclusão (Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos da física. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012.
- INMET. Dados históricos anuais. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/dadoshistoricos/2020.zip>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- INMET. Normais climatológicas (1990-2017). Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 2020.
- KREITH, Frank, et al. Princípios e transferência de calor. Tradução de Noveritis do Brasil. São Paulo: Trilha, 2014.
- LIMA, Milcíades Gadelha de, et al. Clima do Piauí: interações com o ambiente. Teresina: Edufpi, 2020.
- MAGALHÃES, Rhayck Jordan. Desempenho térmico de telhas: um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia/GO, 2018.
- NORONHA, Gabi. Radiação solar: o que é como funciona e quais seus efeitos no planeta. Conhecimento Científico. Física e Química. 2020. Disponível em:

<https://conhecimentocientifico.r7.com/radiacao-solar/>. Acesso em: 04 maio 2021. Paraná, Ponta Grossa, 2018.

SILVA, Alice Mendonça; BASTOS, Jennifer de Souza. Desempenho térmico em paredes: ensaios utilizando placa arduino. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Evangélica de Goiás, Anápolis/Go, 2018.

SLIDETODOC. Propagação de calor. Sem informações referenciais. Disponível em:

<https://slidetodoc.com/7-ano-calor-a-energia-trmica-em-trnsito/>. Acesso em: 04 maio 2021.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física II: termodinâmica e ondas. Tradução de Adir Moysés Luiz. São Paulo: Addison Wesley, 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Dados obtidos em campo de temperatura dos ambientes externo e interno da célula teste e temperaturas das faces superior e inferior das telhas

DATA	HORARIO	Tcer			Ttacust			Tmet			Teco			Tfibro							
		TELHA	TS	TI	AMBIENTE	TELHA	TS	TI	AMBIENTE	TELHA	TS	TI	AMBIENTE	TELHA	TS	TI	AMBIENTE				
21/09/2021	08:00	30,50	30,30	31,00	30,00	30,70	33,50	31,00	31,00	38,80	36,40	31,00	32,00	38,20	35,90	31,00	32,00	29,80	27,70	31,00	31,50
	12:00	51,05	41,00	42,00	39,00	59,70	43,50	42,00	41,00	44,80	41,90	42,00	42,00	56,80	59,70	42,00	43,00	49,50	37,10	42,00	41,00
	15:00	47,20	39,60	39,00	37,50	44,00	41,10	39,00	37,80	37,50	39,00	39,00	38,20	54,20	55,90	39,00	42,50	49,50	44,80	39,00	38,70
	18:00	24,80	29,60	33,00	30,00	17,20	26,10	33,00	28,50	21,60	26,20	33,00	28,20	22,10	22,80	33,00	27,30	23,00	25,50	33,00	27,70
22/09/2021	08:00	27,40	29,00	33,00	29,40	28,60	32,50	33,00	31,10	37,60	35,80	33,00	31,40	37,90	36,70	33,00	31,50	32,20	31,20	33,00	30,00
	12:00	52,70	39,00	47,00	36,60	52,20	42,20	47,00	37,90	46,40	43,70	47,00	39,40	59,30	61,20	47,00	43,00	53,00	46,30	47,00	39,10
	15:00	51,00	41,40	47,00	39,00	47,70	41,30	47,00	39,10	36,30	39,70	47,00	39,50	56,90	54,40	47,00	43,80	48,30	47,30	47,00	40,90
	18:00	26,10	31,40	32,00	31,70	18,70	27,90	32,00	29,80	25,70	27,30	32,00	29,60	23,30	24,30	22,00	28,60	24,90	26,90	32,00	28,80
23/09/2021	08:00	28,50	29,30	29,00	28,50	28,00	30,00	29,00	29,00	30,70	27,00	29,00	29,50	27,90	26,10	29,00	30,50	20,30	19,70	29,00	30,00
	12:00	54,00	40,30	42,00	36,00	52,00	43,20	42,00	37,50	46,50	43,80	42,00	39,00	63,30	61,30	42,00	42,00	54,30	45,90	42,00	41,00
	15:00	46,30	40,70	41,00	38,00	38,30	40,80	41,00	38,50	36,10	39,80	41,00	40,00	46,70	44,00	41,00	43,00	42,40	43,70	41,00	42,00
	18:00	19,30	25,50	29,00	31,00	18,70	24,30	29,00	31,00	20,70	24,80	29,00	30,00	18,30	18,60	29,00	28,50	20,00	22,40	29,00	28,00
24/09/2021	08:00	30,60	30,00	32,00	28,50	35,90	32,90	32,00	28,50	36,90	34,60	32,00	28,50	35,90	35,10	32,00	29,50	29,80	29,30	32,00	28,00
	12:00	49,50	37,60	41,00	34,00	59,70	41,20	41,00	36,00	44,00	40,50	41,00	37,50	56,00	55,50	41,00	40,50	45,80	42,10	41,00	39,00
	15:00	41,60	38,70	37,00	36,00	34,50	36,40	37,00	37,00	30,70	35,80	37,00	39,00	37,80	38,20	37,00	41,00	37,40	39,90	37,00	39,50
	18:00	27,20	29,90	33,00	33,50	24,90	28,00	33,00	34,00	27,30	29,30	33,00	34,50	26,80	27,10	33,00	32,50	27,80	29,60	33,00	31,00
25/09/2021	08:00	31,00	29,00	34,00	28,00	37,10	31,30	34,00	28,00	36,70	33,80	34,00	29,00	41,70	39,70	34,00	30,00	30,20	29,50	34,00	29,00
	12:00	54,00	45,10	38,00	34,00	60,40	44,30	38,00	35,00	50,00	46,30	38,00	35,00	60,10	57,50	38,00	36,50	48,10	41,20	38,00	36,00
	15:00	47,50	40,40	40,00	36,00	48,30	39,90	40,00	37,00	42,00	42,60	40,00	39,00	56,60	55,80	40,00	40,00	50,70	43,10	40,00	40,00
	18:00	28,30	29,10	30,00	29,00	24,80	27,90	30,00	32,00	26,00	29,40	30,00	31,50	27,90	28,20	30,00	29,50	27,90	29,80	30,00	29,00

Ts - Temperatura da face superior da telha
 Ti - Temperatura da face inferior da telha
 Tcer - Telha Cerâmica
 Tacust - Telha termoacustico
 Tmet - Telha metálica
 Teco - Telha Ecológica
 Tfibro - Telha Fibrocimento
 T(ex) - Temperatura do Ambiente Externo
 T(int) - Temperatura do Ambiente Interno

Fonte: Elaborado pelo autor deste artigo

Capítulo 8



10.37423/220305530

ENERGIA SOLAR E O ADVENTO DAS CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS

Elizabeth Soares Vieira

Instituto Federal do Maranhão - Campus Imperatriz

João Pedro Lemos Moraes

Instituto Federal do Maranhão - Campus Imperatriz

Fernando José Figueiredo Agostinho D'Abreu Mendes *Escola Superior de Tecnologia de Saúde de Coimbra*

Ana Angélica Mathias Macêdo

Instituto Federal do Maranhão - Campus Imperatriz



1 INTRODUÇÃO

As células solares sensibilizadas por corante (DSSC, do inglês *Dye Sensitized Solar Cell*) surgem como uma forma de produção de energia eficiente e economicamente mais vantajosa em comparação as células solares tradicionais produzidas com silício, que apresentam valor elevado devido ao processamento da matéria-prima.

Nas últimas décadas, vários corantes metálicos foram sintetizados, caracterizados e utilizados como sensibilizadores para DSSC, com ênfase nos complexos de polipiridínicos de rutênio (II), o qual apresenta a maior capacidade de geração de fotocorrente. Entretanto, tal corante, além de tóxico, é relativamente raro, encarecendo o dispositivo final devido aos processos de extração e purificação necessários (NARAYAN, 2011).

Diante disso, intensificou-se a busca por novos sensibilizadores com estrutura molecular livre de complexos metálicos e maior disponibilidade, apresentando baixo custo de produção, rotas sintéticas menos complexas e larga faixa de absorção referente ao espectro visível (LUDIM *et al.*, 2014).

No que tange ao uso de corantes de origem natural, as antocianinas tem se destacado como sensibilizadores promissores devido a sua intensa coloração e seu largo espectro de absorção de luz visível na faixa de 450-580 nm (AHLIHA, 2018).

2 CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTE (DSSC)

A crescente demanda energética e o aumento da população tem contribuído com o consumo contínuo de combustíveis fósseis, necessitando de novas formas sustentáveis de produção de energia (WU *et al.*, 2017). Nesse sentido, as células solares sensibilizadas por corante são promissoras devido ao custo reduzido, alta disponibilidade de matéria-prima e não-toxicidade.

DSSC são dispositivos elétricos que convertem energia luminosa em eletricidade. Nesse processo, a absorção óptica e a separação de carga ocorrem por meio da associação de um sensibilizador e um óxido semicondutor de *bandgap* amplo (BAZARGAN *et al.*, 2011).

As células de Gratzel funcionam a partir da interação entre seis componentes elementares (Figura 1): eletrodo, corante, dióxido de titânio (TiO₂), eletrólito, catalisador e contraeletrodo.

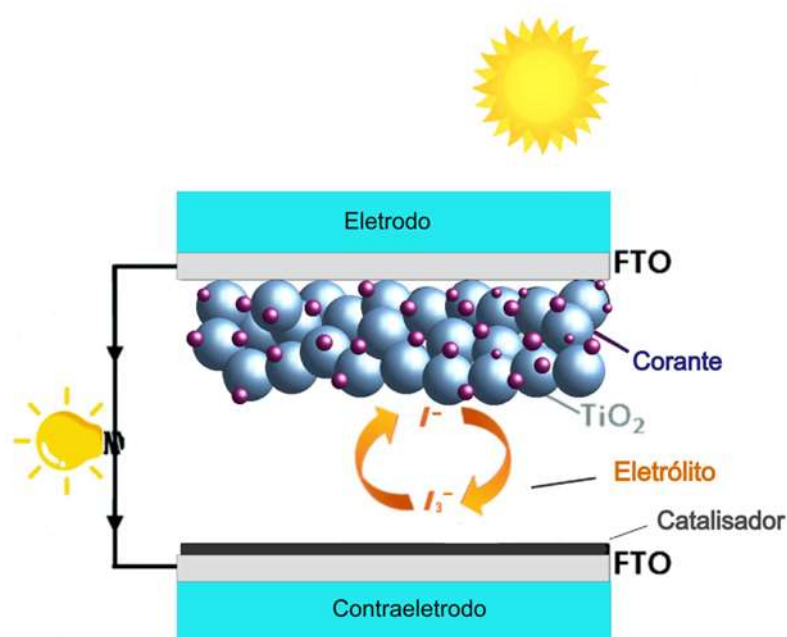


Figura 1: Estrutura básica de uma DSSC. Fonte: Autoral.

De modo geral, o corante apresenta grande espectro de absorção e presença de grupos carboxílicos, carbonila ou hidroxila em suas moléculas com o intuito de promover a ancoragem do corante ao semicondutor (OMAR *et al.*, 2020).

O eletrólito é composto por um par redox - geralmente complexo de iodeto e triiodeto - utilizado para regenerar o corante oxidado, que é posicionado entre dois substratos de vidro denominados eletrodo e contraeletrodo, ambos revestidos por uma camada de óxido condutor transparente (TCO, do inglês *Transparent Conductive Oxide*), geralmente óxido de estanho dopado com flúor (FTO, do inglês *Fluorine Tin Oxide*) (GHAN *et al.*, 2017).

Uma fina camada semicondutora é depositada no eletrodo, pois as moléculas de corante são adsorvidas e transportadas ao TCO em sua superfície. O contraeletrodo é revestido por uma fina camada de platina para catalisar a reação redox com a solução eletrolítica (REHMAN, 2014).

2.1 COMPONENTES

2.1.1 ELETRODO

O eletrodo ou fotoanodo é o eletrodo negativo, onde há perda de elétrons por oxidação. O eletrodo é revestido por um óxido transparente condutor (TCO), conferindo-lhe características condutoras

cruciais para o transporte dos portadores de carga fotogerados na célula até os contatos elétricos (SHARMA, 2017).

O TCO deve apresentar estabilidade com a variação de temperatura – uma vez que o tratamento térmico empregado na produção de DSSC atinge temperaturas elevadas – e alta transmissividade óptica, para reduzir a perda de luz por reflexão. Por isso, não pode ser muito condutor, haja vista que, a transmissividade óptica de um filme reduz com o aumento de sua condutividade (BAXTER, 2012).

O substrato de vidro deve apresentar uma elevada transmissividade óptica, especialmente nos comprimentos de onda correspondentes à faixa de absorção do corante. Além disso, o óxido semicondutor transparente deve apresentar baixa resistência de folha, limitada à faixa de 5–15 Ω por quadrado (KALYANASUNDARAM, 2010).

Dentre os TCO's, destaca-se o óxido de estanho dopado com flúor (FTO) por suportar altas temperaturas, já que o procedimento de preparação das DSSC requer tratamentos térmicos com temperaturas até 450 °C, e a resistividade do FTO é praticamente constante nessa faixa de temperatura (KWAK *et al.*, 2011).

2.1.2 FILME SEMICONDUTOR

O semicondutor é o elemento responsável pelo transporte de elétrons do corante ao óxido condutor transparente, podendo também contribuir para a ampliação da área superficial à qual o corante se pode ligar e criar fenômenos de dispersão de luz que aumentam a quantidade de radiação absorvida pelo corante. Por isso deve ser transparente na faixa do espectro que o corante está apto a absorver, o que implica em possuir *bandgap* ampla, superior a 3eV (ODOBEL *et al.*, 2010).

O filme do semicondutor deve apresentar uma nanoestrutura, para aumentar sua área superficial, com o propósito de adsorver uma quantidade maior de moléculas de corante e aumentar a colheita de fótons. Segundo Listorti *et al.*, (2011), a área efetiva característica de um filme mesoporoso é cerca de mil vezes maior que área geométrica deste filme, o que gera a adsorção da primeira camada do corante por toda a extensão do filme mesoporoso.

Outro fator de grande influência para o filme semicondutor é a sua porosidade, que funciona como um suporte de elevada área superficial para o corante e deve variar de 50% a 70% (HEGEDUS, LUQUE, 2003). O limite inferior garante a penetração do eletrólito r em meio as nanopartículas, atuando como redutor do corante em toda a extensão do filme. Já o limite superior impede a redução excessiva da

quantidade de vizinhos das nanopartículas pelo excesso de poros, a qual prejudica o transporte de elétrons.

2.1.3 CORANTE

A seleção do corante tem de ocorrer tendo em vista a maximização da absorção do espectro solar (KOENIGSMANN *et al.*, 2011). O corante deve possuir boa estabilidade eletroquímica, térmica e sob radiação solar. As moléculas do corante não devem formar agregados entre si e a transferência de carga no interior do corante deve apresentar elevada eficiência (HAGFELDT *et al.*, 2010).

O sensibilizador ou corante é o elemento adsorvido na superfície das nanopartículas de TiO₂, absorvendo a luz e gerando elétrons por meio de sua oxidação, os quais posteriormente são transferidos para a banda do óxido semicondutor. Por isso, os sensibilizadores mais utilizados são os que contém Rutênio (Ru), capazes de absorver luz com comprimento de onda entre 400 nm a 800 nm (HEGEDUS, LUQUE, 2003).

As moléculas dos corantes possuem níveis de energia discretos, denominados HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital* – Orbital Molecular mais Alto Ocupado) e LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital* - Orbital Molecular mais Baixo Desocupado) . Desse modo, o espectro de absorção se estende por uma ampla faixa de comprimentos de onda, que correspondem todas as transições possíveis entre esses níveis.

Como alternativa aos corantes organometálicos, têm sido estudados os corantes orgânicos. Estes são constituídos por um grupo doador de elétrons, uma ponte π conjugada e um grupo receptor de elétrons. As DSSC com corantes orgânicos já conseguem ter eficiência superior a 10%, aproximando-se da eficiência das DSSC com corantes organometálicos corantes organometálicos, (Zeng *et al.*, 2010).

2.1.4 ELETRÓLITO

O eletrólito ou solução eletrolítica desempenha um papel elementar em uma DSSC, haja vista que os mediadores redox do eletrólito atuam como meio para transferência de elétrons do contra eletrodo e promovem a regeneração do corante oxidado (NISSFOLK *et al.*, 2006) além de influenciar diretamente no processo de fotoconversão de energia e na durabilidade da célula solar (IFTIKHAR *et al.*, 2019).

Seus íons são responsáveis pelo transporte de elétrons do corante até o contraeletrodo e está intrinsecamente relacionado a fotoconversão de energia e a durabilidade da célula fotovoltaica.

Desempenha o importante papel de intermediador de cargas, reduzindo as espécies oxidadas e oxidando as espécies reduzidas (NOGUEIRA, 2004).

O eletrólito mais comum em DSSC é composto por uma solução de iodeto/tri-iodeto ou Cobalto(III). Inicialmente, a montagem de DSSC era feita exclusivamente com eletrólitos líquidos. Entretanto, células com esse tipo de eletrólito apresentam dificuldades em serem vedadas e problemas de vazamento. (ÖNEN *et al.*, 2019).

2.1.5 CONTRAELETRODO

O contraeletrodo é composto por um filme fino de óxido de estanho dopado com flúor. Este é recoberto com uma fina camada de catalisador, que podem ser nanopartículas de platina ou grafite. A célula é montada em um arranjo tipo sanduíche, entre os quais é inserido um par redox que tem a função de regenerar o corante (HAGFELDT, 2010).

Além do efeito catalítico necessário, os filmes de platina (Pt) depositados por *sputtering*, auxiliam também na reflexão de luz de volta à parte ativa da célula por serem espelhados, aumentando a eficiência da DSSC. Dessa forma, o principal material utilizado como contraeletrodo é um filme de Pt depositado sobre um vidro transparente condutor, normalmente o FTO.

O funcionamento dessas células é baseado em reações químicas. Ao absorver luz, o corante sensibilizador atinge seu estado excitado e injeta elétrons na banda de condução do óxido metálico, oxidando-se. O corante é regenerado rapidamente pelo mediador, que se reduz no contraeletrodo na presença de um catalisador, fechando o circuito elétrico (GRÄTZEL; 2003).

Um desafio que permanece desde o trabalho inicial publicado por Gratzel, é a vedação do dispositivo a altas temperaturas, pois a baixa temperatura de ebulição dos eletrólitos resulta em vazamentos durante o procedimento de selagem (WANG *et al.*, 2004).

2.1.6 SELANTE

Selante é o responsável pela separação entre os eletrodos, mantendo as distâncias entre eles e prevenindo eventuais curtos-circuitos na célula. A selagem correta do dispositivo torna-o mais resistente a entrada de umidade e reduz o risco de evaporação dos solventes orgânicos presentes no eletrólito. O selante, devido a sua origem polimérica, sofre fusão quando colocado entre dois eletrodos e submetido simultaneamente a calor e pressão (JENA *et al.*, 2012).

3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

As moléculas de corante (C), quando atingidas pela luz de frequência ν , transcendem para o estado excitado (C^*), realizando o procedimento de fotoexcitação (Equação 1).



As moléculas de corante, diretamente ligadas a superfície do semicondutor, podem decair para o seu estado fundamental, emitindo um fóton com frequência ν' (Equação 2).



Ou injeta um elétron na banda de condução (BC) do óxido semicondutor, oxidando-se ao final (Equação 3).



Se o corante realizar a injeção de elétrons na BC do semicondutor, as cargas se infiltrarão entre as nanopartículas de TiO_2 por difusão até atingirem o TCO, onde serão recolhidas pelo circuito externo. Neste caso, o corante é reduzido ao seu estado fundamental pelo íon I^- presente no eletrólito, regenerando-se. Após a redução, o íon I^- converte-se em um íon I_3^- (Equação 4).



Tal processo deve ocorrer rapidamente para impedir a recombinação entre elétron injetado e corante oxidado e a subsequente perda do portador (Equação 5).



Por meio do circuito externo, as cargas são transportadas até o contraeletrodo, onde ocorre a regeneração do I_3^- (Equação 6).



Outra forma de recombinação é a redução o íon I_3^- por um elétron já injetado no semicondutor (Equação 7).



Em síntese, um fóton atinge o corante, excitando-o e levando-o a injetar elétrons no TiO_2 , os quais vão até o TCO e são transportados ao circuito externo. Após alcançarem o contraeletrodo, esses elétrons regeneram os íons contidos no eletrólito, os quais regeneram o corante, encerrando o ciclo.

4 CORANTES NATURAIS

Os pigmentos naturais usados como sensibilizadores possuem potencial para atingir desempenho e estabilidade semelhantes aos corantes constituídos de complexos metálicos (HUG *et al.*, 2014). Corantes de origem natural extraídos da beterraba (betalaínas) e da uva (antocianinas) são exemplos que foram avaliados e apresentaram boa estabilidade (CHANDRASEKHAR; MADHUSUDHAN; RAGHAVARAO, 2012).

As betalaínas são pigmentos hidrossolúveis e nitrogenados derivadas do aminoácido tirosina, e relativamente estáveis em vários valores de pH (SHOFES, 2014). Classificam-se em betacianinas (coloração vermelha-violeta) e betaxantinas (coloração amarelo-alaranjada), dependendo dos radicais agregados (R1 e R2), os quais podem ser hidrogênio ou um substituto aromático (Figura 2).

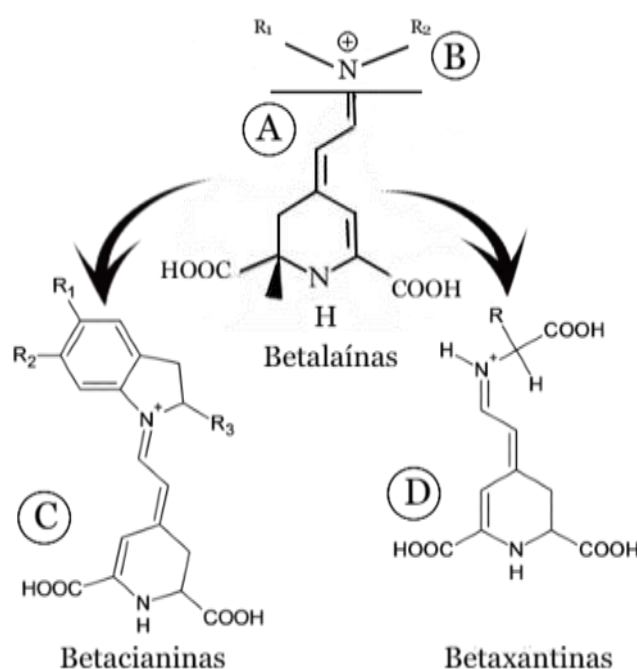


Figura 2: Fórmula geral da betalaína com A - Ácido betalâmico, presente em todas as moléculas; B – Estrutura variável referente a betacianina ou betaxantina; C - Estrutura das betacianinas; D – Estrutura das betaxantinas Fonte: Autoral.

A beterraba vermelha (*Beta Vulgaris L.*), é a fonte mais comum de betalaínas; apresentando betacianinas e betaxantinas tanto em seu bulbo como em seus talos e folhas (KOUBAIER, 2014).

Segundo o estudo realizado por Zhang e seus colaboradores (2008) referente ao uso de corantes orgânicos em DSSC, ao aplicar o extrato da beterraba crua como sensibilizador para um filme de dióxido de titânio, a célula apresentou uma densidade de fotocorrente máxima de $2,42 \text{ mA/cm}^2$ e fotovoltagem de circuito aberto de 0,44 V na presença de metoxipropionitrila com mediador redox iodeto/triiodeto.

As antocianinas caracterizam-se por serem pigmentos naturais, hidrossolúveis, responsáveis pelas cores vibrantes, como: vermelho, azul e roxo, em frutos, flores, sementes e caules (YUAN; CHIU; LI, 2009). Estruturalmente, é de origem biossintética semelhante a dos flavonóides, com a diferença da antocianina apresentar forte absorção da luz visível.

Por ser uma substância não tóxica, as antocianinas apresentam potencial como corantes para diversas aplicações. O repolho roxo se destaca como uma fonte de antocianinas por apresentar alta concentração desta, intensa coloração e principalmente pela estabilidade química proveniente de suas estruturas altamente aciladas (EKICI *et al.*, 2014).

As antocianinas de repolho roxo possuem ampla gama de espectros de cores e matizes, e excelente termoestabilidade. Seus pigmentos são: cianidina 3-glucósido, cianidina 3,5-diglucósido e cianidina 3-soforósido-5-glucósido (Figura 3) (CHIGURUPATI, 2002):

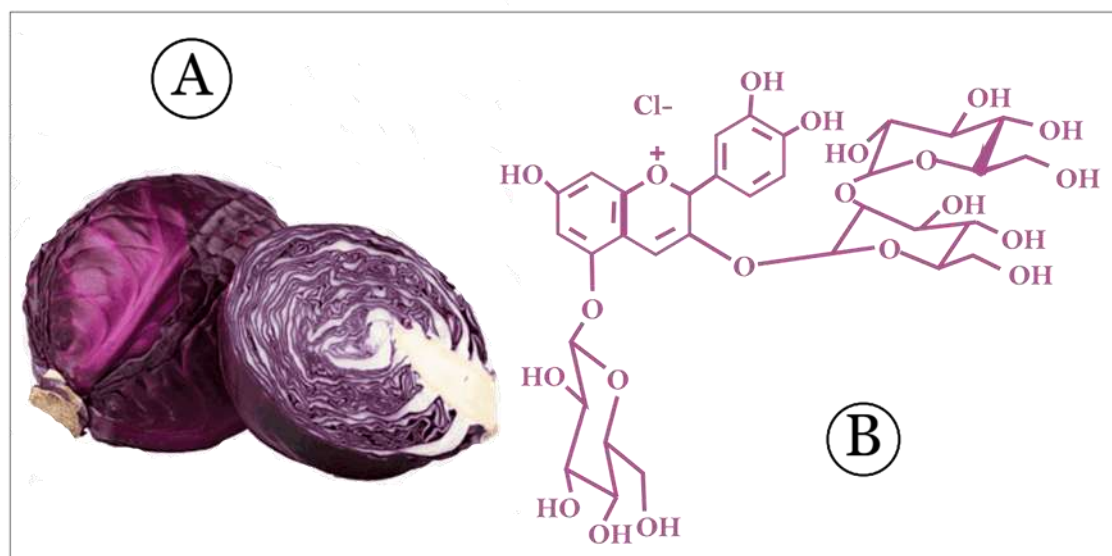


Figura 3: Repolho roxo (*Brassica oleraceavar. capitata f. rubra*) A – Parte folhosa e B - Estrutura química. Fonte: Autoral.

O repolho roxo se apresenta como um possível fotossensibilizador, dada a sua natureza orgânica, abundância, baixo custo, capacidade de exibir um amplo espectro de cores que variam conforme pH e temperatura, e a grande disponibilidade de antocianinas em seu extrato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As células solares sensibilizadas por corante (DSSC) estão à beira da comercialização e as estimativas de custo de fabricação dessa tecnologia estão próximas dos custos projetados de outras tecnologias fotovoltaicas. Para tornar a tecnologia DSSC mais competitiva, é crucial melhorar a eficiência do dispositivo, reduzir o custo e a quantidade de material utilizado em sua fabricação.

Para atingir esses objetivos, devem ser desenvolvidos modelos para identificar quantitativamente semicondutores, corantes e eletrólitos promissores, e aprimorar a sua montagem visando maximizar a captação de luz e minimizar as perdas de elétrons. Um modelo bem desenvolvido pode acelerar o processo de desenvolvimento com uma economia substancial de tempo e recursos experimentais.

REFERÊNCIAS

- AHLIHA, A. H.; NUROSYID, F.; SUPRIYANTO, A.; KUSUMANINGSIH, T. Optical properties of anthocyanin dyes on TiO₂ as photosensitizers for application of dye-sensitized solar cell (DSSC). In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 012018, 2018.
- BAXTER, J. B. Commercialization of dye sensitized solar cells: Present status and future research needs to improve efficiency, stability, and manufacturing. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, v. 30, n. 2, p. 020801, 2012.
- BAZARGAN, M. H.; BYRANVAND, M. M.; KHARAT, A. N.; FATHOLAH, L. Natural pomegranate juice as photosensitizers for dye-sensitized solar cell (DSSC). *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, v. 5, n. 4, p. 360-62, 2011.
- CHANDRASEKHAR, J.; MADHUSUDHAN, M. C.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption. *Food and bioproducts processing*, v. 90, n. 4, p. 615-623, 2012.
- CHIGURUPATI, N.; SAIKI, L.; GAYSER, C.; DASH, A. K. Evaluation of red cabbage dye as a potential natural color for pharmaceutical use. *International journal of pharmaceutics*, v. 241, n. 2, p. 293-299, 2002.
- EKICI, L.; SIMSEK, Z.; OZTURK, I.; SAGDIC, O.; YETIM, H. Effects of temperature, time, and pH on the stability of anthocyanin extracts: Prediction of total anthocyanin content using nonlinear models. *Food Analytical Methods*, v. 7, n. 6, p. 1328-1336, 2014.
- GHANN, W.; KANG, H.; SHEIKH, T.; YADAV, S.; CHAVEZ-GIL, T.; NESBITT, F.; UDDIN, J. Fabrication, optimization and characterization of natural dye sensitized solar cell. *Scientific reports*, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.
- GRÄTZEL, M. Dye-sensitized solar cells. *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry Reviews*, v. 4, n. 2, p. 145-153, 2003.
- HAGFELDT, A.; BOSCHLOO, G.; SUN, L.; KLOO, L.; PETTERSSON, H. Dye-sensitized solar cells. *Chemical reviews*, v. 110, n. 11, p. 6595-6663, 2010.
- HEGEDUS, Steven S.; LUQUE, Antonio. Status, trends, challenges and the bright future of solar electricity from photovoltaics. *Handbook of photovoltaic science and engineering*, p. 1-43, 2003.
- HUG, H.; BADER, M.; MAIR, P.; GLATZEL, T. Biophotovoltaics: natural pigments in dye-sensitized solar cells. *Applied Energy*, v. 115, p. 216-225, 2014.
- IFTIKHAR, H.; SONAI, G. G.; HASHMI, S. G.; NOGUEIRA, A. F.; & LUND, P. D. Progress on electrolytes development in dye-sensitized solar cells. *Materials*, v. 12, n. 12, p. 1998, 2019.
- JENA, A.; MOHANTY, S. P.; KUMAR, P.; NADUVATH, J.; GONDANE, V.; LEKHA, P.; BHARGAVA, P. Dye sensitized solar cells: a review. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, v. 71, n. 1, p. 1-16, 2012.
- KALYANASUNDARAM, K. Dye-sensitized solar cells. CRC press, 2010.

KOENIGSMANN, C.; SANTULLI, A. C.; GONG, K.; VUKMIROVIC, M. B.; ZHOU, W. P.; SUTTER, E.; ADZIC, R. R. Enhanced electrocatalytic performance of processed, ultrathin, supported Pd–Pt core–shell nanowire catalysts for the oxygen reduction reaction. *Journal of the American Chemical Society*, v. 133, n. 25, p. 9783-9795, 2011.

KOUBAIE, H. B. H.; SNOUSSI, A.; ESSAIDI, I.; CHAABOUNI, M. M.; THONART, P.; BOUZOUITA, N. Betalain and Phenolic Compositions, Antioxidant Activity of Tunisian Red Beet (*Beta vulgaris* L. conditiva) Roots and Stems Extracts. *International Journal of Food Properties*, v. 17, p. 1934–1945, 2014.

KWAK, D. J., MOON, B. H., LEE, D. K., PARK, C. S., & SUNG, Y. M. Comparison of transparent conductive indium tin oxide, titanium-doped indium oxide, and fluorine-doped tin oxide films for dye-sensitized solar cell application. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, v. 6, n. 5, p. 684-687, 2011.

LISTORTI, A.; O'REGAN, B.; DURRANT, J. R. Electron Transfer Dynamics in dye-Sensitized Solar Cells. *Chemistry of Materials*, v. 23, n. 15, p. 3381-3399, 2011.

LUDIN, N. A.; MAHMOUD, A. A. A.; MOHAMAD, A. B.; KADHUM, A. A. H.; SOPIAN, K.; KARIM, N. S. A. Review on the development of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, p. 386-396, 2014.

NARAYAN, M. R. Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 1, p. 208-215, 2012.

NISSFOLK, J.; FREDIN, K.; HAGFELDT, A.; BOSCHLOO, G. Recombination and transport processes in dye-sensitized solar cells investigated under working conditions. *The Journal of Physical Chemistry B*, v. 110, n. 36, p. 17715-17718, 2006.

NOGUEIRA, A. F.; LONGO, C.; DE PAOLI, M.-A. Polymers in dye sensitized solar cells: overview and perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, v. 248, n. 13-14, p. 1455-1468, 2004.

ODOBEL, F.; LE PLEUX, L.; PELLEGRIN, Y.; BLART, E. New photovoltaic devices based on the sensitization of p-type semiconductors: challenges and opportunities. *Accounts of chemical research*, v. 43, n. 8, p. 1063-1071, 2010.

OMAR, A.; ALI, M. S.; ABD RAHIM, N. Electron transport properties analysis of titanium dioxide dye-sensitized solar cells (TiO₂-DSSCs) based natural dyes using electrochemical impedance spectroscopy concept: A review. *Solar Energy*, v. 207, p. 1088-1121, 2020.

ONEN, T.; ÖZBAY KARAKUŞ M.; COŞKUN R.; ÇETİN H. Reaching stability at DSSCs with new type gel electrolytes. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 385, p. 112082, 2019.

REHMAN, A.; ASLAM, F.; KHAN, H. A. Analyze the Absorption Properties and IV Characterization of Dye Sensitized Solar Cell Using Ruthenium Dye. *Am. J. Eng. Appl. Sci.*, v. 4, p. 387-390, 2014.

SHARMA, S.; SIWACH, B.; GHOSHAL, S. K.; MOHAN, D. Dye sensitized solar cells: From genesis to recent drifts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, p. 529-537, 2017.

SCHOEFS, B. Determination of pigments in vegetables. *Journal of chromatography A*, v. 1054, n. 1-2, p. 217-226, 2004.

WANG, P.; ZAKEERUDDIN, S. M.; HUMPHRY-BAKER, R.; GRÄTZEL, M. A binary ionic liquid electrolyte to achieve $\geq 7\%$ power conversion efficiencies in dye-sensitized solar cells. *Chemistry of Materials*, v. 16, n. 14, p. 2694-2696, 2004.

WU, J.; LAN, Z.; LIN, J.; HUANG, M.; HUANG, Y.; FAN, L.; WEI, Y. Counter electrodes in dye-sensitized solar cells. *Chemical Society Reviews*, v. 46, n. 19, p. 5975-6023, 2017.

YUAN, Y.; CHIU, L.; LI, L. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in red cabbage. *Planta*, v. 230, n. 6, p. 1141, 2009.

ZHANG, D.; LANIER, S. M.; DOWNING, J. A.; AVENT, J.L.; LUM, J.; MCHALE, J.L. Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 195, n. 1, p. 72-80, 2008.

ZENG, G.; NIAN, K.; LEE, K. Characteristics of a dye-sensitized solar cell based on an anode combining ZnO nanostructures with vertically aligned carbon nanotubes. *Diamond and Related Materials*, v. 19, n. 12, p. 1457-1460, 2010.