

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XIV



EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

14^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

14ª 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, 2025

157 f.: il

DOI: 10.37423/2025.edcl1081

ISBN: 978-65-5367-615-2

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/10.37423/2025.edcl1081>

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

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

CAPÍTULO 1	6
IMPLANTAÇÃO DE UM ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA NO IFBA CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA	
Isadora Piropo Pimentel	
Núbia Luana Neves Alves	
Orley Magalhães de Oliveira	
Yasmin Evangelista	
DOI 10.37423/250209608	
CAPÍTULO 2	23
ANÁLISE DO INVERSOR MULTINÍVEL COM DIODOS DE GRAMPEAMENTO EMPREGANDO A MODULAÇÃO POR SINTESE DE FORMAS ONDA QUASE-QUADRADAS	
Diorge Alex Bao Zambra	
DOI 10.37423/250209613	
CAPÍTULO 3	46
MATRIZES DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA	
Ricardo Souza Araújo	
Danilo de Santana Nunes	
Yuri Sotero Bomfim Fraga	
Gabrielli Santos Oliveira	
Gabriela Calheira Primo Lopes	
Thalles Murilo Santos de Almeida	
Thiago Francisco de Souza	
Ruan Carlos de Araújo Moura	
José Renato de Castro Pessôa	
DOI 10.37423/250209621	
CAPÍTULO 4	58
VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM INCORPORAÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA	
Ricardo Souza Araújo	
Danilo de Santana Nunes	
Yuri Sotero Bomfim Fraga	
Gabriela Calheira Primo Lopes	
Gabrielli Santos Oliveira	
Thalles Murilo Santos de Almeida	
Thiago Francisco de Souza	
Ruan Carlos de Araújo Moura	
José Renato de Castro Pessôa	
DOI 10.37423/250209622	

CAPÍTULO 5	70
ANÁLISE DE CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES CONSUMIDORAS DO GRUPO B UTILIZANDO PYTHON	
Rodrigo Santana Esperidião	
Fernando Nunes Belchior	
DOI 10.37423/250209629	
 CAPÍTULO 6	 102
ANÁLISE DA COMBUSTÃO DO DIESEL S10 E SISTEMAS COMBINADOS DIESEL S10/BIODIESEL/BUTANOL NA FORMAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS	
Luciano André Deitos Koslowski	
Cleiton Vaz	
Humberto Gracher Riella	
DOI 10.37423/250209684	
 CAPÍTULO 7	 119
DEMANDA SOCIAL ENQUANTO FORÇA MOTRIZ PARA UM PROJETO DE BIOPROCESSO	
Alessandra Suzin Bertan	
Marco Aurélio Cremasco	
DOI 10.37423/250209709	
 CAPÍTULO 8	 136
ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO LÍQUIDO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORO GASOSO COMO OXIDANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA	
Bartholomeu Siqueira Júnior	
DOI 10.37423/250209722	
 CAPÍTULO 9	 143
PROGRAMA DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SOBRAL: O DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE	
EDER PAULUS MORAES GUERRA	
DOI 10.37423/250209723	

Capítulo 1



10.37423/250209608

IMPLANTAÇÃO DE UM ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA NO IFBA CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA

Isadora Piropo Pimentel

Instituto Federal da Bahia

Núbia Luana Neves Alves

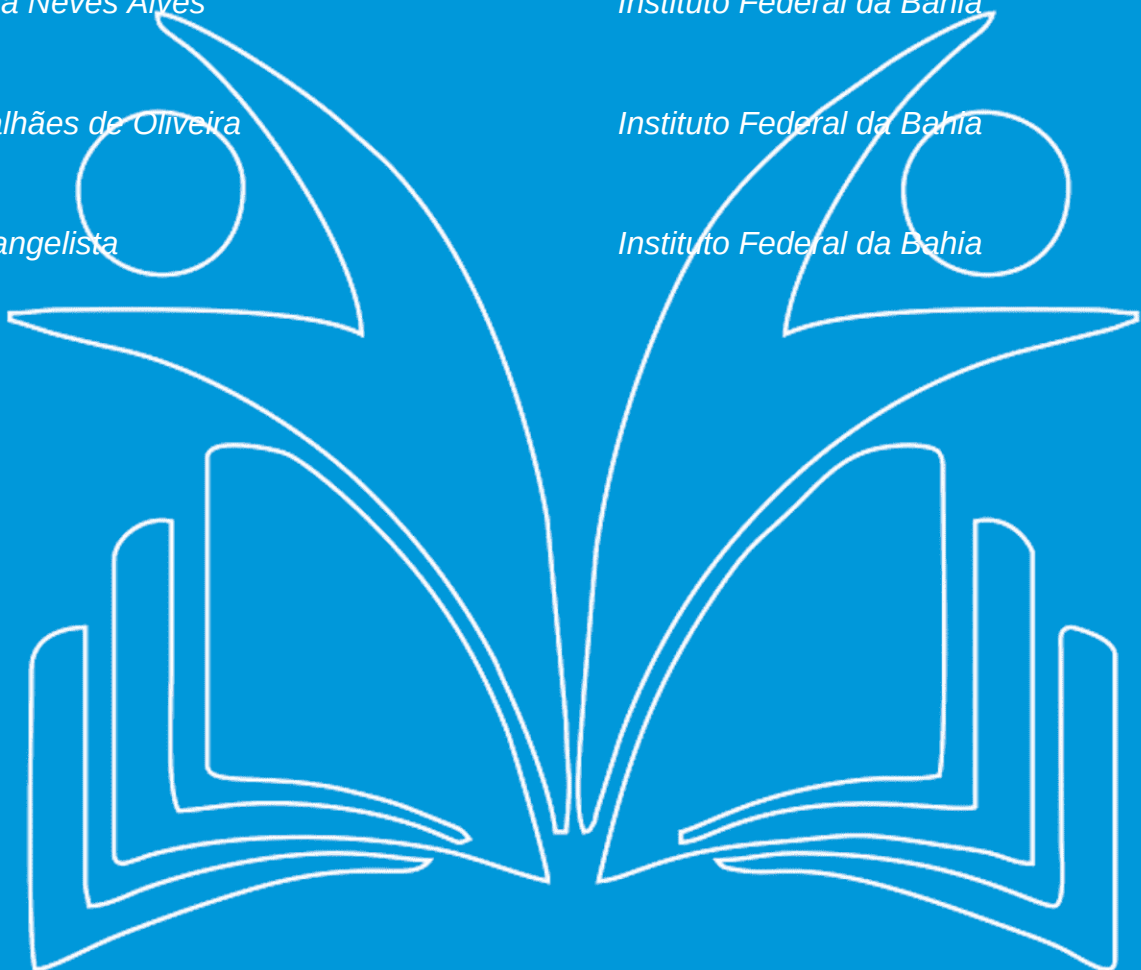
Instituto Federal da Bahia

Orley Magalhães de Oliveira

Instituto Federal da Bahia

Yasmin Evangelista

Instituto Federal da Bahia



Resumo: O estágio constitui uma atividade acadêmica supervisionada, cujo propósito é qualificar os estudantes para o mercado de trabalho por meio da imersão em ambientes profissionais. Nesse contexto, este estudo propõe a implantação de um Escritório de Projetos de Engenharia Civil no Instituto Federal da Bahia, campus Vitória da Conquista, estruturado como um projeto de extensão voltado para a elaboração de projetos de construção civil e a realização de ensaios de controle tecnológico do concreto no laboratório de materiais de construção. Sob a supervisão de docentes qualificados, a iniciativa busca integrar teoria e prática, proporcionando aos estudantes uma experiência de estágio fundamentada na prestação de serviços às comunidades interna e externa do campus. O atendimento será direcionado, prioritariamente, a entidades sem fins lucrativos, estabelecendo parcerias estratégicas com empresas locais para garantir a continuidade e sustentabilidade do escritório. Além disso, o projeto contempla o desenvolvimento de ações sociais, como serviços gratuitos de orientação técnica para regularização de imóveis e a promoção de palestras voltadas à conscientização sobre temas de relevância social. Adicionalmente, parcerias com empresas da região são incentivadas para a realização de ensaios de controle tecnológico do concreto, assegurando a qualidade do material produzido. Diante do exposto, os resultados obtidos demonstraram o potencial positivo da proposta, proporcionando vantagens sociais além de promover a interação entre empresas/comunidade e discentes da instituição, favorecendo a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula. A iniciativa permitiu o desenvolvimento de habilidades técnicas e gerenciais nos estudantes, aprimorando sua qualificação profissional e ampliando suas oportunidades no mercado de trabalho. Além disso, a prestação de serviços à comunidade contribuiu para a democratização do acesso a orientações técnicas na área da construção civil, fortalecendo o papel social da instituição. Dessa forma, a implantação do Escritório de Engenharia demonstrou ser uma estratégia eficaz para a formação acadêmica e o impacto positivo na sociedade.

Palavras-chave: Estágio supervisionado; Escritório de Engenharia; Engenharia Civil; Regularização de imóveis; Controle tecnológico.

INTRODUÇÃO

A sociedade brasileira está inserida num contexto atual de umas das maiores crises econômicas e morais de sua história, impactando diretamente diversos setores, incluindo a construção civil e o mercado imobiliário. Segundo Rodrigo Koelich (2014), houve uma expressiva redução na capacidade de investimento privado no setor, resultando na paralisação de novos empreendimentos e afetando escritórios de projetos de engenharia, que precisaram reduzir significativamente suas equipes técnicas. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) confirmam que, entre 2010 e 2019, a construção civil apresentou o pior desempenho entre os segmentos econômicos, refletindo diretamente na empregabilidade e na participação do setor no Produto Interno Bruto (PIB).

Paralelamente, a crise econômica também impacta a educação superior, dificultando a inserção de profissionais recém-formados no mercado de trabalho. Nesse contexto, o estágio curricular obrigatório surge como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de competências técnicas e comportamentais, conforme preconizado pela Lei nº 11.788/2008. A inserção de estudantes em atividades práticas não apenas facilita a transição para o mercado de trabalho, mas também possibilita o atendimento a demandas sociais relevantes.

O Instituto Federal da Bahia (IFBA), campus Vitória da Conquista, oferece três cursos de engenharia (Civil, Elétrica e Ambiental), sendo assim a criação de um Escritório de Projetos de Engenharia visa proporcionar aos discentes uma formação mais sólida, unindo teoria e prática. Esse projeto de extensão tem como objetivos principais incentivar a aproximação dos estudantes com a realidade de sua área de formação, fomentar a compreensão das diferentes teorias que regem o exercício profissional e atender à comunidade de baixa renda por meio da elaboração de projetos de engenharia civil e elétrica. Ademais, busca-se a realização de levantamento cadastral de imóveis para regularização, a promoção de palestras educativas e a execução de testes de controle tecnológico do concreto em parceria com empresas locais.

Vitória da Conquista, terceira cidade mais populosa da Bahia, apresenta um crescimento urbano acelerado, mas sem a devida infraestrutura habitacional para populações de baixa renda. Como consequência, há um grande número de construções irregulares, dificultando o acesso a financiamentos e comprometendo a segurança estrutural das edificações. O Escritório de Projetos do IFBA tem um papel essencial nesse cenário, oferecendo serviços técnicos gratuitos para regularização de imóveis e garantindo que construções sigam padrões adequados de qualidade e segurança.

Além disso, o crescimento do setor de construção civil na cidade gerou a necessidade de controle tecnológico do concreto, um processo essencial para garantir a qualidade das edificações. No entanto, a implantação de laboratórios especializados exige altos investimentos, tornando o Escritório de Projetos uma alternativa viável para suprir essa demanda. A realização de ensaios de resistência do concreto dentro do laboratório de materiais do IFBA permitirá a estudantes e empresas locais acesso a testes de qualidade confiáveis, contribuindo para o desenvolvimento do setor.

O Escritório de Projetos do IFBA representa, assim, uma estratégia eficaz para a formação acadêmica dos discentes e para a prestação de serviços de relevância social. Além de atender às exigências curriculares de estágio supervisionado, possibilita a interação entre estudantes e o mercado de trabalho, fortalecendo a qualificação profissional e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda da região.

REGULARIZAÇÃO DE IMÓVEL

Visando atender as demandas de imóveis irregulares, fora proposto este projeto a fim de capacitar os discentes do curso de Engenharia Civil na elaboração de projetos e legalizações de imóveis, além de promover para a sociedade de baixa renda a possibilidade de realizar a etapa técnica e orientação quanto à regularização do seu imóvel de forma gratuita. Este processo pode ser muito trabalhoso e demorado, entretanto a legalização do imóvel junto à prefeitura é necessário seja para a compra, venda ou herança. Para isso, realizasse ao menos um Estudo Preliminar Arquitetônico, o qual consiste num layout com as especificações da divisão operacional dos ambientes do imóvel, além de diversos documentos, tais como:

- Matrícula do imóvel: uma matrícula registrada no cartório de imóveis da cidade;
- Alvará de construção emitido pela prefeitura: é necessário que as dimensões e o tamanho da construção sigam as regras do município. Por isso, a construtora ou o responsável pela obra deve entregar o projeto arquitetônico na prefeitura. Se o projeto for aprovado, o alvará será emitido.
- ART (Anotação de Responsabilidade Técnica): o engenheiro ou arquiteto que fizer o projeto deve apresentar a ART à prefeitura junto com o plano de construção. Esse documento prova a ligação entre ele e a obra que irá realizar.
- Habite-se da obra: no fim da construção, a prefeitura faz uma vistoria no imóvel para conferência de projetos locais e execução de acordo com o mesmo. Dessa forma após essa etapa, caso tudo esteja em conformidade, ela emitirá o Habite-se, chamado também de certificado de conclusão de obra;

- Registro de imóvel: Com a planta do imóvel, o Habite-se, e as certidões negativas de ISSQN e INSS em mãos, o proprietário deve ir até o cartório de registro de imóveis mais próximo para registrar;
- Cadastro do imóvel na prefeitura: por fim, ao ir à prefeitura o imóvel receberá uma numeração de cadastro caso esteja totalmente legalizado. Alguns cartórios pedem o cadastro antes de registrar o imóvel, enquanto outros fazem o registro primeiro.

Concomitantemente, caso ocorra uma pequena alteração como reparos construtivos em fachadas ou a construção de alguma laje devem ser devidamente registrados e documentados na Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU), evitando que ocorram problemas e/ou irregularidades. Essas alterações levam em conta se há uma mudança na área dos ambientes ou estrutura do imóvel. Caso seja algo além de pinturas e pequenos reparos, é possível surgir a necessidade de atualizar o registro e regularizar a situação do imóvel.

É preciso frisar que nem toda Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU) exige os mesmos documentos, sendo necessário fazer a verificação junto à prefeitura previamente. Entretanto, para a legalização é indispensável que se tenha os documentos exigidos e as plantas arquitetônicas necessárias, plantas de fachada e elevações (planta do desenho da elevação frontal da casa – janelas, portas de entrada e revestimentos, inclui elevação extra para facilitar visualização externa); planta baixa (planta executiva pronta para construir, traz medidas espaciais e dimensões dos ambientes no plano horizontal, inclui posição de paredes, portas, vãos, janelas, etc); plantas de corte (definem altura dos pisos, pé direito, peitoris de janelas, cobertura, níveis e espessuras. Mostram encaixes da casa e ajudam a evitar imprevistos na construção); planta de localização (planta que mostra a locação da casa e as medidas mínimas de afastamentos frontais e laterais em relação às divisas do terreno), planta de situação (situando o lote na sua posição quanto à quadra do loteamento ou bairro) bem como, plantas estrutural, hidráulica, elétrica, telhados e outras.

Todo esse processo é realizado com o auxílio de profissionais da área técnica, Engenharia Civil ou Arquitetura, e da área jurídica e possuem custos que não são acessíveis a toda população.

ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Além do levantamento cadastral que os discentes realizarão para auxiliar a comunidade externa do campus, os mesmos também realizaram projetos em geral, contribuindo para a formação do engenheiro e a busca de um profissional multidisciplinar, que esteja apto a atuar no desenvolvimento da construção civil como um todo, atento a necessidade de aperfeiçoamento contínuo e de desenvolvimento de habilidades, tendo sempre em vista a ética como princípio fundamental.

A Matriz Curricular do curso de Engenharia Civil IFBA conta com as seguintes disciplinas teórica e de projeto: Materiais de construção I e II, Concreto Armado I e II, Instalações Prediais Hidrossanitárias, Combate à Incêndio, Tecnologia das Construções e Orçamento de Obras. Essa gama de conhecimentos visto em sala de aula estará vinculada ao Escritório de Projetos, para que os alunos possam se capacitar também com a prática, além de contarem com a supervisão de professores aptos. Destaca-se que todos os projetos que serão realizados pelos discentes baseiam-se nas normas vigentes nas áreas preconizadas.

LABORATÓRIO DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

Buscando parcerias laboratoriais e estratégias que visam agregar conhecimento científico e tecnológico para os discentes de Engenharia Civil, propõe-se a fazer parcerias externas, além de utilizar o Laboratório de Materiais de Construção situado no IFBA para o controle tecnológico do concreto de empresas concreteiras situadas na cidade de Vitória da Conquista.

O controle tecnológico do concreto é a supervisão de qualidade realizada no mesmo como em qualquer material que desempenha função de responsabilidade, Bauer (2008) afirma que, além da seleção e o estudo de dosagens do concreto é indispensável o controle da execução e das características do mesmo.

O controle tecnológico do concreto diz respeito, principalmente, à resistência de esforços mecânicos especificados que geralmente é realizado em laboratório, o ensaio empregado denomina-se ensaio de resistência à compressão, normalizado pela NBR 12655 de 2006. O ensaio consiste em realizar as seguintes ações: dosagem e separação dos volumes dos materiais que irão compor o concreto. A dosagem é calculada no processo chamado traço. O traço indica a quantidade de cimento, areia, brita e água que serão aplicados no concreto a ser ensaiado. A moldagem, geralmente, dos corpos-de-prova de concreto são conformados em corpos cilíndricos chamados moldes onde a amostra descansa por 24 horas. Após o processo de moldagem, as amostras são submetidas ao processo de cura. Esse processo de cura do concreto pode durar 7, 14 ou até 28 dias; é quando o corpo-de-prova de concreto é imerso em uma câmara úmida ou tanque com água para adquirir resistência.

Concomitantemente, deve-se ressaltar a propriedade de trabalhabilidade do concreto que infere na elaboração, transporte e adensamento sem a perda de homogeneidade, que está intrinsecamente relacionado à relação água/cimento, granulometria do agregado usado, plastificantes, e dos equipamentos utilizados, bem como, da experiência do tecnologista. A medida de trabalhabilidade é

determinada a partir do ensaio denominado *slump test* ou cone de Abrams. O procedimento consiste em colocar o cone molhado sobre a chapa metálica também molhada. Uma vez firmemente apoiado, deve ser adicionado ao cone três camadas de concreto de igual altura, ressalta-se que cada uma das camadas é golpeada 25 vezes com uma barra metálica. Logo em seguida, o cone é retirado verticalmente e o abatimento da amostra é medido.

ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Para a implantação do Escritório de Projetos de Engenharia Civil no IFBA, foi definida uma metodologia de investigação visando que o projeto de implantação fosse desenvolvido o mais coerente, conciso e próximo da realidade possível. Para tanto, a metodologia empregada é composta por um modelo de investigação e vários elementos de análise e busca de informação. Isso posto, o modelo deste projeto teve como principal objetivo averiguar a viabilidade do Escritório de Projetos, e para isso, fez-se necessário a realização de uma análise dos serviços que os alunos do campus poderiam oferecer para a comunidade de forma a contribuir com a formação dos mesmos. E analisando o fator histórico, social, e econômico de algumas áreas da cidade onde se localiza o campus, juntamente com os engenheiros e professores do IFBA, concluiu-se que a regularização de imóveis é um serviço de extrema relevância e que ao ser realizado de forma gratuita irá beneficiar muitas famílias carentes tanto no que diz respeito a recursos financeiros quanto ao acesso à informação.

Outrossim, para execução de serviços referentes ao controle tecnológico do concreto, procedeu-se a uma análise prévia do panorama regional acerca dessa atividade. Constatou-se, à luz dessa investigação, que poucas empresas se dedicam à execução de ensaios voltados ao controle de qualidade do concreto, a despeito da notável relevância desse procedimento para a garantia da excelência e segurança das estruturas.

A segunda etapa da metodologia adotada neste projeto corresponde ao “desenvolvimento”, englobando os elementos estratégicos imprescindíveis para a efetiva implantação do Escritório de Projetos. Nesta fase, define-se o plano de marketing a ser empregado, as modalidades de serviços a serem ofertadas, bem como a estruturação da gestão financeira, visando à sustentabilidade e eficiência operacional do Escritório.

Para garantir a eficiência operacional e o pleno desenvolvimento das atividades do Escritório de Projetos, faz-se necessária a definição de diretrizes claras relacionadas à alocação de recursos humanos e à organização setorial. Esses elementos são fundamentais para assegurar não apenas o

cumprimento das exigências acadêmicas, mas também a qualidade dos serviços prestados à comunidade e às empresas parceiras.

O Escritório de Projetos estrutura-se em quatro setores estratégicos, essenciais para a sua operacionalização: administrativo, financeiro, marketing e recursos humanos. Cada setor com funções específicas, visando à sinergia entre as áreas e à eficiência na execução dos projetos de engenharia.

A terceira etapa da Metodologia de Investigação consiste-se na implantação do Escritório de Projetos no que diz respeito à infraestrutura necessária, ou seja, inserir computadores, instalar softwares como AutoCad®, Revit®, TQS® e Excel®.s, além de todo o mobiliário necessário.

Posteriormente, inicia-se o treinamento dos discentes, o qual é subdividido em 3 grupos. Um grupo responsável pela elaboração de projetos, com recebimento de treinamentos dos softwares utilizados, por um dos professores colaboradores ou até mesmo por um dos alunos que já tenha tido alguma experiência com os softwares. O segundo grupo com treinamento de ensaios de laboratório, que também acompanhados por um discente ou pelo próprio supervisor do projeto. E por último, um grupo de discentes para aprenderem sobre levantamento cadastral, sendo este realizado pelo professor.

O próximo passo se dispõe em buscar firmar parcerias com as empresas de construção da cidade e profissionais da área. Ademais, iniciar a divulgação dos serviços prestados pelo Escritório de Projetos nessa conjuntura também é de grande relevância.

Por fim, a última etapa consiste em uma avaliação. O supervisor do projeto, juntamente com os professores e técnicos colaboradores, analisam os resultados obtidos no decorrer dos 12 meses de implantação do Escritório para verificar se a proposta foi benéfica aos alunos e a comunidade, ao demonstrar solidez e recursos para continuar em funcionamento.

LEVANTAMENTO CADASTRAL

Como exposto anteriormente, o levantamento cadastral consiste na representação gráfica precisa de uma edificação, funcionando como uma “fotografia técnica” que retrata suas características físicas e dimensionais. Esse processo pode ter finalidades geométricas, fiscais, jurídicas ou multifinalitárias, sendo realizado de forma minuciosa por profissionais qualificados, em conformidade com normas técnicas e legislações específicas.

O principal fator que impacta diretamente a complexidade e a regularidade da situação cadastral do imóvel é a “metragem da edificação”, que influencia tanto na análise técnica quanto nos desdobramentos legais. Além disso, o levantamento cadastral pode ser classificado em três tipos distintos, de acordo com suas especificidades e finalidades:

- Levantamento *as built*: que é executado logo após a construção do imóvel e visa retratar fielmente o que fora construído;
- Levantamento de projetos modificados: que visa documentar as modificações que foram realizadas no imóvel tais como demolições, construção de paredes, ampliações, entre outros.
- Levantamento de edificações irregulares: atualmente as cidades passaram a exigir que as edificações cumpram os requisitos mínimos dos planos diretores municipais, por exemplo, recuo, taxa de ocupação, taxa de solo natural, dentre outros.

O tipo de levantamento que é efetuado é determinado logo após a visita ao imóvel pelo proponente do projeto. Após a identificação do levantamento, munido de todo aparato necessário para a realização dos procedimentos, os discentes guiam-se pelos seguintes passos:

- Medições de distâncias verificando se há discrepâncias relacionando às tolerâncias de controle;
- Croqui com as identificações e medidas do imóvel visando coletar e armazenar a informação do espaço;
- Colocar os resultados do cadastro urbano à disposição dos diversos órgãos públicos envolvidos e aos cidadãos.
- Para regularização da situação cadastral do imóvel é necessário que o cidadão detenha dos seguintes documentos:
- Formulário próprio preenchido e assinado pelo requerente;
- Projeto Arquitetônico plotado em papel opaco, assinado pelo autor do projeto, responsável técnico e pelo proprietário;
- Documento com o número da Inscrição Imobiliária atualizada do imóvel;
- Documento de Responsabilidade Técnica registrado no Conselho Profissional competente (ART – Anotação de Responsabilidade Técnica expedida pelo CREA ou RRT – Registro de Responsabilidade técnica expedido pelo CAU), do autor do projeto;
- Certidão Negativa de Tributos do Imóvel (Débitos do Imóvel);
- Contrato de compra e venda ou Certidão de Inteiro Teor que apresente a Matrícula do Imóvel no Cartório demonstrando a sua propriedade ou posse;
- Documento oficial de identificação do proprietário (RG, CPF ou Carteira de habilitação) ou do procurador.

ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O projeto é um planejamento gráfico visual feito com base no levantamento de diversas informações coletadas. Essas informações têm por objetivo refletir as necessidades e as condicionantes atuantes em uma determinada obra. Portanto, é necessário possuir várias etapas que levam em conta todas as necessidades do cliente, relacionada ao seu real orçamento para a execução e por isso, é fundamental obter ajuda capacitada para o planejamento, ou seja, o projeto final é a junção de todos os outros projetos que o compõem no qual determina uma forma planejada de executar uma obra com maior eficiência e menor desperdício.

Anteprojeto e projeto arquitetônico

O anteprojeto conta com os serviços preliminares de topografia (corte e aterro), um croqui de todos os pavimentos, um estudo das normas referentes a projetos de escalas compatíveis com acessibilidade, bem como a padronização e exigências dos laboratórios de acordo a norma vigente e atualizada.

O projeto arquitetônico contém em seu conjunto todos os desenhos técnicos necessários para o projeto. São elas:

- Plantas de fachada e elevações: (planta que mostra o desenho da elevação frontal da casa – janelas, portas de entrada e revestimentos, inclui elevação extra para facilitar visualização externa);
- Planta de fachada em 3D: (imagem com o visual da fachada em 3D que mostra a casa construída. O desenho traz detalhes ilustrativos como jardins, árvores e objetos no entorno);
- Planta baixa: (planta executiva pronta para construir. Traz medidas espaciais e dimensões dos ambientes no plano horizontal; inclui posição de paredes, portas, vãos, janelas, etc);
- Plantas de corte: (definem altura dos pisos, pé direito, peitoris de janelas, cobertura, níveis e espessuras. Mostram encaixes da casa e ajudam a evitar imprevistos na construção);
- Planta de localização: (planta que mostra a locação da casa e as medidas mínimas de afastamentos frontais e laterais em relação às divisas do terreno);
- Planta humanizada: (esta planta é uma representação da casa decorada, mostra medidas e tamanhos dos ambientes com sugestões de posicionamentos de móveis, vegetação e outros);
- Tabelas de alvenaria: (tabela com dados sobre tipos, locação e dimensões das esquadrias utilizadas, como portas e portões, o que facilita a execução da obra e orçamentos);
- Planta de situação: (desenho que delimita o loteamento no ambiente urbano ou rural. Ou seja, é o desenho do formato do lote, e da sua localização no espaço. Além do formato e localização, esse tipo de planta indica as dimensões do terreno, de modo que o imóvel pretendido seja bem planejado);

- Planta de cobertura: (traz detalhes do telhado com caimentos da água para os coletores, dimensões das abas de proteção e dados sobre posição de telhas, beirais e calhas), reunirá o projeto de alvenaria, bem como outros correlatos.

PROJETO HIDROSSANITÁRIO E DE COMBATE A INCÊNDIO

Basicamente o projeto hidrossanitário consiste no dimensionamento do sistema hidráulico de água fria e água quente (dependendo da realidade orçamentária do cliente), sanitário, de combate a incêndio e águas pluviais. O projeto é elaborado após a desenvolvimento dos projetos arquitetônico e estrutural, obviamente por depender da localização dos elementos estruturais e de alvenaria para o mapeamento do sistema e encanações necessárias.

O projeto hidrossanitário consiste em:

- Desenvolvimento de um projeto de água fria e sanitário com o objetivo de suprir os ocupantes de uma edificação com água fria para suas atividades higiênicas e domésticas necessárias;
- Desenvolvimento de um projeto pluvial que recolha e conduza as águas da chuva até um local adequado e permitido.

O projeto de combate a incêndio consiste no desenvolvimento de um projeto que controle um possível incêndio até a chegada do corpo de bombeiros, ou seja, até o período estabelecido por norma de no mínimo 1 (uma) hora.

Consiste nos sistemas de:

- Rede de Hidrantes ou Mangotinhos;
- Rede de Sprinklers;
- Detecção e alarme;
- Extintores;
- Sinalização de emergência;
- Adequação de edificações e áreas de risco aos projetos de combate à incêndio (PPCI) aprovado pelo Corpo de Bombeiros.

PROJETO DA ESTRUTURA E DE COBERTURA

O projeto estrutural é complementar ao projeto de arquitetura, tem como objetivo o dimensionamento e o detalhamento de pilares, vigas e lajes que são as fases mais importantes do projeto. Nessa fase o engenheiro é auxiliado por um software e pela NBR 6118, onde são levados em consideração os principais fatores para dimensionamento:

- A resistência do concreto;

- O clima;
- A ação do vento;
- Cargas permanentes;
- Cargas acidentais.

No projeto da superestrutura apresenta em seu corpo:

- Compatibilização de eixos e níveis com o projeto arquitetônico e com os demais projetos;
- Nomenclatura, dimensionamento e detalhamento de todas as peças estruturais;
- Detalhamento de elementos estruturais específicos (escadas, reservatórios, contenções etc);

PROJETO ORÇAMENTÁRIO E PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO

O orçamento é o que determinará o foco, as prioridades e principalmente o ritmo de execução do plano. Este projeto apresenta detalhadamente todos os orçamentos de todos os projetos anteriores, isto é, todas as etapas da obra, dessa maneira é o último a ser feito. Também consiste em apresentar conjuntamente o cronograma-físico financeiro, o memorial descritivo e as especificações de todos os serviços.

Além disso, conta com a elaboração do plano da obra, que contém relatórios com todas as etapas esquematizadas conforme as datas que deverão ser pré -estabelecidas e principais fornecedores, bem como diário de obra e templates para as assinaturas de pontos dos colaboradores da execução.

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

Os proponentes do projeto ainda possuem em suas mãos o comprometimento em realizar a atividade referente ao controle tecnológico do concreto, que consiste basicamente em realizar testes com as amostras de concreto fornecidas pelas empresas parceiras.

Ensaio de abatimento do concreto

O ensaio de abatimento do concreto ou slump teste objetiva determinar a consistência do concreto. A consistência está relacionada com as características do concreto, com a trabalhabilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Modificando a proporção de água adicionada ou empregando aditivos, sua plasticidade é alterada, variando a deformação do concreto perante esforços.

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto, sendo que esta última depende também das características da obra e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto. A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto recém-

misturado que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual o material pode ser utilizado. O ensaio de abatimento do tronco-cone é normalizado pela norma NBR 16889.

O ensaio de abatimento do concreto consiste nos seguintes procedimentos:

- Coletar a amostra de concreto;
- Colocar o tronco-cone, que detém de 30 cm de altura, 10 cm de diâmetro menor e 20 cm de diâmetro maior, sobre uma placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone;
- Preencher o cone com a primeira camada de concreto e aplicar 25 golpes com a haste de socamento de 16 mm, atingindo a parte inferior do cone;
- Preencher com mais duas camadas, cada uma golpeada 25 vezes e sem penetrar a camada inferior;
- Após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto, alisar a superfície com uma régua metálica e em seguida retirar o cone;
- Colocar a haste sobre o cone invertido e medir o abatimento (a distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto moldado).

A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão avalia a capacidade de suportar carga compressiva, este ensaio é normalizado pela norma NBR 5739:2018 que estabelece o método de ensaio de compressão para os corpos de prova cilíndricos de concreto.

Os corpos de prova moldados devem atender ao estabelecido na norma ABNT NBR 5738 e os testemunhos de concreto endurecido devem atender ao estabelecido na norma ABNT NBR 7680.

No início do ensaio o concreto é confeccionado com os traços fornecidos pelas empresas parceiras do projeto, as amostras de brita, água, areia, aditivo e o cimento são adicionadas obedecendo as quantidades que foram estipuladas.

O concreto é betonado e quando adquirir uniformidade aparente é então colocado nos moldes cilíndricos que devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametrais têm tolerância de 1 % e a altura, 2 %. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde. Após 24 horas o concreto é desinformado e então inicia-se o processo de cura. Até a idade de ensaio, os corpos de prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, nas condições

preconizadas, conforme o caso, pelas normas ABNT NBR 5738, ABNT NBR 7680 e ABNT NBR 9479. O processo de cura pode ser de 7, 14 e 28 dias. Esse processo é uma técnica que visa à hidratação do concreto para diminuir os efeitos da evaporação prematura da água na estrutura concretada, é nesta fase também que o concreto adquire a resistência necessária para a realização dos testes.

Os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma idade especificada. Em se tratando de corpos de prova moldados de acordo com a ABNT NBR 5738, a idade deve ser controlada a partir da hora de moldagem.

Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova devem ser limpas e secas antes do corpo de prova ser colocado em posição de ensaio. O corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos circuitos concêntricos de referência, observando-se o sentido de moldagem. Quando o topo e a base dos corpos de prova forem submetidos a desgaste por abrasão, indica que a orientação de moldagem do corpo de prova está de forma inequívoca.

A escala de força escolhida para o ensaio deve ser tal que a força de ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo em que a máquina foi calibrada. A velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique sua ruptura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de implantação do Escritório de Projetos de Engenharia Civil no IFBA – Campus Vitória da Conquista, configura-se como uma iniciativa de notável relevância acadêmica, social e profissional, ao promover a integração entre o saber teórico e a prática profissional da engenharia civil. Configurando-se com um ambiente propício para o desenvolvimento de habilidades essenciais à formação do engenheiro, como a capacidade analítica, o raciocínio crítico, a tomada de decisão fundamentada e a gestão de projetos.

Outrossim, o contato direto com demandas reais do mercado e da comunidade, especialmente no que tange à regularização imobiliária e ao controle tecnológico do concreto, apresenta-se aos estudantes a oportunidade de aplicar conceitos técnicos em situações reais, enriquecendo, assim, sua experiência acadêmica e profissional. Além disso, o projeto destaca-se pelo seu caráter inclusivo e de responsabilidade social, ao direcionar esforços para a prestação de serviços gratuitos às comunidades de baixa renda, contribuindo para a formação de engenheiros com uma visão humanística.

REFERÊNCIAS

BAUER, Falcão. Materiais de Construção 1. São Paulo, SP, 2008. PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL . Acesso em 29 de março de 2024.

RW ENGENHARIA. <<https://rwengenharia.eng.br/qual-a-importancia-de-um-projeto/>> . Acesso em: 30 de março de 2024.

PMVC. <<http://www.pmvc.ba.gov.br/morar-legal-prefeitura-inicia-processo-de-regularizacao-fundiaria-do-vila-america>> Acesso em: 30 de março de 2024.

DOS ARQUITETURA. < <http://www.dos.arq.br/blogdos/2017/08/18/como-funciona-o-processo-de-regularizacao-do-imovel-na-prefeitura> > . Acesso em: 30 de Março de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6492:2021 - Representação de Projetos de Arquitetura. ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16636:2017 - Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos - Parte 1: Diretrizes e terminologia. ABNT, Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16636:2017 - Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos - Parte 2: Projeto Arquitetônico. ABNT, Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118:2023 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos. ABNT, Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6122:2022 - Projeto e Execução de Fundações. ABNT, Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7480:2007 - Aço destinados a Armaduras para estruturas de concreto Armado. ABNT, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas mistas de Aço e Concreto de Edifícios. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7680-1:2015 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7680-1:2015 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 2: Resistência à compressão axial. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12655:2022 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739:2018- Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8522:2021 - Concreto Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8160:1999 - Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. ABNT, Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10844:1989 - Instalações prediais de águas pluviais - Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5626:2020 - Instalação predial de água fria. ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9649:1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5410:2008 - Instalações elétricas de baixa tensão. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15920:2011 - Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16401:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, NBR ISO/CIE 8995-1:2013 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. ABNT/ISO, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14653:2011 - Avaliação de Bens - Parte 1: Procedimentos Gerais. ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14653:2011 - Avaliação de Bens - Parte 2: Imóveis Urbanos. ABNT, Rio de Janeiro, 2011. CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, LEI Nº11788 - Lei do Estágio. Brasília, 2008.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA, COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, ANEXO 2 - Normas de Estágio Curricular Obrigatório. IFBA, Vitória da Conquista, 2016.

METROLOGIA E MEDIÇÕES, Ensaio de Compressão de Corpos de Prova de Concreto. . Acesso em 31 de março de 2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, NR 10 - Segurança Em Instalações e Serviços Em Eletricidade. Brasília, 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA, LEI Nº 1481/2007, Institui o Código de Ordenamento Do Uso E Da Ocupação Do Solo E De Obras E Edificações Do Município De Vitória Da Conquista.

PMVC, 2007. PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA, LEI N° 1186/2003, Institui A Política De Habitação Popular No Município De Vitória Da Conquista, Cria O Programa, O Conselho E O Fundo Municipal De Habitação Popular E Dá Outras Providências. PMVC, 2007. IBGE, DEPARTAMENTO DE CONTAS NACIONAIS. Acesso em 31 de março de 2024.

Capítulo 2

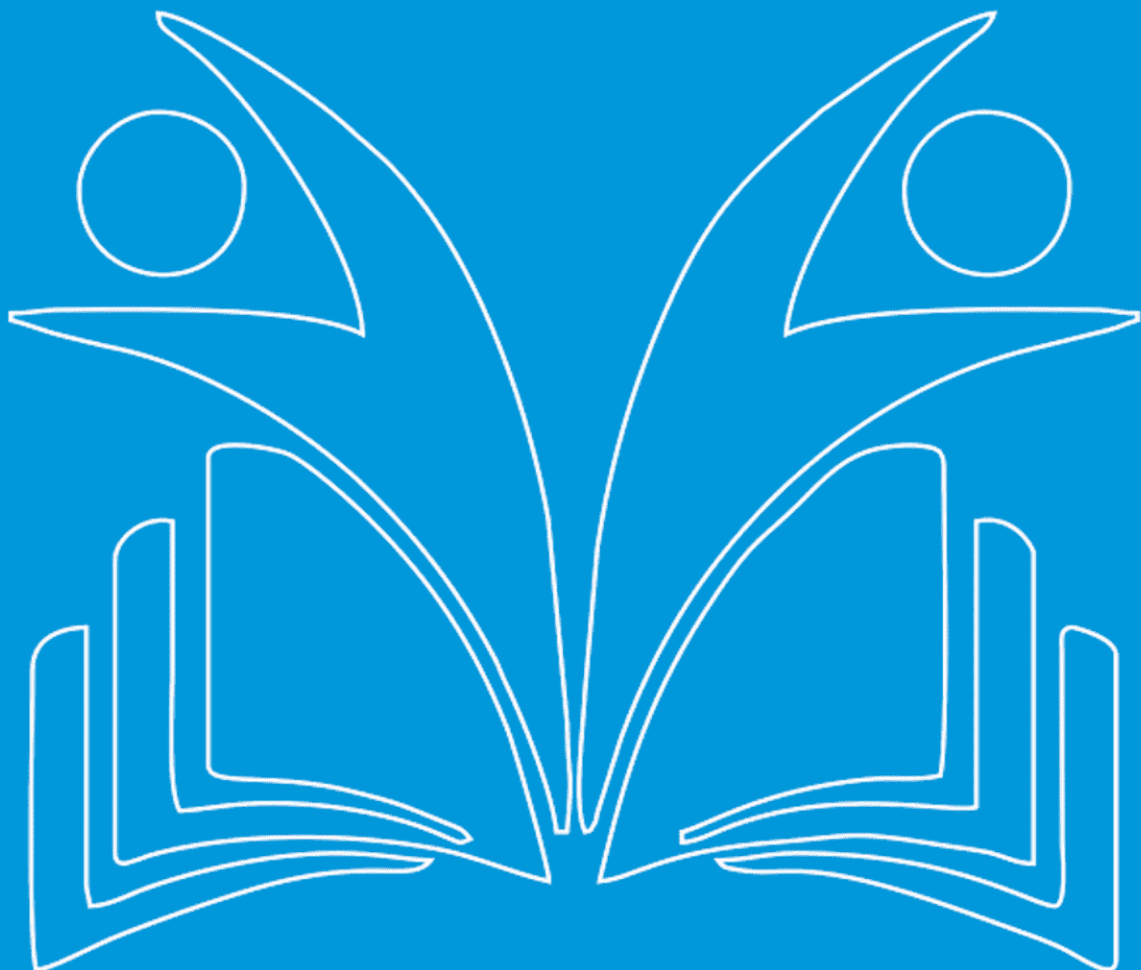


10.37423/250209613

ANÁLISE DO INVERSOR MULTINÍVEL COM DIODOS DE GRAMPEAMENTO EMPREGANDO A MODULAÇÃO POR SÍNTESE DE FORMAS ONDA QUASE-QUADRADAS

Diorge Alex Bao Zambra

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul e
Instituto Hercílio Randon*



Resumo: Este trabalho apresenta a análise do inversor multinível com diodos de grampeamento empregando a modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas. São analisados índices de desempenho para toda faixa de operação do inversor e para seu ponto nominal. Os índices de desempenho relacionados com a forma de onda são o espectro harmônico, a distorção harmônica total, a tensão de modo comum e os fatores de distorção de primeira e segunda ordem. Também são analisados índices de desempenho relacionados com as perdas de potência, distribuição das perdas, rendimento e volume do conversor. Para estas análises, são especificados três conjuntos de semicondutores, contendo IGBTs, IGCTs e GTOs, bem como três perfis de dissipadores. Através das análises desenvolvidas obteve-se melhor rendimento com o inversor implementado usando IGCTs e menor volume usando o perfil de dissipador HS21577. A modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas conduziu o inversor a rendimentos superiores a 99% para todas as tecnologias de semicondutores analisadas e distorção harmônica total da tensão de linha de 30,48 %.

Palavras-chave: Acionamentos. Inversor multinível. Técnica de modulação.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de acionamento de média tensão são compostos por um transformador de entrada, que converte as tensões de entrada para os níveis requeridos pelos retificadores, responsáveis por transformar o sinal de corrente alternada (CA) da entrada em corrente contínua (CC). O barramento CC é composto por capacitores que tem a função de filtrar a tensão de saída dos retificadores. O inversor tem a função de converter o sinal contínuo do barramento CC em CA para alimentar o motor de indução (NADWEH, 2025). Dependendo do número de pulsos do retificador e do número de níveis da tensão de saída do inversor, pode haver a necessidade de inclusão de filtro de entrada para atender normas que limitam a distorção harmônica total (THD) da corrente de entrada e filtro de saída para evitar o fenômeno da reflexão de tensão ocasionado pelos altos níveis de variação de tensão.

Sistemas de acionamento para variação de velocidade fundamentados em dispositivos semicondutores de potência começaram aparecer comercialmente no final da década de 70 (TADAKUMA, 1993). No começo, estes sistemas eram baseados em tiristores, eram volumosos, menos confiáveis e eficientes que os atuais (TMGE, 2005). Na metade da década de 80, surgiu o Gate Turn-Off Thyristor (GTO) com capacidade de bloqueio de 4500 V, assim, os sistemas de acionamento de média tensão começaram a ser implementados com este dispositivo, o qual foi empregado por um período de aproximadamente 10 anos (RIZZO, 2004). O crescente investimento no desenvolvimento dos Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) fez com que fosse possível fabricar este dispositivo com tensões de 2,3 kV, 3,3 kV e de 6,5 kV, o que fez com que o IGBT ocupasse o lugar do GTO. No ano de 1996 apareceram os Integrated Gate-Commutated Thyristors (IGCTs), resultado de investimentos no desenvolvimento dos GTOs. Atualmente os inversores multiníveis alimentados em tensão são baseados principalmente em IGBTs ou IGCTs (RIZZO, 2004).

O estudo do inversor multinível com diodos de grampeamento iniciou com a proposta de um inversor de três níveis, apresentado em 1980 (BAKER, 1980). Posteriormente, esta topologia foi denominada de inversor com ponto neutro grampeado (NPC - Neutral Point Clamped), (NABAE, 1981). Esta topologia apresenta o benefício de empregar dispositivos semicondutores com tensão igual à metade da tensão do barramento CC, apresenta um controle relativamente simples e tem todas as fases ligadas ao mesmo barramento CC, (CHENCHIREDDY, 2023) e (MARZOUGH, 2018).

O estágio do inversor em um sistema de acionamento pode apresentar grandes variações quanto ao rendimento, a qualidade da forma de onda de saída e quanto ao volume ocupado pelo sistema. Estes parâmetros são influenciados pela topologia do inversor multinível adotada, pela tecnologia do

dispositivo semicondutor selecionado para implementação do inversor e pela técnica de modulação adotada para comandar os semicondutores do inversor. Um projeto otimizado de sistema de acionamento de alta potência e média tensão deveria avaliar, para cada topologia de inversor e técnica de modulação, várias tecnologias de dispositivos semicondutores.

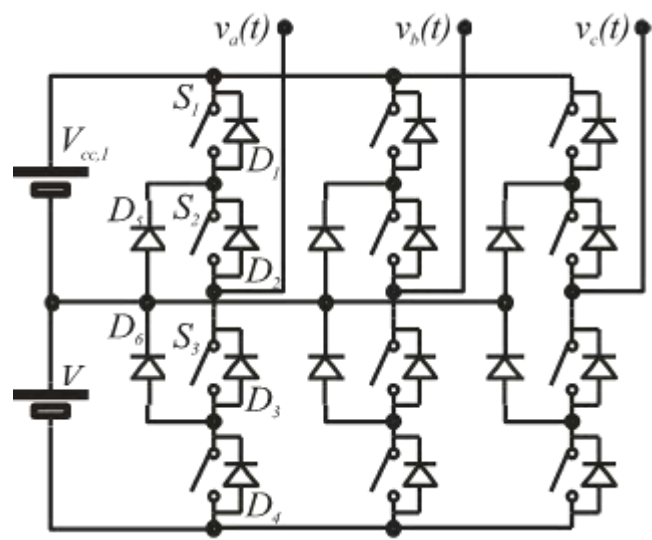
Este trabalho propõe a análise do inversor NPC empregando a modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas (QQ). A topologia do inversor NPC foi escolhida devido a sua ampla utilização em sistemas industriais, enquanto a modulação QQ foi selecionada porque ela conduz a inversores com elevado rendimento. Será analisada a distorção harmônica total (THD), os fatores de distorção de primeira e segunda ordem (DF1 e DF2) e a tensão de modo comum das formas de onda das tensões de fase e de linha geradas pelo inversor. As perdas do inversor e respectivo rendimento, serão obtidas considerando as principais tecnologias de dispositivos semicondutores presentes no mercado, são elas: IGBTs, IGCTs e GTOs. Por fim, a análise do volume será realizada através do projeto do dissipador, no qual serão considerados três perfis. O método de cálculo dos índices de desempenho s é definido em (ZAMBRA, 2010).

Este trabalho está dividido em seis seções. Esta introdução é a primeira seção e será seguida da seção 2, na qual é apresentado o inversor NPC. Na seção 3 é apresentada a técnica de modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas. Na seção 3 são apresentados os modelos dos semicondutores e dos perfis dos dissipadores. Na seção 4 são apresentados os índices de desempenho para toda faixa de operação do inversor e para o ponto nominal. Na seção 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2 INVERSOR COM DIODOS DE GRAMPEAMENTO

O inversor com diodos de grampeamento pode ser obtido com tensão de fase de 3, 4, 5,..., n níveis, contudo, somente o inversor com 3 níveis tem sido utilizado em aplicações de acionamento. O diagrama esquemático deste inversor pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1. Inversor com diodos de grampeamento



Fonte: o autor.

Utilizando a fase “a” para descrever o conversor, verifica-se que ela é composta por quatro dispositivos ativos (S1-S4) com quatro diodos em antiparalelo (D1-D4). O barramento CC é formado por dois capacitores ligados em série. O ponto comum entre os capacitores é conhecido como neutro e ligado a ele tem-se dois diodos (D5 e D6), conhecidos como diodos de grampeamento (JAYAKUMAR, 2021). Cada capacitor é carregado com uma tensão igual à metade da tensão total do barramento CC (PENG, 2024).

Os estados de chaveamento deste inversor podem ser verificados na Tabela 1, onde se pode observar que acionando as duas chaves superiores (S1 e S2) obtêm-se uma tensão de fase igual +VCC/2. Acionando as duas chaves centrais (S2 e S3) gera-se uma tensão igual a zero volt, enquanto, ligando-se as duas chaves inferiores (S3 e S4) gera-se uma tensão igual a – VCC/2, (RODRIGUEZ, 2010).

Tabela 1. Estados de chaveamento do inversor NPC

Nível	Corrente	Dispositivo Semicndutor									
		S1	D1	S2	D2	S3	D3	S4	D4	D5	D6
1	$i \geq 0$	x		x							
	$i < 0$		x		x						
0	$i > 0$			x						x	
	$i < 0$					x					x
-1	$i \geq 0$					x		x			
	$i < 0$						x		x		

Fonte: o autor.

O inversor é especificado para alimentar um motor de indução trifásico com tensão de linha de 4160 V, frequência de 60 Hz, corrente de fase de 68,4 A, potência aparente de 500 kVA e fator de potência

igual a 0,85. Para gerar a tensão de linha RMS de 4160 V, deve-se possuir uma tensão de fase RMS de 2400 V e uma tensão de pico de fase de 3400 V. Para obter estas tensões na saída do inversor, o barramento CC apresentará uma tensão de 6800 V. Os dispositivos semicondutores empregados nesta topologia ficarão submetidos a uma tensão igual à metade da tensão do barramento CC, ou seja, igual a 3400 V. A corrente que atravessará os semicondutores será igual à corrente de linha do motor, 68,4 A.

3 MODULAÇÃO POR SÍNTESE DE FORMAS DE ONDA QUASE- QUADRADAS

A modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas (QQ) foi uma das primeiras a serem adotadas em conversores multiníveis, (YEN-SHIN, 2001) e (TOLBERT, 1999). Ela recebe este nome, pois a tensão de fase gerada apresenta uma forma de onda quase-quadrada, Figura 2 (b).

A tensão de fase gerada pelo inversor NPC apresenta apenas um nível positivo, consequentemente há a necessidade de gerar apenas uma área por fase neste mesmo semiciclo. Para determinar os ângulos de comutação, deve-se calcular a área da referência e igualar esta área com a tensão gerada pelo inversor. Assim, pode-se expressar a tensão de referência por (1). Para obter a área para metade do semiciclo positivo basta integrar (1) no intervalo de 0 a $\pi/2$, resultando uma área $A = m_a$.

$$V_{ref} = m_a \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

A área que será gerada pelo inversor será igual a (2). Igualando-se as áreas A e A' encontra-se o valor do ângulo de entrada em condução (rad), dado por (3). Para simplificar a implementação da modulação pode-se passar o ângulo de comutação para nível de comparação, utilizando (4). Os ângulos e níveis de comparação para m_a variando de 0,1 a 1 podem ser verificados na Tabela 2.

$$A' = \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \cdot 1 \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - m_a \quad (3)$$

$$\Psi = \sin\left(\frac{\pi}{2} - m_a\right) \quad (4)$$

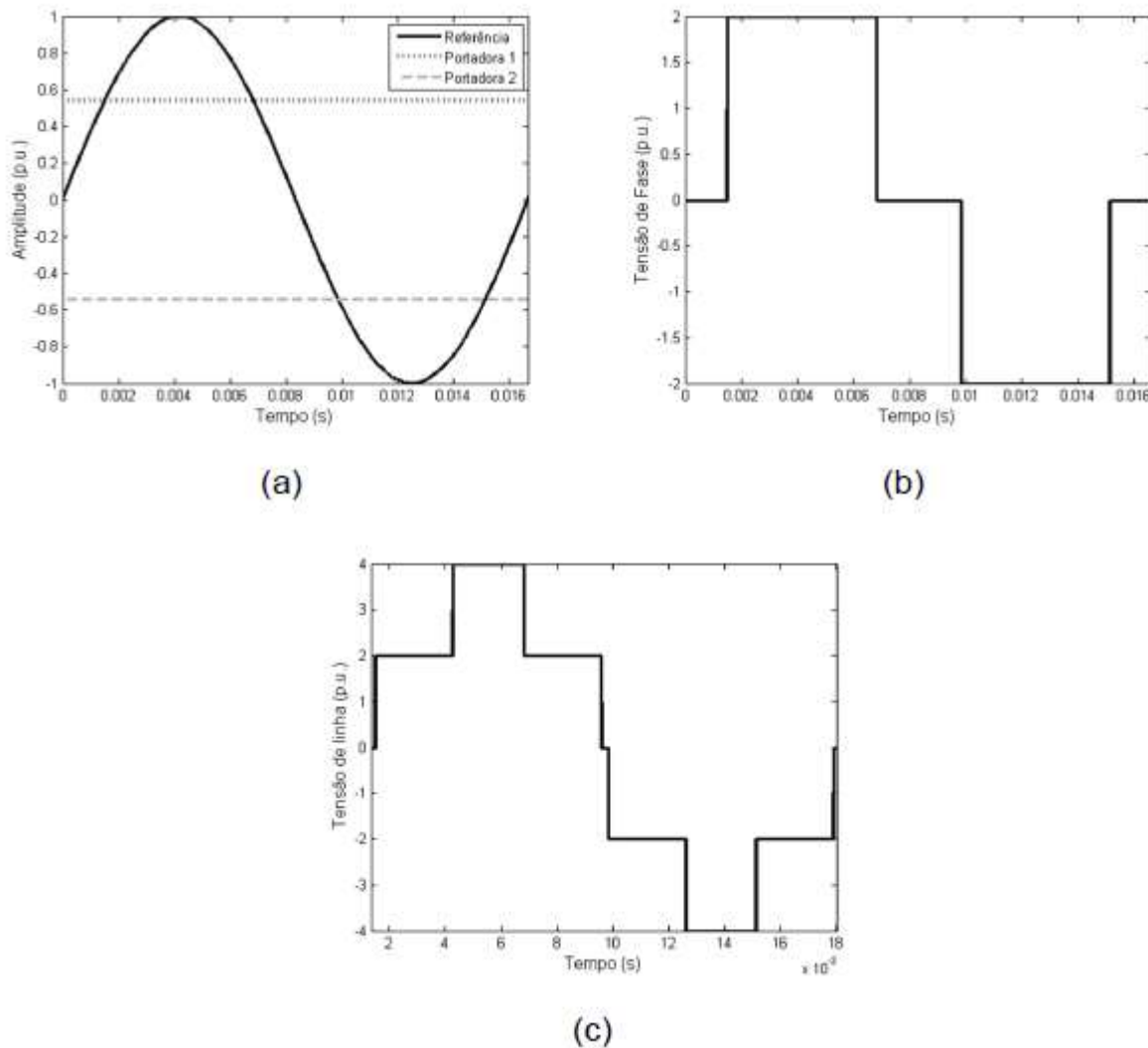
Tabela 2. Ângulos e níveis de comparação

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
θ	84,27	78,53	72,81	67,07	61,34	55,61	49,87	44,14	38,41	32,68
ψ	0,995	0,979	0,955	0,921	0,877	0,825	0,764	0,696	0,621	0,540

Fonte: o autor.

Os níveis de comparação para um índice de modulação em amplitude igual a 1 e a tensão de referência podem ser verificados na Figura 2 (a). As tensões de fase e de linha geradas pelo inversor NPC utilizando esta modulação podem ser verificadas na Figura 2 (b) e (c).

Figura 2. Modulação QQ: (a) referência e níveis de comparação; (b) tensão de fase; (c) tensão de linha.



Fonte: o autor.

4 DEFINIÇÃO DOS SEMICONDUTORES E DOS PERFIS DOS DISSIPADORES

Na seção 2 foi apresentada a tensão a que cada dispositivo semicondutor é submetido. Nesta seção são apresentados os componentes que são empregados nas análises, suas curvas de queda de tensão em condução e energia perdida nas comutações, fundamentais para o cálculo das perdas e para o projeto térmico. Também são apresentados três perfis de dissipador e suas curvas características, necessárias para cálculo do comprimento e do volume do dissipador.

4.1 DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES

O critério para seleção dos componentes admite que se deva adotar um componente com $V_{CC@100FIT}$ (1 FIT corresponde a uma falha em 10⁹ horas de operação, onde a determinação do FIT depende, do tempo de teste, da temperatura, do número de amostras e do número de falhas) aproximadamente igual à tensão CC que o dispositivo estará submetido. Este critério é utilizado por fabricantes de acionamento de média tensão e por este motivo foi adotado neste trabalho. A Tabela 1 apresenta a tensão e a corrente de cada dispositivo, a tecnologia, o tipo de encapsulamento e o fabricante.

Para avaliar as perdas foram definidos três conjuntos de semicondutores. O primeiro conjunto emprega o módulo de IGBT/diodo FZ200R65KF1 como chaves ativas e os diodos de grampeamento são implementados com o módulo de diodo DD200S65K1. O segundo conjunto emprega os presspacks de IGCT/diodo 5SHX06F6010 como chaves ativas e os diodos de grampeamento são implementados com o diodo 5SDF02D6004. O terceiro conjunto emprega os presspack de GTO/diodo DG408BP45 como chaves ativas e os diodos de grampeamento são implementados com o diodo 5SDF02D6004.

Tabela 1. Dispositivos semicondutores empregados

Semicondutor	Tensão/Corrente. (Semicondutor)	$V_{CC@100FIT}$	Tecnologia	Encapsulamento	Fabricante
FZ200R65KF1	6500V/200A	3600	IGBT/diodo	Módulo	Infineon
DD200S65K1	6500V/200A	3600	Diodo	Módulo	Infineon
5SHX 06F6010	5500V/210A	3300	IGCT/diodo	Presspack	ABB
DG408BP45	4500V/320A	3000	GTO	Presspack	Dynex
5SDF 02D6004	5500V/175A	3300	Diodo	Presspack	ABB

Fonte: o autor.

4.1.A IGBT FZ200R65KF1

As equações necessárias para o cálculo das perdas no módulo de IGBTs/diodos fabricado pela EUPEC FZ200R65KF1, (EUPEC,2002) são apresentadas nesta subseção. As equações foram dadas para tensão VCC@100FITV e para a temperatura de 125°C. A queda de tensão quando uma corrente atravessa o IGBT e o diodo, é dado, respectivamente por (5) e (6), sendo usadas para o cálculo das perdas de condução destes dispositivos. As equações (7), (8) e (9) representam respectivamente a energia perdida em uma comutação de entrada em condução, de bloqueio e de recuperação reversa do diodo, sendo empregadas para a determinação das perdas de comutação deste componente. Para o projeto térmico faz-se uso da resistência térmica entre junção e o encapsulamento, que para o IGBT é igual a 0,033 K/W e para o diodo é igual a 0,063 K/W. Também é necessária a resistência térmica entre o encapsulamento do módulo e o dissipador que é igual a 0,016 K/W.

$$v_{ce_{FZ}} = 3.78 \cdot e^{(0.002 \cdot I_t(\theta))} - 2.70 \cdot e^{(-0.015 \cdot I_t(\theta))} \quad (V) \quad (5)$$

$$v_{F_{FZ}} = 2.9 \cdot e^{(0.0016 \cdot I_t(\theta))} - 2.35 \cdot e^{(-0.015 \cdot I_t(\theta))} \quad (V) \quad (6)$$

$$E_{on_{FZ}} = (1058 \cdot e^{(0.004 \cdot I_t(\theta))} - 1011 \cdot e^{(-0.004 \cdot I_t(\theta))}) \cdot 10^{-3} \quad (mJ) \quad (7)$$

$$E_{off_{FZ}} = (1051 \cdot e^{(0.002 \cdot I_t(\theta))} - 1097 \cdot e^{(-0.005 \cdot I_t(\theta))}) \cdot 10^{-3} \quad (mJ) \quad (8)$$

$$E_{rec_{FZ}} = (211 \cdot e^{(0.004 \cdot I_t(\theta))}) \cdot 10^{-3} \quad (mJ) \quad (9)$$

4.1.B DIODO DD200S65K1

As equações necessárias para o cálculo das perdas no módulo de diodos fabricado pela EUPEC DD200S65K1, são apresentadas nesta subseção. As equações foram dadas para tensão VCC@100FITV e para a temperatura de 125°C. A queda de tensão quando uma corrente atravessa o diodo é dada por (10), utilizada para o cálculo das perdas de condução deste dispositivo. A equação (11) representa a energia perdida em uma comutação de recuperação reversa. Para o projeto térmico faz-se uso da resistência térmica entre junção e o encapsulamento igual a 0,063 K/W. Também é necessária a resistência térmica entre o encapsulamento do módulo e o dissipador que é igual a 0,016 K/W.

$$v_{F_{DD}} = 0.29 \cdot I_t(\theta)^{0.38} - 0.057 \quad (V) \quad (10)$$

$$E_{rec_{DD}} = (55.87 \cdot e^{(0.0002 \cdot I_t(\theta))} - 63.31 \cdot e^{(-0.011 \cdot I_t(\theta))}) \cdot 10^{-3} \quad (mJ) \quad (11)$$

4.1.C IGCT 5SHX 06F6010

As equações necessárias para o cálculo das perdas no módulo de IGCT/diodo fabricado pela ABB 5SHX 06F6010 são apresentadas nesta subseção. As equações foram dadas para tensão VCC@100FITV e para a temperatura de 125°C. A queda de tensão quando uma corrente atravessa o IGCT e o diodo é dado, respectivamente por (12) e (14), sendo usadas para o cálculo das perdas de condução deste dispositivo. As equações (13) e (15) representam respectivamente a energia perdida em uma comutação de bloqueio e de recuperação reversa do diodo, sendo empregadas para a determinação das perdas de comutação destes componentes. Para o projeto térmico faz-se uso da resistência térmica entre junção e o encapsulamento, que para o IGCT é igual a 0,04 K/W e para o diodo é igual a 0,053 K/W. Também é necessária a resistência térmica entre o encapsulamento do dispositivo e o dissipador que é igual a 0,017 K/W.

$$v_{TM_{5SHX}} = 0,002221 \cdot I_1(\theta) + 2,329 \quad (V) \quad (12)$$

$$E_{qr_{5SHX}} = 0,005046 \cdot I_1(\theta) + 0,4661 \quad (J) \quad (13)$$

$$v_{F_{5SHX}} = -8,506e^{-7} \cdot I_1(\theta)^2 + 0,006238 \cdot I_1(\theta) + 3,279 \quad (J) \quad (14)$$

$$E_{rec_{5SHX}} = -6,917e^{-7} \cdot I_1(\theta)^2 + 0,002395 \cdot I_1(\theta) + 0,2384 \quad (J) \quad (15)$$

4.1.D GTO DG408BP45

As equações necessárias para o cálculo das perdas no GTO DG408BP45 fabricado pela DYNEX são apresentadas nesta subseção. A queda de tensão quando uma corrente atravessa o GTO é dada por (16). As equações (17), (18) representam respectivamente a energia perdida em uma comutação de entrada em condução e de bloqueio. Como o GTO apresenta elevadas perdas no circuito de driver e de snubber, é feita uma compensação, a qual admite que as perdas no circuito de snubber sejam aproximadamente iguais às perdas de condução nos dispositivos semicondutores (HEUMANN, 1988). Para o projeto térmico faz-se uso da resistência térmica entre junção e o encapsulamento, igual a 0,07 K/W. Também é necessária a resistência térmica entre o encapsulamento do dispositivo e o dissipador que é igual a 0,009 K/W.

$$v_{TM_{DG}} = 1,678 \cdot e^{(0,0009349 \cdot I_1(\theta))} - 0,8325 \cdot e^{(-0,01233 \cdot I_1(\theta))} \quad (V) \quad (16)$$

$$E_{on_{DG}} = 6,803 \cdot e^{-7} \cdot I_i(\theta)^2 + 0,001689 \cdot I_i(\theta) + 0,2292 \quad (mJ) \quad (17)$$

$$E_{off_{DG}} = 3,792 \cdot e^{-7} \cdot I_i(\theta)^2 + 0,00384 \cdot I_i(\theta) - 0,03594 \quad (mJ) \quad (18)$$

4.1.E DIODO 5SDF 02D6004

As equações necessárias para o cálculo das perdas no diodo 5SDF02D6004 fabricado pela ABB são apresentadas nesta subseção. A queda de tensão quando uma corrente atravessa o diodo é dada por (19). A equação (20) representa a energia perdida em uma comutação de recuperação reversa. Para o projeto térmico faz-se uso da resistência térmica entre junção e o encapsulamento, igual a 0,08 K/W e da resistência térmica entre o encapsulamento e o dissipador que é igual a 0,016 K/ W.

4.2 DEFINIÇÃO DOS PERFIS DOS DISSIPADORES

Três dissipadores foram escolhidos para serem utilizados no projeto térmico: o perfil HS21577, HS125137 e HS125135L (HS, 2007). Uma vista tridimensional e as dimensões dos dissipadores podem ser observadas na Figura 3 (a) para o perfil HS21577, na Figura 3 (b) para o perfil HS125137 e na Figura 3 (c) para o perfil HS125135L.

Na Figura 4 (a), pode ser vista a variação da resistência térmica do dissipador HS21577 com a variação do comprimento e a variação da velocidade de deslocamento do ar do ventilador. Nesta figura é possível verificar que para velocidades do ar superiores a 2 m/s a resistência térmica do dissipador não diminui significativamente, por este motivo no projeto dos dissipadores foi considerada uma velocidade do ar igual a 2 m/s. A Figura 4 (b) apresenta a variação da resistência térmica do dissipador HS21577 em função da variação do comprimento do dissipador e da variação da temperatura entre o dissipador e o ambiente. Quanto maior for a diferença de temperatura entre o dissipador e o ambiente, melhor ocorre a troca de calor.

$$v_{F_{5SDF}} = 7,14329 \cdot e^{-7} \cdot I_i(\theta)^2 + 0,006671 \cdot I_i(\theta) + 3,46 \quad (V) \quad (19)$$

$$E_{rec_{5SDF}} = -4,399 \cdot e^{-6} \cdot I_i(\theta)^2 + 0,00376 \cdot I_i(\theta) + 0,7884 \quad (J) \quad (20)$$

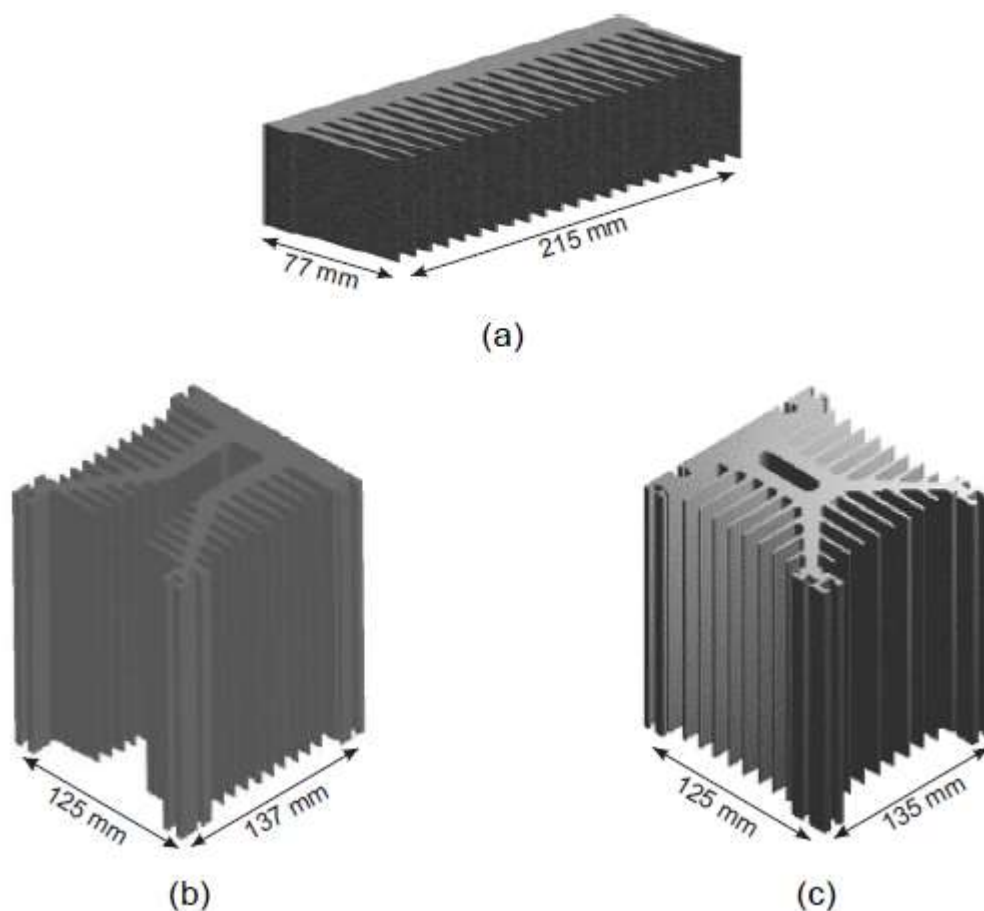
4.2 DEFINIÇÃO DOS PERFIS DOS DISSIPADORES

Três dissipadores foram escolhidos para serem utilizados no projeto térmico: o perfil HS21577, HS125137 e HS125135L (HS, 2007). Uma vista tridimensional e as dimensões dos dissipadores podem

ser observadas na Figura 3 (a) para o perfil HS21577, na Figura 3 (b) para o perfil HS125137 e na Figura 3 (c) para o perfil HS125135L.

Na Figura 4 (a), pode ser vista a variação da resistência térmica do dissipador HS21577 com a variação do comprimento e a variação da velocidade de deslocamento do ar do ventilador. Nesta figura é possível verificar que para velocidades do ar superiores a 2 m/s a resistência térmica do dissipador não diminui significativamente, por este motivo no projeto dos dissipadores foi considerada uma velocidade do ar igual a 2 m/s. A Figura 4 (b) apresenta a variação da resistência térmica do dissipador HS21577 em função da variação do comprimento do dissipador e da variação da temperatura entre o dissipador e o ambiente. Quanto maior for a diferença de temperatura entre o dissipador e o ambiente, melhor ocorre a troca de calor.

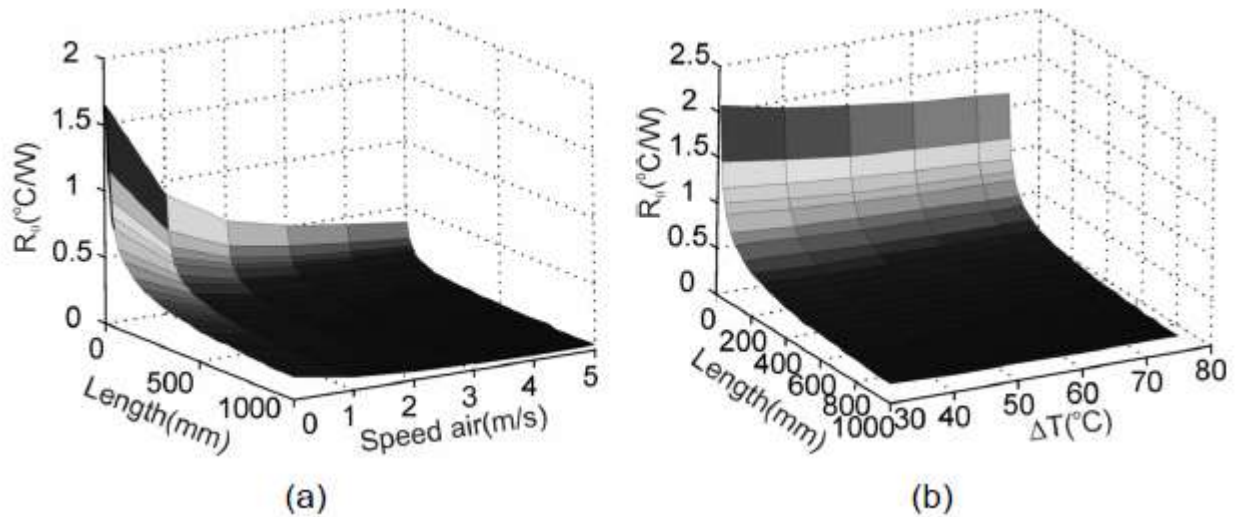
Figura 3. Perfis de dissipador; (a) HS21577; (b) HS125137; (c) HS125135L



Fonte: o autor.

Figura 4. Variação da resistência térmica do dissipador HS21577 em função;

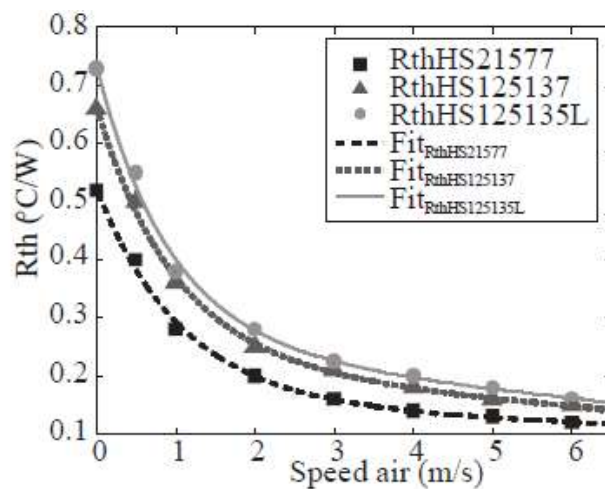
(a) da velocidade do vento; (b) da variação de temperatura.



Fonte: o autor.

A folha de dados (datasheet) dos dissipadores apresenta um gráfico da variação da resistência térmica em função da velocidade do ar produzida pelo ventilador, que pode ser visto na Figura 5 para os três dissipadores. Utilizando as equações (21), (22) e (23) respectivamente para os perfis HS21577, HS125137 e HS125135L, podem-se obter os valores das resistências térmicas de um pedaço de quatro polegadas de comprimento do perfil do dissipador, considerando uma variação de temperatura de 75 °C para velocidade do ar do ventilador desejada. Assim, para uma velocidade de 2 m/s, um comprimento de 10 cm e uma variação de temperatura de 75 °C a resistência térmica do dissipador HS21577 é igual a 0,2 K/W, do dissipador HS125137 é igual a 0,25 K/W e para o dissipador HS125135L é igual a 0,28 K/W.

Figura 5. Variação da resistência térmica em função da velocidade do vento.



Fonte: o autor.

$$R_{\theta HS21577} = 0.3661 \cdot e^{(-0.9446 \cdot Vel)} + 0.1589 \cdot e^{(-0.04784 \cdot Vel)} \quad (21)$$

$$R_{\theta HS125137} = 0.4305 \cdot e^{(-1.031 \cdot Vel)} + 0.2351 \cdot e^{(-0.07816 \cdot Vel)} \quad (22)$$

$$R_{\theta HS125135L} = 0.4641 \cdot e^{(-1.118 \cdot Vel)} + 0.2727 \cdot e^{(-0.08787 \cdot Vel)} \quad (23)$$

Utilizando o valor da resistência térmica que se necessita para cada semiconductor, a resistência térmica de cada dissipador para uma determinada velocidade e fazendo uso dos fatores de correção de comprimento e de variação de velocidade, (24) e (25), pode-se obter o comprimento do dissipador empregando (26) e o volume do dissipador com (27).

$$F_{\text{icor}\Delta T} = 0.6859 \cdot e^{(-0.04873 \cdot \Delta T)} + 1.183 \cdot e^{(-0.002477 \cdot \Delta T)} \quad (24)$$

$$F_{\text{icor}L} = \frac{R_{\theta HS_{SW}}}{R_{\theta HS21577} \cdot F_{\text{icor}\Delta T}} \quad (25)$$

$$L = \left(\frac{8.239 \cdot F_{\text{icor}L} - 1.74}{F_{\text{icor}L}^3 - 0.6121 \cdot F_{\text{icor}L}^2 + 0.2681 \cdot F_{\text{icor}L} - 0.056} \right) \cdot 10 \quad (26)$$

$$Vol_{HS_{SW}} = W \cdot H \cdot L \quad (27)$$

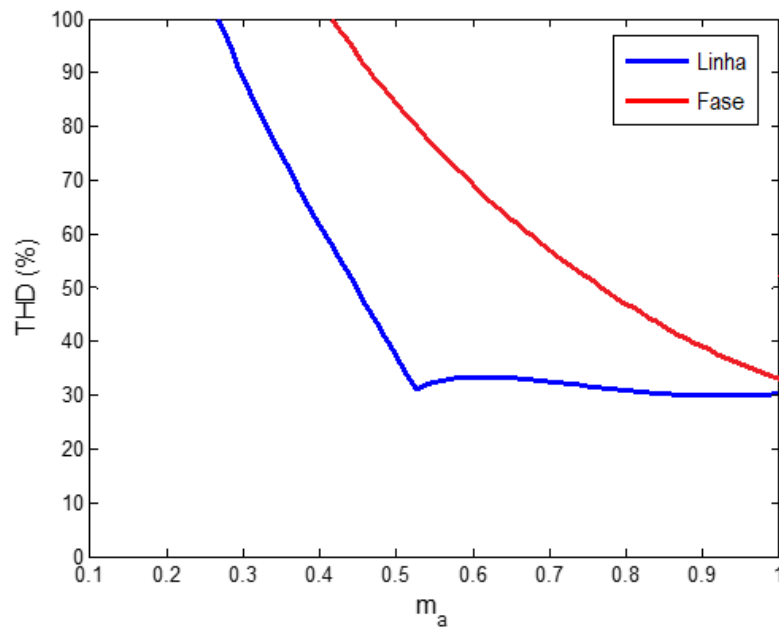
5 RESULTADOS DAS ANÁLISES

Nesta seção são apresentados todos os resultados das análises desenvolvidas para o inversor NPC. Inicialmente são apresentados os resultados em toda a faixa de operação do inversor, ou seja, o índice de modulação em amplitude (ma) variando de 0,1 a 1. Na sequência, são apresentados os resultados considerando o ponto nominal de operação, onde o índice de modulação em amplitude é igual a 1.

5.1 TODA FAIXA DE OPERAÇÃO (0,1 ≤ MA ≤ 1)

A variação da taxa de distorção harmônica das tensões de fase e de linha são apresentadas na Figura 6. A variação da THD, para todos os semicondutores analisados, encontra-se sobreposta, pois todos apresentam a mesma forma de onda e frequência de comutação. A tensão de linha apresenta menor distorção que a tensão de fase porque a forma de onda possui mais níveis.

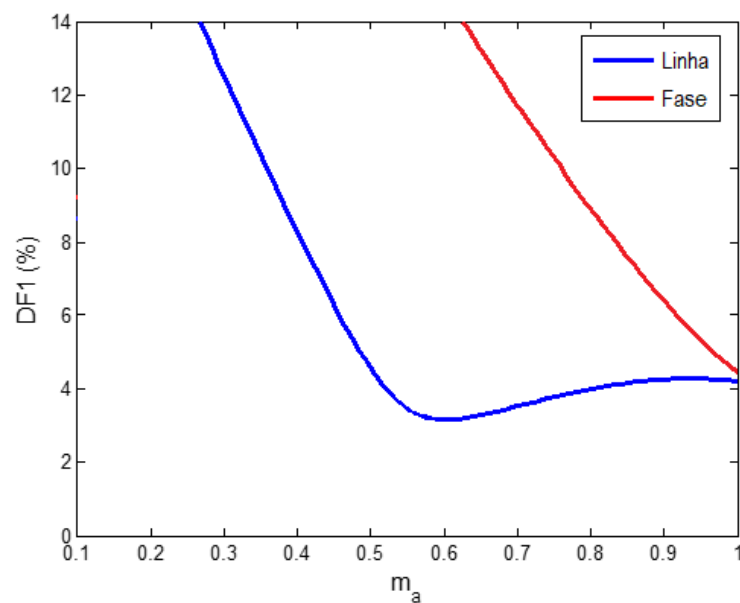
Figura 6. Variação da THD das tensões de fase e de linha



Fonte: o autor.

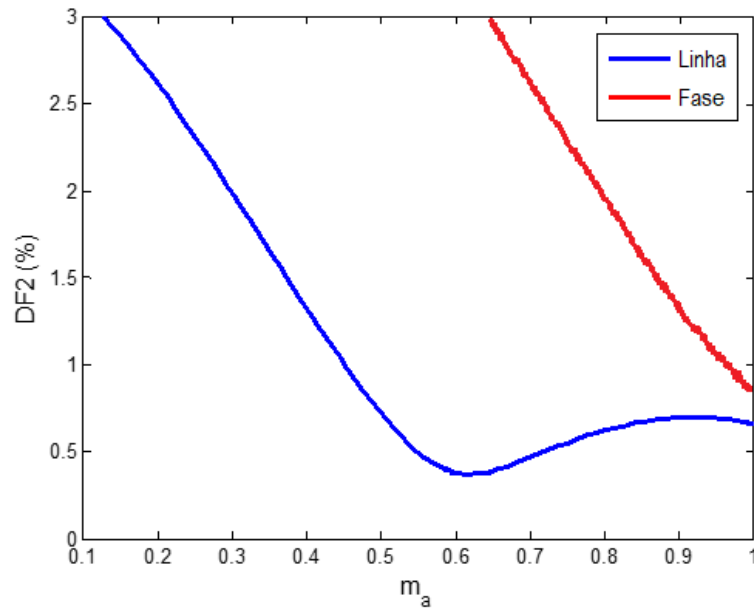
A variação do fator de distorção de primeira ordem para as tensões de fase e de linha é exibida na Figura 7, enquanto a Figura 8 apresenta a variação do fator de distorção de segunda ordem para ambas as tensões. O DF1 e o DF2 das tensões de linha apresentam valores significativamente inferiores que a tensão de fase em toda faixa de operação, contudo no ponto nominal são praticamente iguais.

Figura 7. Variação do DF1 para as tensões de fase e de linha



Fonte: o autor.

Figura 8. Variação do DF2 das tensões de fase e de linha

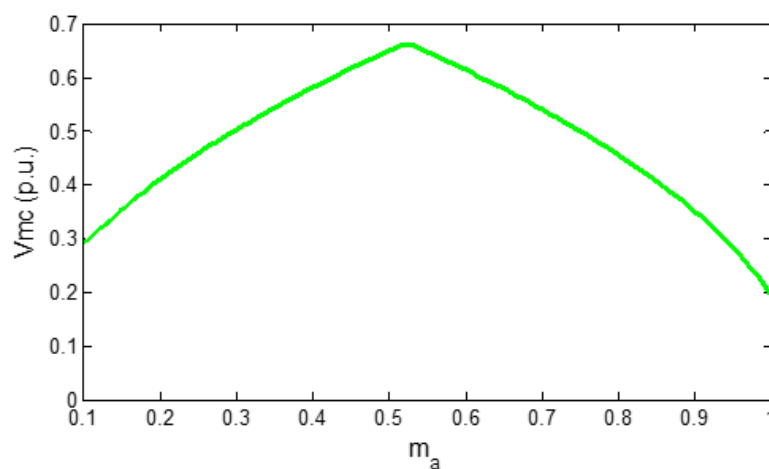


Fonte: o autor.

A Figura 9 apresenta a variação da tensão de modo comum em toda faixa de operação do inversor NPC, onde 1 p.u. é igual a 850 V.

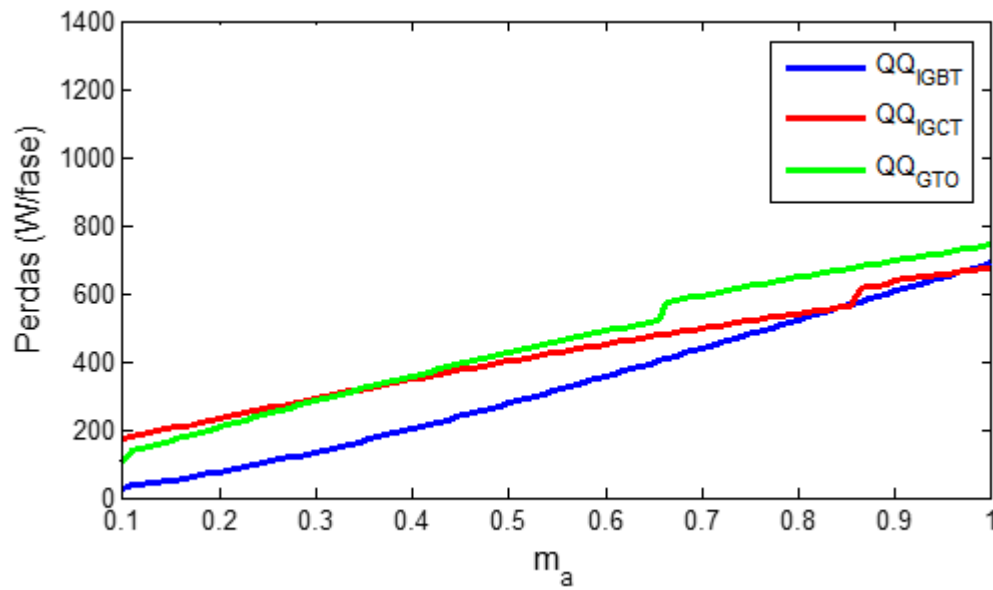
A Figura 10 mostra a variação das perdas em toda faixa de operação do inversor. Nestes resultados, a corrente do inversor varia proporcionalmente com o índice de modulação em amplitude. O inversor implementado com IGBTs apresenta menores perdas para $0,1 \leq m_a \leq 0,8$, enquanto no ponto nominal de operação, o inversor utilizando IGCTs apresenta menores perdas.

Figura 9. Variação da tensão de modo comum



Fonte: o autor.

Figura 10. Variação das perdas para uma fase do inversor NPC



Fonte: o autor.

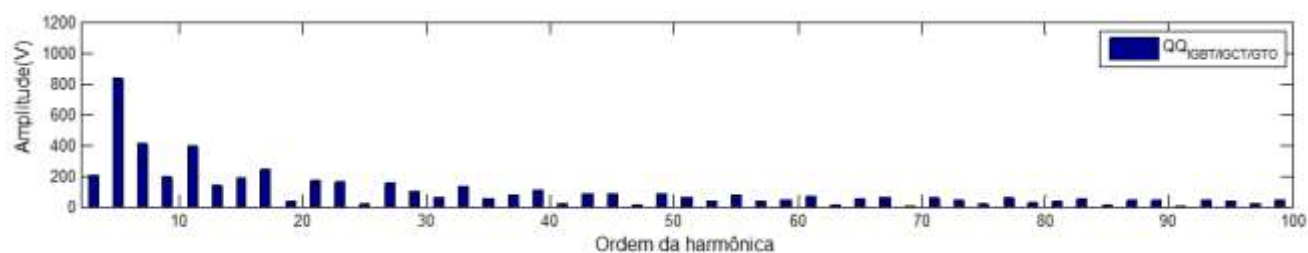
5.2 Condição nominal de operação ($m_a = 1$)

Nesta seção são apresentados os resultados de todos os índices de desempenho para o ponto nominal de operação, ponto para o qual o inversor foi projetado. Inicia-se apresentando os espectros harmônicos das tensões de fase e de linha. Na sequência é apresentada a distribuição das perdas nos dispositivos semicondutores, bem como a distribuição do volume do dissipador para cada conjunto de semicondutor. No projeto do dissipador são analisados três perfis, para possibilitar a seleção do que apresenta menor volume. Por fim, é apresentada uma tabela que contém todos os índices de desempenho analisados.

A Figura 11 apresenta o espectro harmônico da tensão de fase. A harmônica fundamental não é exibida para que seja possível uma melhor visualização da amplitude do espectro harmônico, sendo iniciado pela harmônica de ordem 2. A modulação QQ não apresenta harmônicas pares e sua harmônica mais significativa ocorre em 300 Hz. Este é o motivo para os fatores de distorção de primeira e segunda ordem apresentarem valores elevados quando comparado com modulações baseadas em portadoras triangulares.

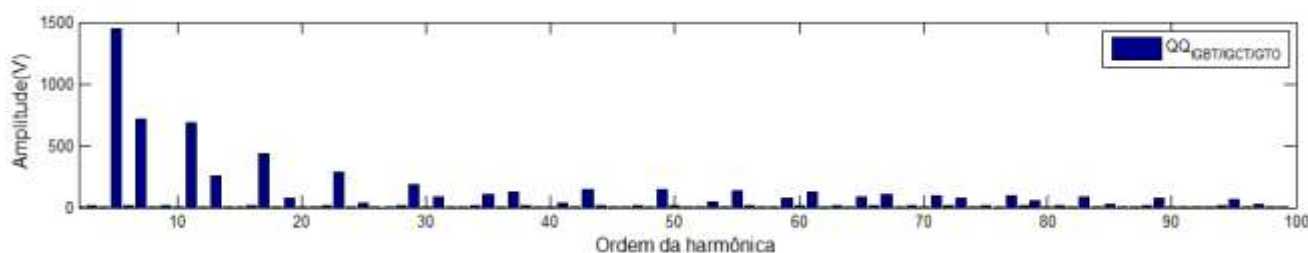
A Figura 12 exibe o espectro harmônico da tensão de linha. A modulação QQ apresenta a harmônica mais significativa na frequência de 300 Hz, esta harmônica apresenta amplitude maior do que a da tensão de fase.

Figura 11. Espectro harmônico da tensão de fase



Fonte: o autor.

Figura 12. Espectro harmônico da tensão de linha



Fonte: o autor.

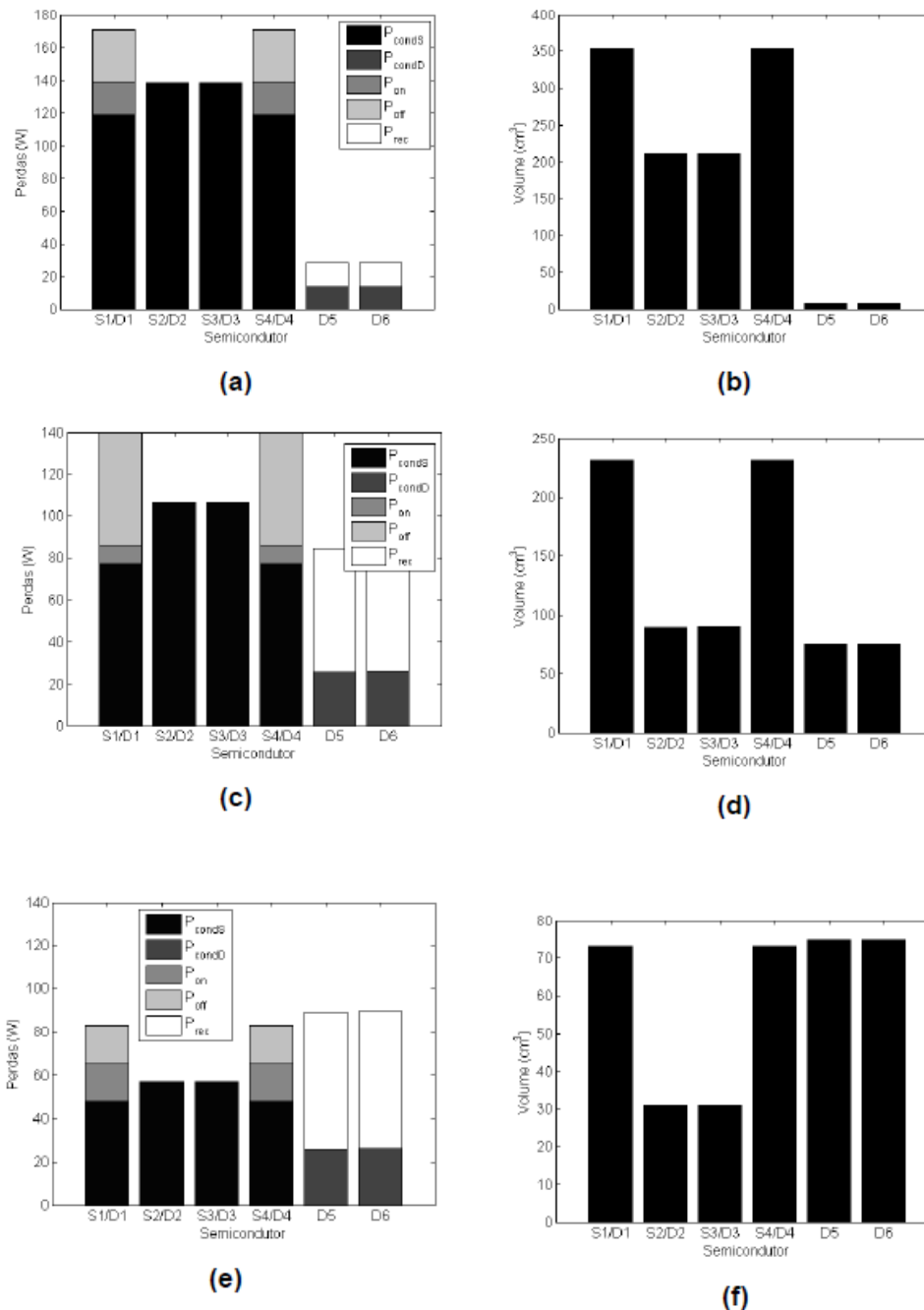
No inversor NPC as perdas estão concentradas nas chaves S1 e S4, isto ocorre porque a chave S2, que gera a tensão zero no semiciclo positivo se a corrente for positiva, não comuta e por este motivo apresenta apenas perdas de condução. De forma análoga ocorre para a chave S3 que é responsável pela geração do nível zero no semiciclo negativo se a corrente for negativa.

A distribuição das perdas no inversor NPC e do volume do dissipador (HS21577) para a modulação QQ pode ser verificada na Figura 13. As maiores perdas para esta modulação são relativas à condução dos dispositivos semicondutores, pois todos comutam na frequência de 60 Hz. O IGBT é o dispositivo que apresenta as maiores perdas de condução, seguido pelo IGCT e pelo GTO.

As variações no volume do dissipador de um semicondutor para outro ocorrem devido à diferença entre as resistências térmicas entre junção e encapsulamento e entre o encapsulamento e o dissipador. A variação do volume do dissipador para um mesmo semicondutor não é linear, pois a curva que descreve a variação da resistência em função do comprimento é exponencial, desta forma pequenas variações na resistência térmica requerida do dissipador podem conduzir a elevadas variações no comprimento e volume do dissipador.

Tendo as perdas de cada dispositivo semicondutor, foi possível realizar o projeto do sistema de transferência de calor. Foram utilizados três perfis de dissipadores de forma a se escolher o que apresenta o menor volume para cada conjunto de dispositivo semicondutor. Os dissipadores analisados são os perfis HS21577, HS125137 e HS125135L.

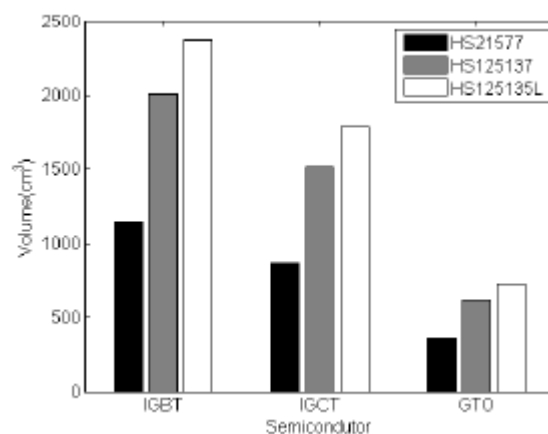
Figura 13. Distribuição das perdas e do volume do dissipador: (a-b) IGBT; (c-d) IGCT; (e-f) GTO



Fonte: o autor.

O volume total do dissipador para o inversor NPC é apresentado na Figura 14. Entre os três perfis de dissipadores analisados o perfil HS21577 apresentou o menor volume e o perfil HS125135L proporciona o maior volume.

Figura 14. Volume total do dissipador



Fonte: o autor.

A Tabela 4 apresenta um compêndio de todos os índices de desempenho analisados para modulação QQ no ponto nominal de operação do inversor. O melhor resultado em cada índice de desempenho é destacado em negrito. O semicondutor que apresentou melhor desempenho foi o IGCT com mais itens destacados.

Tabela 4. Compêndio da comparação

Configuração	IGBT	IGCT	GTO
Frequência de comutação (Hz)	60	60	60
THD da tensão de fase (%)	32,56	32,55	32,57
THD da tensão de linha (%)	30,48	30,48	30,48
DF1 da tensão de fase (%)	4,31	4,31	4,31
DF1 da tensão de linha (%)	4,14	4,14	4,15
DF2 da tensão de fase (%)	0,71	0,71	0,71
DF2 da tensão de linha (%)	0,65	0,65	0,65
Tensão de modo comum (p.u.)	0,198	0,198	0,198
Perdas totais/fase (W)	691,03	676,95	744,44
Comprimento total do dissipador/fase (cm)	6,90	5,25	2,16
Volume total do dissipador/fase (cm³)	1143,5	869,2	358,5
Rendimento (%)	99,59	99,60	99,56

Fonte: o autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a análise do inversor NPC empregando a modulação por síntese de formas de onda quase-quadradas. Foram avaliados índices de desempenho relativos a qualidade da forma de onda, ao rendimento e ao volume do inversor.

Com relação a qualidade do sinal gerado, para o ponto nominal de operação do inversor, obteve-se THD, DF1 e DF2 da tensão de linha de 30,48%, 4,14% e 0,65% respectivamente. As diferentes tecnologias de semicondutores não tiveram impacto nesses parâmetros.

O pior resultado do inversor foi obtido utilizando IGBTs. Empregando IGCTs, obtiveram-se as menores perdas e conseqüentemente o maior rendimento, equivalente a 99,6%. O inversor empregando GTOs, apresentou o menor comprimento e volume do dissipador.

REFERÊNCIAS

BAKER, R.H. Switching Circuit. U.S. Patent 4 210 826, 1980.

CHENCHIREDDY, K, et al., Grid-Connected 3L-NPC Inverter with PI Controller Based on Space Vector Modulation, International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, p. 94-98, 2023.

EUPEC, Technical Information: IGBT – Modules FZ200R65KF1, p.10, 2002.

HEUMANN, K.; JUNG, M., Switching losses and operational frequency limitations of GTO thyristors in PWM inverters, Power Electronics Specialists Conference, v.2, p.921-927, 1988.

HS DISSIPADORES, Catalogo HS Dissipadores, São Paulo, 2007. JAYAKUMAR, V., CHOKKALINGAM B., MUNDA, J. L., A Comprehensive

Review on Space Vector Modulation Techniques for Neutral Point Clamped

Multi-Level Inverters, IEEE Access, v. 9, p. 112104-112144, 2021.

MARZOUGH, A., et al., Design and Comparison of Cascaded H-Bridge, Modular Multilevel Converter, and 5-L Active Neutral Point Clamped Topologies for Motor Drive Applications, Transactions on Industry Applications, v. 54, n. 2,

p. 1404-1413, 2018.

NABAE, A., TAKAHASHI, I., AKAGI, H., A new neutral-point-clamped PWM inverter. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 17, n. 5, p. 518- 523, 1981.

NADWEH, S., et al., Topology design of variable speed drive systems for enhancing power quality in industrial grids, Electric Power Systems Research,

v. 238, 2025.

PENG, H., A research of the status of the PWM of NPC three-level inverter, International Conference on Electrical Engineering and Intelligent Control, p. 531-535, 2024.

RIZZO, S., ZARGARI, N., Medium voltage drives: What does the future hold?, Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC), p. 82-89, 2004.

RODRIGUEZ, J., et al, A Survey on Neutral-Point-Clamped Inverters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 57, n. 7, p. 2219-2230, 2010.

TADAKUMA, S., EHARA, M., Historical and predicted trends of industrial AC drives, Proceedings of International Conference on the Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, v. 2. p. 655-661. 1993.

TMGE, Medium Voltage Drive Evolution, p.27, 2005.

TOLBERT, L.M.; FANG ZHENG PENG; HABETLER, T.G., Multilevel converters for large electric drives, IEEE Transactions on Industry Applications, v.35, n.1, p.36-44, 1999.

YEN-SHIN, L.; FU-SAN, S., Investigations into the performance of multilevel PWM methods at low modulation indices," Industry Applications Conference, v, p.603-610, 2001.

ZAMBRA, D.A.B.; RECH, C.; PINHEIRO, J.R., "Comparison of Neutral-Point- Clamped, Symmetrical, and Hybrid Asymmetrical Multilevel Inverters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, v.57, n.7, p.2297-2306, 2010.

Capítulo 3



10.37423/250209621

MATRIZES DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA

Ricardo Souza Araújo

Universidade Estadual de Santa Cruz

Danilo de Santana Nunes

Universidade Estadual de Santa Cruz

Yuri Sotero Bomfim Fraga

Universidade Federal do Acre

Gabrielli Santos Oliveira

Universidade Estadual de Santa Cruz

Gabriela Calheira Primo Lopes

Universidade Estadual de Santa Cruz

Thalles Murilo Santos de Almeida

Universidade Estadual de Santa Cruz

Thiago Francisco de Souza

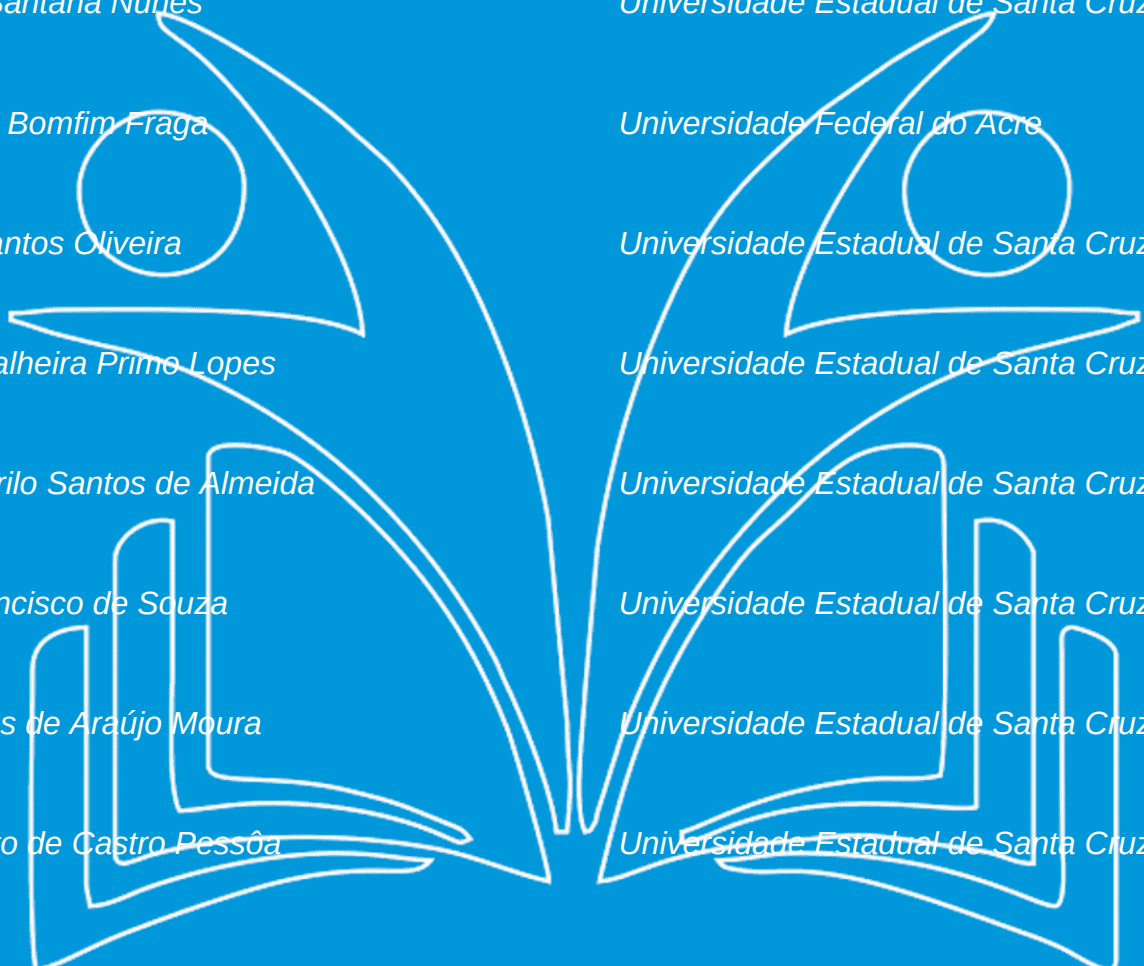
Universidade Estadual de Santa Cruz

Ruan Carlos de Araújo Moura

Universidade Estadual de Santa Cruz

José Renato de Castro Pessoa

Universidade Estadual de Santa Cruz



Resumo: *As estruturas de concreto armado são comumente utilizadas no mundo. Em alguns casos, é necessária a utilização de propriedades específicas como maior desempenho mecânico, autoadensabilidade ou menor massa específica, que são características encontradas em concretos especiais. Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um concreto leve a partir da substituição de brita por argila expandida. Para isso, foram produzidos corpos de prova cilíndricos com substituições de 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, e um de referência sem substituição, para avaliar o desempenho mecânico, a massa específica e o fator de eficiência. Os ensaios à compressão foram feitos aos 7 dias de hidratação e a previsão da resistência característica à compressão aos 28 dias de hidratação foi calculada. A partir dos resultados, foi possível constatar que quanto maior o teor de substituição da brita pela argila expandida, menor foi a massa específica do concreto. Entretanto, a argila expandida refletiu na redução da resistência. Ao analisar as duas propriedades supramencionadas nos corpos de prova, o maior fator de eficiência foi obtido no concreto com substituição total, no valor de 13,5.*

Palavras-chave: *Argila expandida, Concretos especiais, Concreto leve, Resistência à compressão, Fator de eficiência.*

1. INTRODUÇÃO

O concreto convencional é amplamente utilizado na construção civil devido à sua resistência mecânica e durabilidade (Mehta & Monteiro, 2014), entretanto, ele possui algumas limitações. O peso elevado é uma dessas limitações, o que pode resultar em estruturas mais pesadas e maiores cargas sobre as fundações. Além disso, o concreto convencional tem uma condutividade térmica relativamente alta, o que pode não ser ideal para aplicações onde o isolamento térmico é crucial. A trabalhabilidade também pode ser um desafio, especialmente em projetos que requerem formas complexas, com elevadas taxas de armadura, ou em locais de difícil acesso (Neville & Brooks, 2013).

Para superar essas limitações, surgiram diversos tipos de concretos especiais, cada um projetado para atender a necessidades específicas. Entre eles estão o concreto de alto desempenho (CAD), que oferece alta resistência e durabilidade; o concreto autoadensável (CAA), que melhora a trabalhabilidade e elimina a necessidade de vibração; e o concreto permeável, que ajuda na gestão de águas pluviais (Cai *et al.*, 2021; Fraga *et al.*, 2020; Kanellopoulos *et al.*, 2020; Manzano *et al.*, 2021; Revilla-Cuesta *et al.*, 2020; Vasconcellos *et al.*, 2023).

Dentro da classificação de concretos especiais, o concreto leve tem se destacado por conta da sua massa específica reduzida. Objetivando essa redução, diferentes tipos de agregados leves tem sido testados na produção desse tipo de concreto, com bons resultados já obtidos a partir da utilização de argilas expandidas. A argila expandida é obtida através do aquecimento de argilas especiais em fornos rotativos, resultando em um material leve, poroso e de alta resistência. Quando incorporada ao concreto, a argila expandida não apenas reduz a densidade do material, mas também melhora seu isolamento térmico e acústico. Além disso, o concreto leve com argila expandida apresenta uma boa trabalhabilidade e resistência mecânica suficiente para diversas aplicações estruturais e não estruturais (Adhikary *et al.*, 2022; Haller *et al.*, 2023; Hong *et al.*, 2023; Souza, Davi & Fraga, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o efeito da substituição de diferentes teores de brita por argila expandida nas propriedades do concreto leve visando aplicação em concretos leves estruturais.

2.METODOLOGIA

2.1 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi o CP V-ARI, por possibilitar elevado desempenho mecânico nas idades iniciais. O agregado miúdo utilizado foi areia natural proveniente da região de Ilhéus e Itabuna, na Bahia. A areia foi submetida ao processo de secagem em estufa por 5 horas à 110°C para secagem da água superficial. Como agregado graúdo, foram utilizadas britas nº 0 e nº 1 provenientes da região de Ilhéus, na Bahia. A água utilizada foi oriunda da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). A argila expandida utilizada possui formato arredondado e densidade média de 350 kg/m³.

Para realização da pesquisa, foi utilizado o traço em massa 1:1,9:2,7, com relação água/cimento igual a 0,60. O agregado graúdo foi composto por 50% de brita nº 0 e 50% de brita nº 1. Inicialmente, foi realizada a substituição, em volume, apenas da brita nº 0 por argila expandida nos teores de 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, porém os concretos não foram classificados como leves. Dessa forma, mantendo 100% de substituição da brita nº 0 por argila expandida, procedeu-se com a substituição, em volume, da brita nº 1 nos mesmos teores supramencionados. A nomenclatura dos traços pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1- Nomenclatura dos traços de concreto

Concreto	Composição
REF	Concreto referência, sem argila expandida.
20AE	Concreto com substituição volumétrica de 20% de brita 1 por argila expandida.
40AE	Concreto com substituição volumétrica de 40% de brita 1 por argila expandida.
60AE	Concreto com substituição volumétrica de 60% de brita 1 por argila expandida.
80AE	Concreto com substituição volumétrica de 80% de brita 1 por argila expandida.
100AE	Concreto com substituição volumétrica de 100% de brita 1 por argila expandida.

Foram produzidos 3 corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada concreto analisado.

2.2 PROPRIEDADES ANALISADAS

Foram realizados ensaios para verificação da resistência característica à compressão em uma máquina universal para ensaios mecânicos. Os corpos de prova foram rompidos aos 7 dias de hidratação, conforme mostrado na Fig. 1.



Figura 1- Corpo de prova rompido na máquina de ensaios.

Além disso, foi calculada a previsão da resistência à compressão aos 28 dias através da Eq. (1), conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

$$F_{ck} = \frac{F_{cmj}}{\exp \left\{ s \times \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}} \quad (1)$$

Onde:

F_{ck} = resistência característica à compressão na idade desejada (neste caso, 28 dias);

F_{cmj} = resistência à compressão do concreto atingida na idade efetiva do concreto (neste caso, 7 dias);

t = idade efetiva do concreto (neste caso, 7 dias);

$s = 0,20$ para concretos CPV – ARI.

A massa específica do concreto foi avaliada dividindo a massa pelo volume. Além disso, foi avaliado o Fator de Eficiência (FE), conforme Eq. (2) utilizada pela literatura (Rossignolo, 2003; Angelin *et al.*, 2014; Scohar, 2016).

$$FE = \frac{\text{Resistência à compressão}}{\text{Massa específica}} \quad (2)$$

Onde:

FE = Fator de eficiência em (MPa × dm³)/Kg;

Resistência à compressão = Resistência à compressão do concreto aos 28 dias, em MPa;

Massa específica = massa específica do concreto em kg/dm³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na Fig. 2 é possível observar os resultados de resistência à compressão dos concretos aos 7 dias e suas respectivas previsões de resistência aos 28 dias de hidratação.

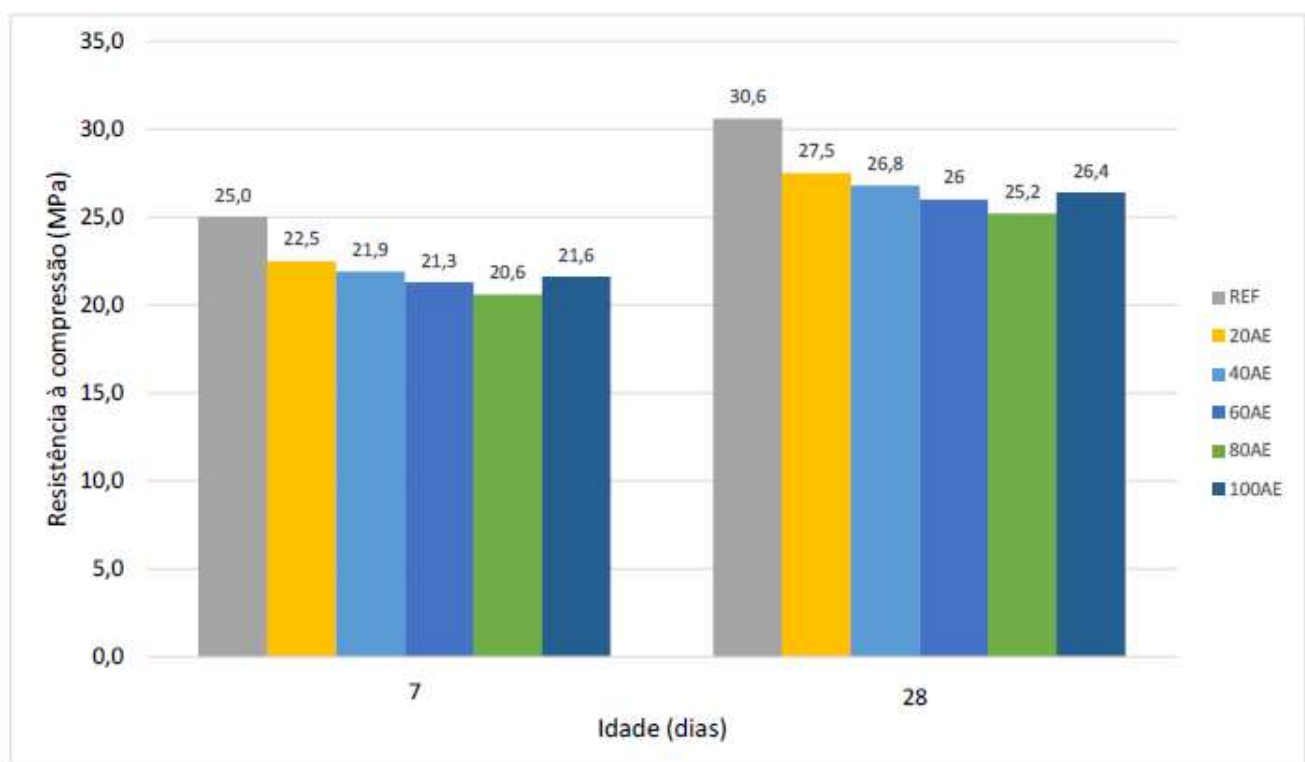


Figura 2- Resistência à compressão dos concretos aos 7 e 28 dias de hidratação.

Através da Fig. 2 foi constatado que a substituição da brita por argila expandida reduziu o desempenho mecânico dos concretos (Adhikary *et al.*, 2022; Hong *et al.*, 2023). Além disso, houve uma pequena diferença, não significativa, no desempenho mecânico substituindo os teores entre 20% e 100% da brita nº 1 por argila expandida, divergindo dos resultados da literatura que indicam que quanto maior o teor de argila expandida, menor o desempenho mecânico (Haller *et al.*, 2023; Souza, Davi & Fraga, 2021; Wang *et al.*, 2023).

O rompimento do concreto convencional ocorre na zona de transição, interface agregado-pasta, que é a região mais frágil devido à presença de cristais de hidróxido de cálcio que se orientam, causando uma região propícia à fratura. De acordo com Souza, Davi & Fraga (2021), no concreto leve, com agregados porosos, a região mais frágil é o próprio agregado, ou seja, o rompimento do concreto ocorre no agregado, conforme mostrado na Fig. 3.



Figura 3- Corpo de prova com argila expandida rompido.

3.2 MASSA ESPECÍFICA

Na Fig. 4 podem ser observadas as massas específicas dos concretos investigados.

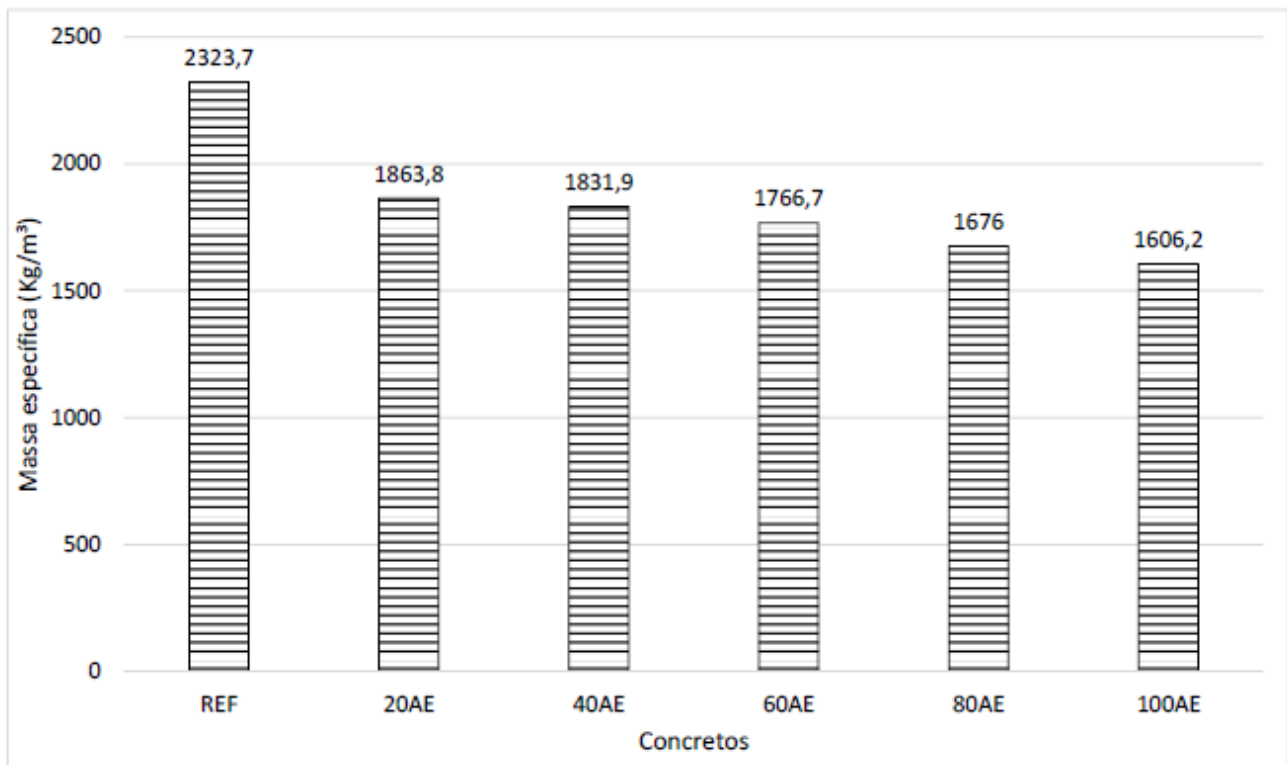


Figura 4- Massas específicas dos concretos.

Assim como observado na literatura, quanto maior o teor de argila expandida, menor a massa específica dos concretos. Isso pode ser atribuído à menor massa específica da argila expandida em comparação com a brita utilizada na pesquisa. Ao substituir 100% da brita por argila expandida houve uma redução de cerca de 30% na massa específica do concreto, sendo um expressivo resultado quando se busca redução da carga em estruturas de concreto (Adhikary *et al.*, 2022; Souza, Davi & Fraga, 2021).

3.3 FATOR DE EFICIÊNCIA

Para correlacionar os dois parâmetros supracitados, foi realizado o cálculo dos fatores de eficiência, conforme ilustrado na Fig. 5.

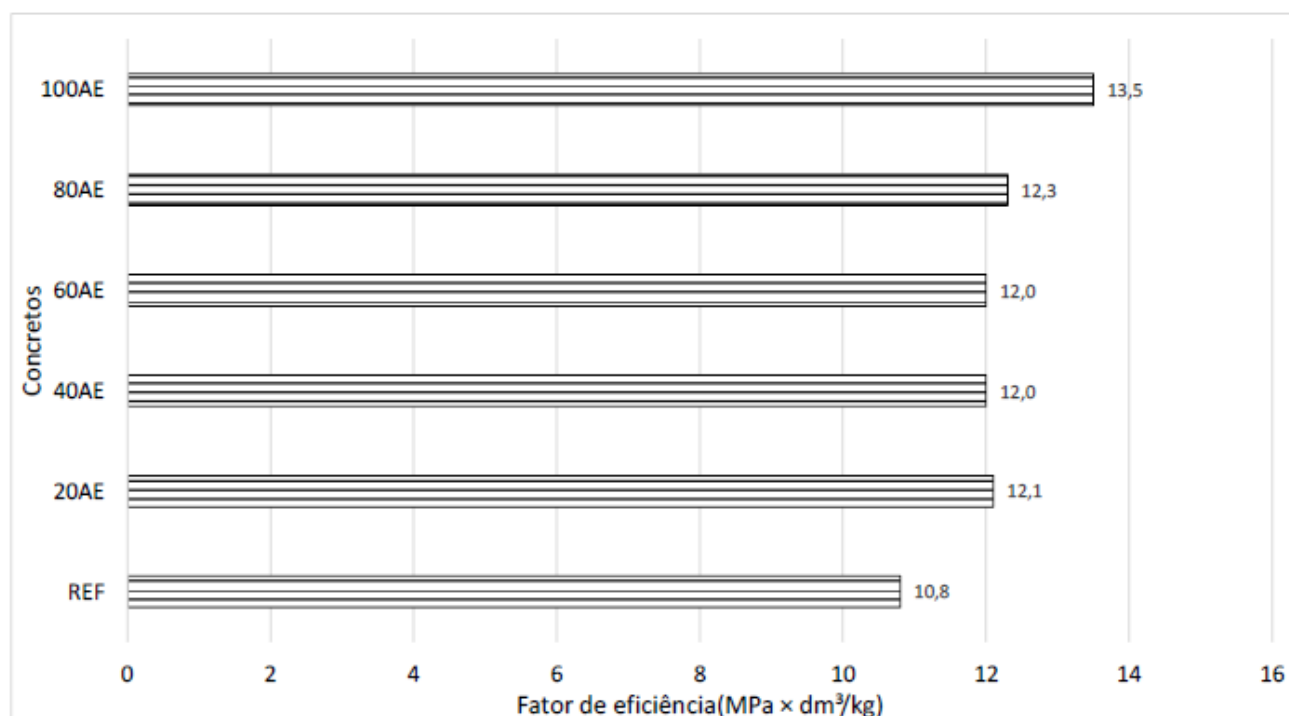


Figura 5- Fatores de eficiência dos concretos aos 28 dias de hidratação.

Através da Fig. 5, observa-se que quanto maior o teor de substituição da brita por argila expandida, maior o fator de eficiência. Esse resultado também foi observado na literatura, que atribui à acentuada redução da massa específica dos concretos com maiores teores de argila expandida (Adhikary *et al.*, 2022; Souza, Davi & Fraga, 2021).

4. CONCLUSÕES

Diante do exposto, foi possível concluir que houve pouca diferença no desempenho mecânico dos corpos de prova cilíndricos à compressão após a substituição de pequenos ou grandes teores de brita por argila expandida. Apesar disso, quanto maior o teor de argila expandida, menor foi a massa específica. Dessa forma, maiores teores de argila expandida proporcionaram maiores fatores de eficiência dos concretos, com valor máximo obtido nessa pesquisa de 13,5, contra um valor de 10,8 obtido no concreto convencional de referência. Recomenda-se que sejam realizadas pesquisas em concreto leve com utilização de diferentes materiais cimentícios suplementares como sílica ativa e metacaulim para contrabalancear a redução do desempenho mecânico e, consequentemente, aumentar o fator de eficiência do concreto.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece a Universidade Estadual de Santa Cruz pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Adhikary, S.K.; Ashish, D.K.; Sharma, H.; Patel, J.; Rudžionis, Ž.; Al-ajamee, M.; Thomas, B.S. and Khatib, J.M. (2022), Lightweight self-compacting concrete: A review. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15.
- Angelin, A.F. (2014), “Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Limeira.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- Cai, X.; Wu, K.; Huang, W.; Yu, J. and Yu, H. (2021), Application of recycled concrete aggregates and crushed bricks on permeable concrete road base. *Road Materials and Pavement Design*, 22, 2181-2196.
- Fraga, Y.S.B.; Rêgo, J.H. Da S.; Capuzzo, V.M.S.; Andrade, D. Da S. and Morais, P.C. (2020), Ultrasonication and synergistic effects of silica fume and colloidal nanosilica on the C–S–H microstructure. *Journal of Building Engineering*, 32, 101702.
- Haller, T.; Beuntner, N.; Gutsch, H. and Thienel, K.C. (2023), Challenges on pumping infra-lightweight concrete based on highly porous aggregates. *Journal of Building Engineering*, 65, 105761.
- Hong, S.H.; Choi, J.S.; Yuan, T.F. and Yoon, Y.S. (2023), A review on concrete creep characteristics and its evaluation on high-strength lightweight concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 22, 230-251.
- Kanellopoulos, A.; Savva, P.; Petrou, M.F.; Ioannou, I.; Pantazopoulou, S. (2020), Assessing the quality of concrete – reinforcement interface in Self Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 240, 117933.
- Manzano, M.A.R.; Fraga, Y.S.B.; Silva, E.F. Da; Oliveira, R.B. De; Hormaza, B.C.; Filho, R.D.T. (2021), Internal curing water effect of superabsorbent polymer on microstructure of high-performance fine-grained concrete. *ACI Materials Journal*, 118, 125-135.
- Mehta, P.K. e Monteiro, P.J.M. (2014), “Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”, 2ª ed., Ibracon, São Paulo.
- Neville, A.M. e Brooks, J.J. (2013) “Tecnologia do Concreto”, 2ª ed., Bookman, Porto Alegre.
- Ostryzniuk, M.; Gedulyan, S.; Antoniuk, N. and Moskalova, K. (2023), Rheology As a Tool for Technological Advancements in Self-Compacting Lightweight Concrete Mixes. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 14, 160-170.
- Revilla-Cuesta, V.; Skaf, M.; Faleschini, F.; Manso, J.M. and Ortega-López, V. (2020), Self-compacting concrete manufactured with recycled concrete aggregate: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121362.

Rossignolo, J.A. (2003) “Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos – Dosagem, produção, propriedades e microestrutura”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Scobar, R.L. (2016), “Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida”, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

Souza, M.C. De; Davi, A.D.S. e Fraga, Y.S.B. (2021), Efeito da sílica ativa nas propriedades do concreto leve com argila expandida. MIX Sustentável, 8, 29-40.

Vasconcellos, J.S.; Fraga, Y.S.B.; Rêgo, J.H. Da S.; Sartoratto, P.P.C. and Rojas, M.F. (2023), Hydration, mechanical performance and porosity of Portland cement pastes with functionalized nanosilica with APTES. Developments in the Built Environment, 14, 100157.

Wang, E. et al. (2023), Preparation and Compression Resistance of Lightweight Concrete Filled with Lightweight Calcium Carbonate Reinforced Expanded Polystyrene Foam. Polymers, 15, 4642.

APPENDIX A

CONCRETE MATRICES WITH INCORPORATION OF EXPANDED CLAY

Abstract. Reinforced concrete structures are commonly used worldwide. In some cases, it is necessary to use a specific property such as higher mechanical performance, self-compacting or a lower specific mass, which are examples of special concretes. Therefore, this research aims to produce lightweight concrete by replacing gravel with expanded clay. For this purpose, cylindrical test specimens with replacement of 20%, 40%, 60%, 80% and 100%, and a reference without replacement were produced to evaluate the mechanical performance, specific mass and the efficiency factor. Compression tests were performed after 7 days of hydration and the prediction of the characteristic compressive strength at 28 days of hydration was calculated. From the results, it was possible to verify that the higher the level of replacement of gravel by expanded clay, the lower the specific mass of the concrete. However, expanded clay reflected in the reduction of mechanical performance. It was possible to conclude that when analyzing the two aforementioned properties, the highest efficiency factor was of the concrete with total replacement, which provided a value of 13.5.

Keywords: Expanded clay, Special concretes, Lightweight concrete, Compressive strength, Efficiency factor

Capítulo 4



10.37423/250209622

VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM INCORPORAÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA

Ricardo Souza Araújo

Universidade Estadual de Santa Cruz

Danilo de Santana Nunes

Universidade Estadual de Santa Cruz

Yuri Sotero Bomfim Fraga

Universidade Federal do Acre

Gabriela Calheira Primo Lopes

Universidade Estadual de Santa Cruz

Gabrielli Santos Oliveira

Universidade Estadual de Santa Cruz

Thalles Murilo Santos de Almeida

Universidade Estadual de Santa Cruz

Thiago Francisco de Souza

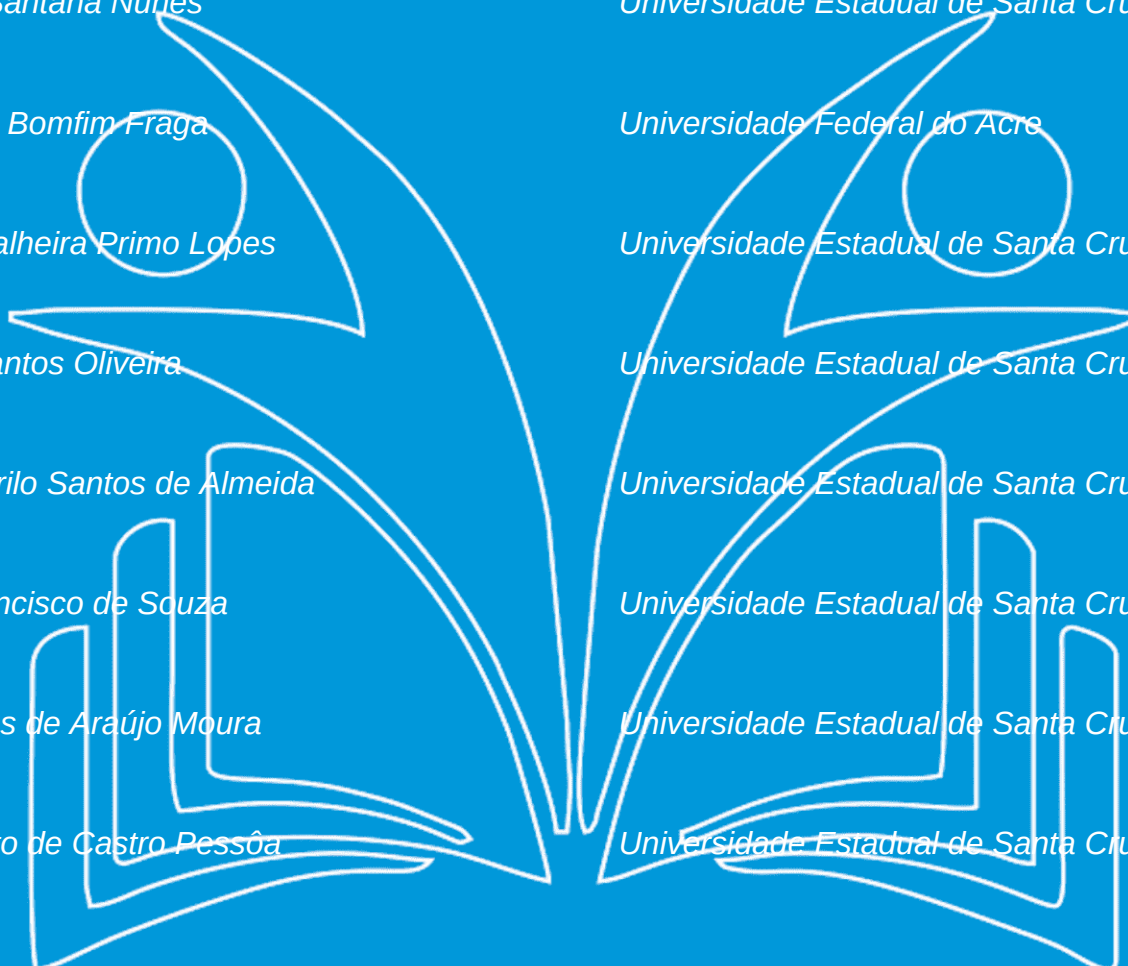
Universidade Estadual de Santa Cruz

Ruan Carlos de Araújo Moura

Universidade Estadual de Santa Cruz

José Renato de Castro Pessoa

Universidade Estadual de Santa Cruz



Resumo: *Os recentes avanços tecnológicos e das técnicas construtivas vem exigindo, a cada dia, construções mais eficientes, tanto do ponto de vista sustentável quanto econômico. Diante deste cenário, um concreto com menor massa específica se mostra um grande aliado na redução dos custos das obras. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo obter e avaliar o desempenho à flexão de um concreto alternativo produzido com incorporação de argila expandida em uma aplicação usual da engenharia civil, vigas de concreto armado. Para isso, foram produzidos dois elementos prismáticos armados em escala reduzida, um com substituição de 100% dos agregados graúdos convencionais por argila expandida e um de referência com 100% de brita. Ambos foram submetidos ao ensaio de flexão em três pontos. Resultados promissores foram obtidos para a viga armada produzida com o concreto leve utilizado. Foi observado comportamento semelhante à viga em concreto convencional nos estágios iniciais de carregamento, especificamente até a sua máxima carga resistente, a qual foi 13,6% inferior à viga de concreto convencional, para uma redução de cerca de 30% em seu peso próprio.*

Palavras-chave: *Concreto leve, Argila expandida, Vigas de concreto armado, Desempenho à flexão.*

1. INTRODUÇÃO

O concreto convencional produzido a partir do cimento tipo Portland é o material mais comumente utilizado na construção civil (Mehta & Monteiro, 2014) e em elementos estruturais no Brasil. Süsskind (1980) destaca algumas vantagens na sua utilização, tais como facilidade de modagem, baixo custo, durabilidade, estanqueidade, isolamento térmico e acústico, entre outras. A principal desvantagem do concreto convencional, ainda segundo o autor, é o elevado peso próprio. É importante notar que o mercado da construção tornou-se cada vez mais competitivo, o que tem exigido dos profissionais envolvidos na área o desenvolvimento de novas tecnologias, tanto sustentáveis como economicamente eficientes. Para atender a essa demanda, o concreto leve (*lightweight concrete*) tem sido um material altamente promissor, além da redução do peso, pode-se elencar outras qualidades como maior isolamento térmico e acústico.

O concreto leve é um tipo de concreto especial que tem ganhado destaque devido às suas propriedades. Ele é caracterizado por sua densidade reduzida em comparação ao concreto convencional, o que resulta em estruturas mais leves e com menor carga sobre as fundações. Essa característica é particularmente vantajosa em construções de grandes alturas e em reformas, nas quais a redução de peso é crucial. Além disso, o concreto leve oferece melhores propriedades de isolamento térmico, contribuindo para a eficiência energética das edificações. Ele é obtido através da utilização de agregados leves, como a argila expandida, vermiculita, perlita, poliestireno expandido, entre outros (Adhikary *et al.*, 2022; Haller *et al.*, 2023; Hong *et al.*, 2023; Souza, Davi & Fraga, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Neville & Brooks (2013) destacam o elevado peso do concreto convencional como uma limitação, o que, segundo os autores, pode resultar em estruturas mais pesadas e maiores cargas sobre as fundações, entretanto, alertam sobre como a trabalhabilidade pode ser um desafio, especialmente em projetos que requerem formas complexas, com elevadas taxas de armadura, ou em locais de difícil acesso.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo obter e avaliar o desempenho à flexão de um concreto alternativo produzido com incorporação de argila expandida em uma aplicação usual da engenharia civil, vigas de concreto armado.

2.METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS E RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Para produção das vigas foi utilizado o traço em massa de 1:1,9:2,7, com relação água/cimento de 0,60. O agregado graúdo da viga com concreto convencional foi composto por 50% de brita nº 0 e 50% de brita nº 1. Para a viga em concreto leve, foi realizada a substituição total, em volume, dos agregados graúdos, resultando em 50% de argila expandida com granulometria equivalente à brita nº 0 e 50% de argila expandida com granulometria equivalente à brita nº 1. Para ambas as vigas, o cimento Portland utilizado foi o CP V-ARI, o agregado miúdo utilizado foi areia natural proveniente da região de Ilhéus, na Bahia, fornecida pela concreteira Polimix (a areia foi submetida ao processo de secagem em estufa por 5 horas à 110°C para secagem da água superficial) e a água utilizada foi oriunda da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). As britas utilizados foram provenientes da região de Ilhéus, na Bahia, fornecidas também pela concreteira Polimix. A argila expandida utilizada possuía formato arredondado e densidade média de 350 kg/m³, e foram obtidas no mercado local.

Previamente, para verificação da capacidade mecânica do concreto leve estudado, foram produzidos corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e foram realizados ensaios para determinação da resistência característica à compressão em uma máquina de ensaios. A massa específica do concreto foi avaliada dividindo a massa pelo volume. Foi obtida uma resistência característica à compressão aos 28 dias de 26,4 MPa, com massa específica de 1606,2 kg/m³.

2.2 ELEMENTO ESTRUTURAL SOB FLEXÃO

Foram produzidos dois elementos estruturais prismáticos, um em concreto convencional e outro em concreto leve, ambos armados. Os elementos foram submetidos a ensaios de flexão em três pontos em máquina universal de ensaios (ver Fig. 1) para avaliação do concreto leve quando aplicado a elementos estruturais submetidos a carregamentos transversais, como é o caso das vigas de concreto armado. Os resultados de resistência e relação força × deslocamento foram comparados. As dimensões das vigas foram b= 9 cm, h= 12 cm e L= 35 cm, com armação inferior de 1 Φ 5,0 mm.



Figura 1- Viga submetida ao ensaio de flexão em três pontos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 2 apresenta a relação força × deslocamento obtida no ensaio de flexão em três pontos da viga armada produzida com concreto convencional e a Fig. 3, no ensaio da viga produzida com concreto leve.

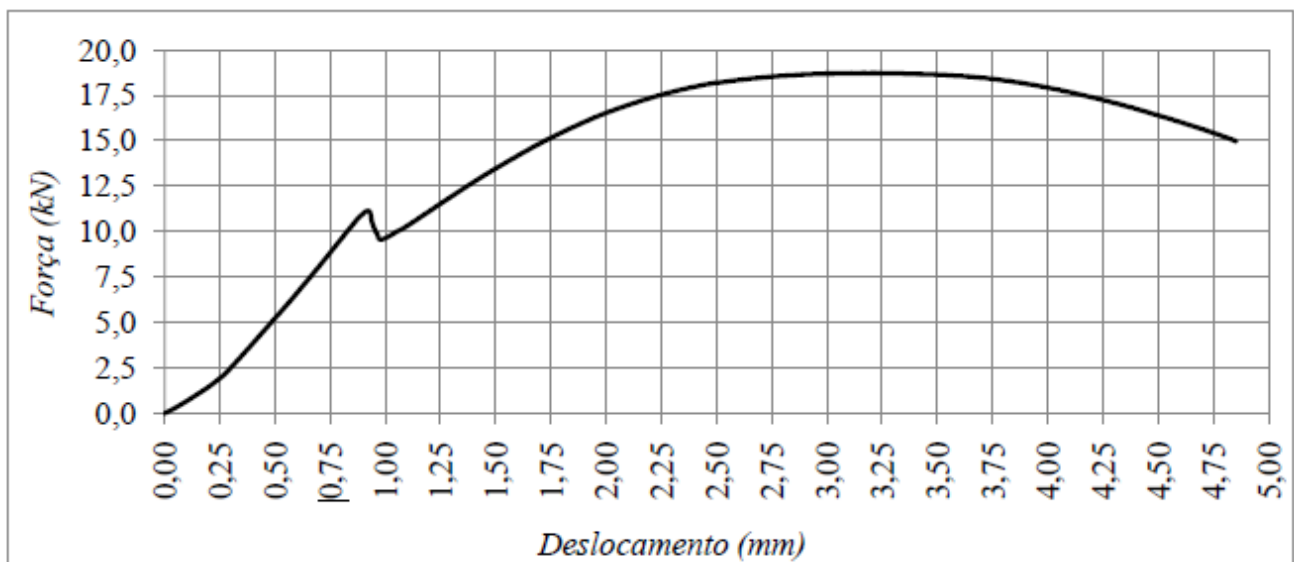


Figura 2- Relação força × deslocamento obtida no ensaio de flexão da viga em concreto convencional

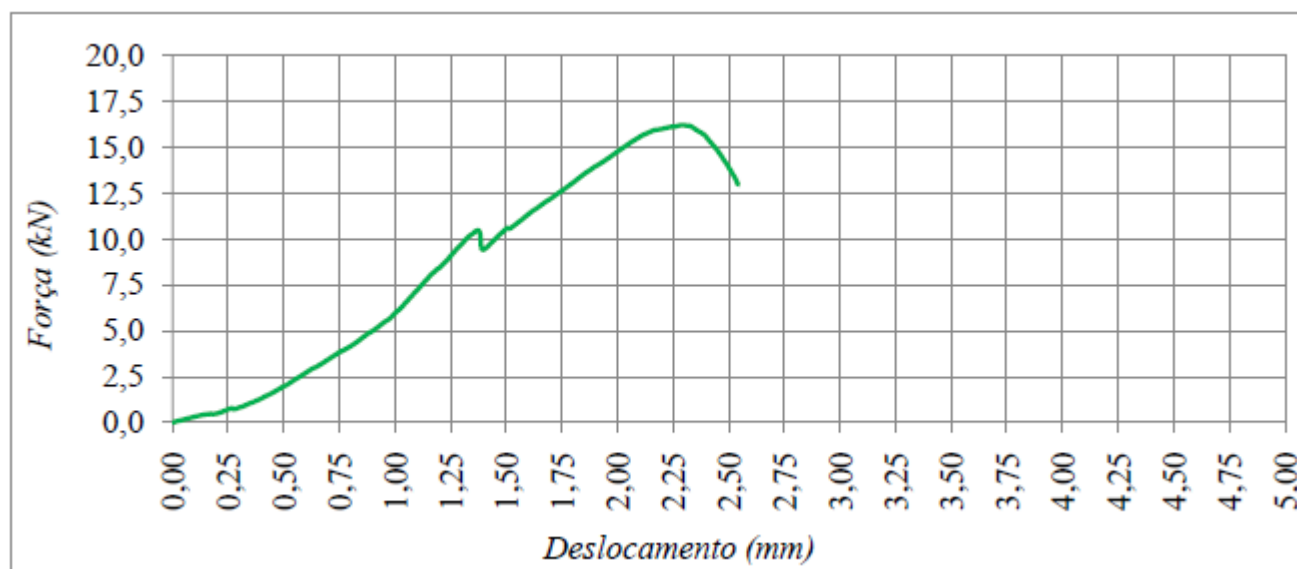


Figura 3- Relação força × deslocamento obtida no ensaio de flexão da viga em concreto leve

Ao analisar o diagrama força × deslocamento do concreto convencional, na Fig. 2, pode-se observar uma redução brusca na força resistida pela seção de concreto armado, com uma flecha aproximada de 0,90 mm e uma força de 11,15 kN. Essa queda caracteriza o início do Estádio II, com formação de fissuras no concreto na região tracionada da viga em função do momento fletor gerado e atuação importante da barra de aço no equilíbrio das forças internas. A peça atingiu sua máxima força resistente em 18,73 kN, com carga de ruptura de aproximadamente 15,00 kN. Para este último valor de força foi obtida uma deflexão no ponto de aplicação do carregamento de 4,85 mm.

Ao analisar o diagrama força × deslocamento do concreto leve, na Fig. 3, pode-se observar a mesma queda brusca na força resistida pela seção de concreto armado com uma flecha aproximada de 1,47 mm e uma força de 10,47 kN (valor inferior ao do concreto convencional em 6,1%), indicando menor rigidez do concreto leve em relação ao concreto convencional, visto uma maior deflexão para uma menor força resistida. Essa queda também caracteriza o início do Estádio II, com início da formação de fissuras no concreto. A peça atingiu sua máxima força resistente em 16,19 kN (valor inferior ao do concreto convencional em 13,6%), com carga de ruptura de aproximadamente 12,94 kN (valor inferior ao do concreto convencional em 13,7%). Para este último valor de força foi obtida uma deflexão no ponto de aplicação do carregamento de 2,54 mm.

Detalhadamente, comparando as duas curvas, as vigas apresentaram comportamentos semelhantes na fase de carregamentos até aproximadamente 16,0 kN, nesse caso, em todo o Estádio I e em parte do Estádio II. A curva da viga com concreto leve apresentou menor inclinação, o que indica menor rigidez à flexão, mas apresentou limite muito próximo no qual o concreto ainda pode ser considerado

íntegro, ou seja, os valores limites de força entre os Estádios I e II foram semelhantes, de aproximadamente 11,00 kN. Para carregamentos acima de 16,00 kN, as duas vigas apresentaram comportamentos distintos. A viga em concreto convencional apresentou um patamar de escoamento significativo, demonstrando a característica de comportamento do aço sob tração, a estabilização da fissuração (Estádio II) e a capacidade de absorver carregamentos em regime plástico (Estádio III). No sentido oposto, a viga produzida com concreto leve atingiu seu valor máximo precocemente em 16,19 kN, apresentando uma queda brusca de resistência até atingir a ruptura. A viga não atingiu o regime plástico (Estádio III) e parece ter chegado ao limite de resistência ainda no início da fase de estabilização da fissuração (segunda etapa do Estádio II). De fato, foi possível avançar com o ensaio de flexão da viga em concreto convencional até patamares superiores de fissuração. A Fig. 4 ilustra os diferentes níveis de fissuração das vigas no momento da interrupção automática da máquina de ensaios (interrupção quando a leitura de força não é mais possível).

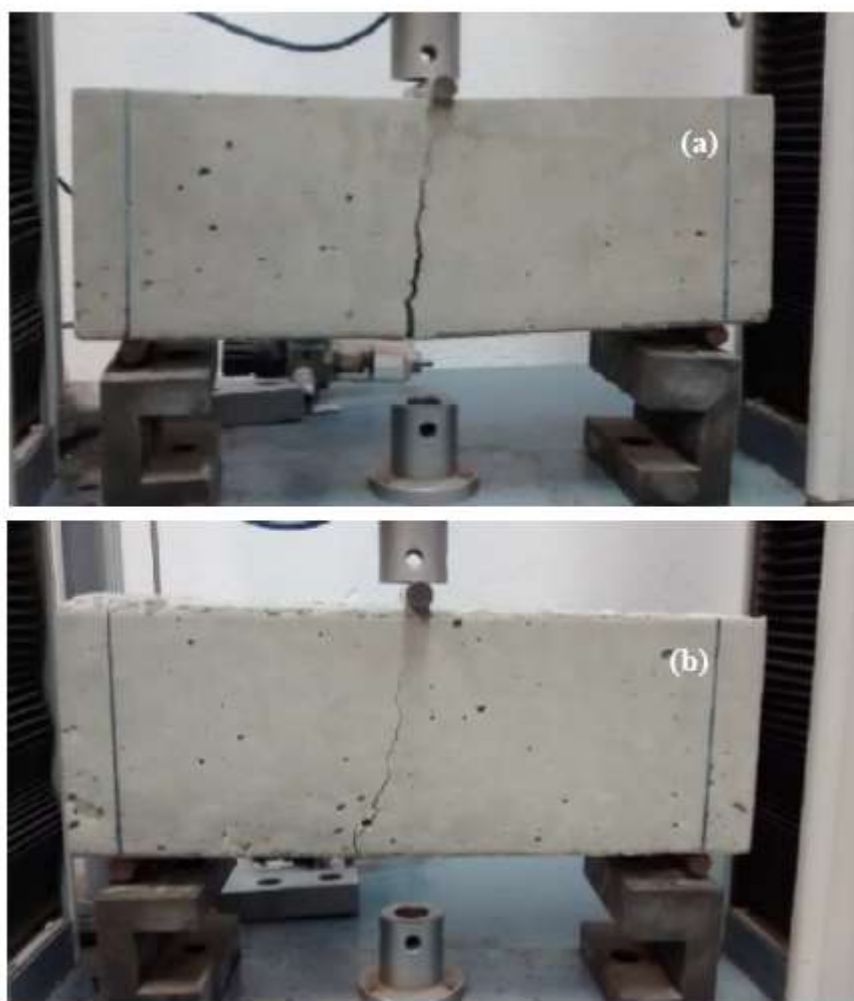


Figura 4- Vigas rompidas nos ensaios de flexão em três pontos: (a) Viga produzida com concreto convencional e (b) Viga com concreto leve.

A provável justificativa para a menor abertura de fissura, interrupção do processo de estabilização da fissuração no Estádio II e, conseqüentemente, das menores cargas máxima e de ruptura apresentadas pela viga produzida com argila expandida é que o aço não colaborou efetivamente para o equilíbrio das forças internas da seção, visto que o mesmo não apresentou qualquer redução do seu diâmetro (estricção) após a ruptura. Este fato demonstra uma falta de aderência entre o concreto leve e o aço. Sabe-se que vigas armadas em flexão, com seus materiais constituintes trabalhando em concomitância, chegam à ruptura por esmagamento do concreto e/ou ruptura precedida da estrição do aço. A viga utilizada como referência, produzida com concreto convencional, por exemplo, chegou à ruptura com armadura apresentando uma estrição de 1,02 mm, o que resultou em um diâmetro de 3,98 mm após o colapso. A Figura 5 mostra as barras de aço das duas vigas após a ruptura. Na Figura 5(a), a armadura aplicada à viga de concreto convencional com redução do seu diâmetro. Na Figura 5(b), a armadura aplicada à viga de concreto leve, íntegra, indicando um provável deslizamento da barra.

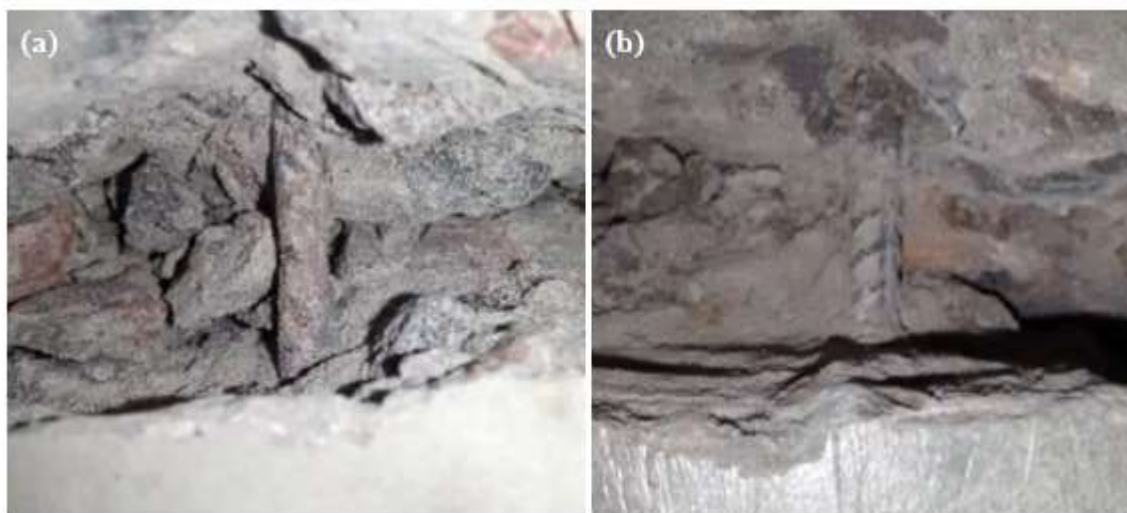


Figura 5- Detalhes das armaduras após ruptura: (a) Viga com concreto convencional e (b) Viga com concreto leve.

4.CONCLUSÕES

Para o caso analisado nessa pesquisa, especificamente, uma viga armada de concreto leve obtida a partir da incorporação de argila expandida, foi observado um comportamento semelhante nos estágios iniciais de carregamento, especificamente em todo o Estádio I e em parte do Estádio II, ao obtido no ensaio à flexão do mesmo elemento produzido com concreto convencional. Foi identificada menor rigidez, evidenciada pela menor inclinação da curva força $\times$ deslocamento, entretanto, foi

observada a mesma queda brusca na força resistida pela seção de concreto armado a um valor de força 6,1% inferior ao do concreto convencional. A máxima força resistente foi 13,6% inferior à do concreto convencional, com carga de ruptura 13,7% inferior. Concluiu-se, visto adicionalmente que a armadura não apresentou qualquer redução do seu diâmetro (estricção) após a ruptura e que a seção da viga em concreto leve não atingiu o regime plástico (Estádio III), que o aço não colaborou efetivamente para o equilíbrio das forças internas. Este fato evidenciou uma falta de aderência entre o concreto leve e o aço, sendo necessário estudos complementares para correta avaliação e solução do problema.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece a Universidade Estadual de Santa Cruz pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Adhikary, S.K.; Ashish, D.K.; Sharma, H.; Patel, J.; Rudžionis, Ž.; Al-ajamee, M.; Thomas, B.S. and Khatib, J.M. (2022), Lightweight self-compacting concrete: A review. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15.
- Haller, T.; Beuntner, N.; Gutsch, H. and Thienel, K.C. (2023), Challenges on pumping infra-lightweight concrete based on highly porous aggregates. *Journal of Building Engineering*, 65, 105761.
- Hong, S.H.; Choi, J.S.; Yuan, T.F. and Yoon, Y.S. (2023), A review on concrete creep characteristics and its evaluation on high-strength lightweight concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 22, 230-251.
- Mehta, P.K. e Monteiro, P.J.M. (2014), *“Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”*, 2ª ed., Ibracon, São Paulo.
- Neville, A.M. e Brooks, J.J. (2013), *“Tecnologia do Concreto”*, 2ª ed., Bookman, Porto Alegre.
- Souza, M.C. De; Davi, A.D.S. e Fraga, Y.S.B. (2021), Efeito da sílica ativa nas propriedades do concreto leve com argila expandida. *MIX Sustentável*, 8, 29-40.
- Süssekind, J. C. (1980), *“Curso de Concreto”*, Vol. I, 1ª ed., Globo, Porto Alegre.
- Wang, E. et al. (2023), Preparation and Compression Resistance of Lightweight Concrete Filled with Lightweight Calcium Carbonate Reinforced Expanded Polystyrene Foam. *Polymers*, 15, 4642.

APPENDIX A

REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH INCORPORATION OF EXPANDED CLAY

Abstract. *Recent advances in technology and construction techniques have increasingly required more efficient constructions, both from a sustainable and economic point of view. In this scenario, a concrete with a lower specific weight has proven to be a great ally in reducing construction costs. Therefore, this study aimed to obtain and evaluate the flexural performance of an alternative concrete produced with the incorporation of expanded clay in usual application of civil engineering, reinforced concrete beams. For this purpose, two reinforced prismatic elements were produced in reduced scale, one with 100% replacement of conventional coarse aggregates by expanded clay and a reference with 100% gravel. Both were subjected to the three-point flexural test. Promising results were obtained for the reinforced beam produced with the lightweight concrete used. Similar behavior to the conventional concrete beam was observed in the initial stages of loading, specifically up to its maximum resistant load, which was 13.6% lower than the conventional concrete beam, for a reduction of approximately 30% in its own weight.*

Keywords: *Lightweight concrete, Expanded clay, Reinforced concrete beams, Flexural performance.*

Capítulo 5



10.37423/250209629

ANÁLISE DE CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES CONSUMIDORAS DO GRUPO B UTILIZANDO PYTHON

Rodrigo Santana Esperidião

Universidade Federal de Goiás

Fernando Nunes Belchior

Universidade Federal de Goiás



Resumo: Compreender como são realizadas as cobranças relacionadas ao uso da energia elétrica em uma instalação é essencial para a boa gestão das despesas com esse insumo, pois permite identificar maneiras de reduzir os custos decorrentes de sua utilização. Embora existam diversas distribuidoras de energia no Brasil, todas estão submetidas às normas e resoluções estabelecidas pela ANEEL, o que implica uma padronização sobre o faturamento da energia. Este capítulo de livro tem como objetivo detalhar o desenvolvimento de uma aplicação *web* destinada a auxiliar no estudo dos custos relacionados ao uso da energia elétrica em unidades consumidoras (UCs) do Grupo B. O programa combina os elementos de HTML e CSS com seu código principal escrito na linguagem *Python*. O perfil da unidade e os resultados das simulações são apresentados na forma de valores numéricos e gráficos em planilhas do Excel. O *software* possui dois modelos de análise: a análise por cargas, em que é analisado o perfil de consumo semanal da unidade de acordo com as cargas instaladas e seus horários de utilização; e a análise por fatura, em que são interpretados os dados presentes na fatura de energia elétrica para 12 meses de funcionamento da unidade. As análises buscam apresentar de forma clara o perfil de consumo de uma UC e identificar possíveis oportunidades de economia através de reenquadramento tarifário. Na análise por cargas, verifica-se a modalidade tarifária ideal para o perfil da unidade. O *software* se mostrou eficiente, gerando resultados consistentes, com erros pequenos na maioria dos casos.

Palavras-chave: Análise Tarifária. Modalidade Tarifária. Python. Faturamento de Energia Elétrica. Grupo B.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um elemento fundamental para o funcionamento de praticamente todas as instalações comerciais, residenciais e industriais presentes no mundo contemporâneo, essencial na realidade do Brasil. Custos relacionados a esse insumo, portanto, representam uma preocupação relevante para os administradores em geral. Devido ao uso intensivo e extensivo da eletricidade no país, fez-se necessária a criação de diversas leis e regulamentos, responsáveis por disciplinar sua distribuição e consumo nas diferentes áreas do território brasileiro.

Embora existam diversas empresas distribuidoras de energia elétrica no país, todas devem seguir as regras estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ente estatal responsável por fiscalizar e emitir normas de funcionamento do setor elétrico brasileiro. A ANEEL é então encarregada de regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, fiscalizar as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica, estabelecer tarifas, entre outras atividades. Essa regulação é realizada a partir de normas infralegais, que estabelecem os parâmetros e condições para o funcionamento adequado do setor. Neste trabalho, as normas regulamentares estudadas foram a Resolução Normativa N° 1000 da ANEEL, de 7 de dezembro de 2021 (ANEEL, 2021), e a Resolução Homologatória N° 3.279, de 17 de outubro de 2023 (ANEEL, 2023).

A complexidade das legislações que regulam o faturamento da energia elétrica muitas vezes torna o processo de sua gestão mais difícil e suscetível a erros. Assim, é importante que sejam desenvolvidos métodos simplificados, mas confiáveis, para a realização de análises tarifárias e estudos acerca do consumo de energia nas UCs.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução computacional que objetivou ser mais simples e eficiente para atividades de análise e previsão de custos com energia elétrica em UCs brasileiras.

Divide-se a estrutura deste trabalho em quatro seções principais. Primeiramente, são apresentados os fundamentos teóricos aplicados ao desenvolvimento do programa e utilizados como referência ao longo da pesquisa. Em seguida, a metodologia utilizada para a criação da aplicação é exposta, com detalhes da estrutura do projeto e de suas funcionalidades. Posteriormente, são discutidos os estudos de caso, onde os resultados obtidos pelo uso do software são comparados com dados extraídos de trabalhos de referência. Por fim, a conclusão aborda os principais achados e discorre a respeito da eficácia do software desenvolvido.

É esperado que o uso da ferramenta computacional desenvolvida permita que as atividades abordadas possam ser realizadas em um menor intervalo de tempo, além de proporcionar resultados consistentes e padronizados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo se encontram as explicações acerca dos conteúdos usados como base para o desenvolvimento do trabalho. Dentre os temas apresentados estão: as modalidades tarifárias existentes, a metodologia para cobrança de energia elétrica no Brasil e a definição da atividade de análise tarifária. Além da contextualização acerca das questões relacionadas à energia elétrica e tarifações, serão apresentadas, também, as ferramentas computacionais que foram utilizadas para o desenvolvimento do software criado para este trabalho.

2.1 MODALIDADES TARIFÁRIAS

De acordo com o artigo 2º, XXXI, da Resolução Normativa Nº 1000 da ANEEL, de 7 de dezembro de 2021, o termo “modalidade tarifária” possui a seguinte definição: “modalidade tarifária: conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda”. Essa definição indica então que a modalidade tarifária está relacionada à forma de medição e cobrança do uso de energia elétrica por diferentes consumidores (ANEEL, 2021).

Atualmente, o Brasil possui quatro modalidades principais, a modalidade tarifária convencional, a modalidade tarifária horária branca, a modalidade tarifária horária verde e a modalidade tarifária horária azul. Cada uma dessas modalidades possui características próprias que relacionam quais e como as tarifas são aplicadas aos tipos de uso da energia elétrica e quais os critérios para que um consumidor se enquadre em uma dessas modalidades.

As descrições apresentadas nos subtópicos seguintes, em que são detalhadas as modalidades tarifárias, constam da Resolução Normativa Nº 1000 da ANEEL, de 7 de dezembro de 2021 (ANEEL, 2021).

2.1.1 MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL

A modalidade tarifária convencional é aplicada por meio do uso de uma única tarifa ao longo do dia. O custo da energia elétrica de uma UC enquadrada na modalidade tarifária convencional depende, assim, do valor de seu consumo de energia elétrica ativa (energia elétrica capaz de ser convertida em

outra forma de energia) ao longo do dia, medido em kWh (quilowatts-hora). Esse valor medido é então multiplicado pela tarifa única.

O custo da energia elétrica para os consumidores enquadrados nessa modalidade não sofre influência do horário de utilização da energia elétrica. Além disso, não há cobranças relacionadas à demanda ou à energia elétrica reativa (energia elétrica que circula entre os campos elétricos e magnéticos do sistema sem realizar trabalho).

Os consumidores que fazem parte dessa modalidade são os abastecidos por baixa tensão, denominados como grupo B¹, e são, em sua maioria, estabelecimentos residenciais e comerciais.

2.1.2 MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA BRANCA

A modalidade tarifária horária branca, como seu próprio nome já induz, possui diferentes valores de tarifas referentes aos horários do dia. São então aplicadas três tarifas diferentes ao longo do dia para essa modalidade: uma tarifa para o horário fora de ponta, uma para o horário de ponta e uma para o horário intermediário. Os segmentos horários considerados para o cálculo da fatura de energia das modalidades tarifárias horárias são denominados “postos tarifários”.

O posto tarifário ponta é definido pela concessionária de acordo com o perfil dos consumidores da região atendida, sendo composto por três horas consecutivas no período em que há a maior requisição de energia elétrica sobre o sistema de distribuição. O posto tarifário intermediário, por sua vez, é um período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e a outra imediatamente posterior ao horário de ponta. Assim como o horário de ponta, o horário intermediário não é contado aos sábados, domingos e feriados nacionais. Os horários do dia que estão fora dos postos tarifários ponta e intermediário se enquadram no posto tarifário fora de ponta.

Assim como a modalidade convencional, a modalidade tarifária branca é aplicável sobre consumidores do grupo B, podendo ser aderida de acordo com a opção do consumidor, uma vez que a unidade não se enquadre como: subclasses de baixa renda da classe residencial, classe iluminação pública ou que seja faturada pela modalidade de pré-pagamento.

Essa modalidade oferece um valor de tarifa no posto tarifário fora de ponta mais baixo quando comparado à tarifa única da modalidade convencional. Nos horários intermediário e de ponta, por sua vez, o valor da tarifa é consideravelmente mais elevado, o que faz com que seja recomendada uma análise criteriosa sobre o perfil de consumo da unidade que tem interesse em aderir à modalidade branca.

2.2 METODOLOGIA PARA FATURAMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA

Existe uma série de procedimentos e cálculos para que seja atingido o valor final de uma fatura de energia. Os elementos que compõem a fatura podem variar de acordo com a modalidade tarifária da UC, a geração de energia no período, o valor das tarifas praticadas na região, entre outros fatores. Neste trabalho, os principais componentes estudados são os relacionados diretamente ao uso da energia elétrica por parte do consumidor.

No próximo subtópico serão apresentados os conceitos básicos que devem ser conhecidos para a compreensão do faturamento das UCs, bem como os cálculos aplicados para o grupo B.

2.2.1 CONSUMO

Para realizar o faturamento da energia elétrica utilizada em uma UC, a concessionária deve medir a utilização dessa energia. O uso da energia elétrica ativa em uma instalação é denominado “consumo de energia”. No caso de consumidores do grupo B, somente a energia ativa é considerada no faturamento.

O consumo de energia ativa é usualmente tratado em kWh e medido cumulativamente ao longo do mês. O resultado da medição é exposto na fatura de energia do consumidor ao final do mês, sendo dividido de acordo com os postos tarifários de consumo caso a unidade esteja enquadrada em uma modalidade tarifária horária (tarifa branca).

2.2.2 COMPOSIÇÃO DAS TARIFAS

As tarifas representam os valores monetários associados a uma unidade de medida de demanda ou consumo que são usados para o faturamento da energia elétrica em uma UC. As tarifas empregadas pelas distribuidoras de energia elétrica são compostas por dois fatores: a tarifa de energia (TE) e a tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD).

A TE possui um valor dado em R\$/MWh e estipulado pela ANEEL. Essa tarifa é utilizada para o faturamento do consumo de energia de uma UC.

A TUSD pode ser dada em R\$/MWh ou em R\$/MW, sendo usada para o faturamento dos consumidores que estão ligados e fazem uso do sistema de distribuição de energia elétrica.

2.2.3 FATURAMENTO DO GRUPO B

O custo da energia elétrica cobrado sobre uma UC do grupo B por uma distribuidora de energia será obtido a partir do consumo de energia da unidade. Isso essencialmente significa que o valor da fatura será composto pelo resultado do produto entre consumo da unidade pela tarifa vigente relacionada à categoria em que se enquadra.

Para a modalidade tarifária convencional, uma vez que não há nenhuma segmentação horária, o custo referente ao consumo de energia se dá pela equação (1).

$$F = E_a \times T \quad (1)$$

Onde:

F – Valor faturado (R\$);

E_a – Energia ativa medida no mês (kWh);

T – Tarifa única de consumo (R\$/kWh).

No caso da modalidade tarifária horária branca, é necessário levar em consideração a presença dos diferentes postos tarifários. Nesse caso, o medidor instalado na unidade também identifica separadamente o consumo de energia em cada um dos períodos, como mostra a equação (2).

$$F = E_{aFP} \times T_{fp} + E_{ai} \times T_i + E_{aP} \times T_p \quad (2)$$

Onde:

F – Valor faturado (R\$);

E_{aFP} – Energia ativa medida no horário fora de ponta durante o mês (kWh);

E_{ai} – Energia ativa medida no horário intermediário durante o mês (kWh);

E_{aP} – Energia ativa medida no horário de ponta durante o mês (kWh);

T_{fp} – Tarifa de consumo do horário fora de ponta (R\$/kWh);

T_i – Tarifa de consumo do horário intermediário (R\$/kWh);

T_p – Tarifa de consumo do horário de ponta (R\$/kWh).

Existe ainda um valor mínimo da fatura que a UC deverá pagar à distribuidora de energia. Caso o cálculo do faturamento de acordo com o consumo de energia seja inferior ao valor mínimo, a unidade deverá pagar o valor mínimo. Esse valor, denominado “custo de disponibilidade do sistema elétrico”, é calculado como o custo equivalente ao consumo de 30 kWh, se a unidade for alimentada por sistema monofásico ou bifásico a dois condutores, de 50 kWh, se for bifásico a três condutores ou de 100 kWh se for trifásico. O valor da tarifa usada para calcular o custo de disponibilidade é o mesmo aplicado à modalidade convencional.

2.3 ANÁLISE TARIFÁRIA

Devido a todas as particularidades apresentadas anteriormente, faz-se necessária a realização de um estudo para definir qual a melhor opção tarifária para a UC. Esse estudo recebe a denominação de “Análise Tarifária”.

Para realizar a análise tarifária, é comum que seja realizado um levantamento das últimas 12 faturas pagas pelo consumidor, considerando os consumos nos horários de ponta, fora de ponta e intermediário. A análise tarifária deverá considerar a sazonalidade do uso de energia elétrica da unidade, por isso a importância de verificar o perfil da unidade em todos os meses do ano.

2.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Um dos interesses tratados neste estudo é a automatização de processos e implementação de aplicações para agilizar trabalhos. Nesse contexto, existem diversas linguagens de programação e ferramentas computacionais para auxiliar no desenvolvimento de softwares que permitam facilitar a realização das atividades desejadas. Para o desenvolvimento da aplicação web criada para esse trabalho de conclusão de curso, foi empregada a linguagem Python, o framework FLASK, e a ferramenta Bootstrap, que juntas permitiram o desenvolvimento do software de forma a integrar a linguagem de programação com o ambiente web desenvolvido em HTML.

2.4.1 PYTHON

Python é uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objetos, dinâmica e de fácil aprendizado. “O objetivo inicial da linguagem era permitir código enxuto e menos verboso, ou seja, com menos caracteres especiais, menos sintaxes complexas e mais estruturas de código simples”(PAIVA et al., 2020). Essa descrição acerca da linguagem revela um dos motivos pelos quais foi adotada nesta pesquisa. Com a utilização de uma linguagem mais simples e direta, o processo do desenvolvimento permite uma implementação mais perceptível dos elementos teóricos ao longo do código, como as fórmulas e condições estabelecidas nos subtópicos anteriores.

Quando se diz que uma linguagem de programação é de “alto nível”, isso não diz respeito à “qualidade” dessa linguagem ou ao seu potencial para desenvolver programas complexos. Refere-se, na verdade, à sua relação com o sistema e com o desenvolvedor. As linguagens de baixo nível possuem uma maior proximidade com o código da máquina em que são implementadas, tornado assim maior o seu controle sobre os elementos mais básicos do sistema, como por exemplo a alocação de variáveis

em locais específicos da memória da máquina. Um exemplo de linguagem de programação de baixo nível é o Assembly.

As linguagens de alto nível, por sua vez, possuem um grau maior de abstração e contam com elementos que facilitam a escrita e compreensão do código por parte do programador. Esses elementos tornam a linguagem de alto nível mais simples de se aprender e permitem que o desenvolvedor escreva menos linhas de código para implementar certas atividades. Por outro lado, as linguagens de alto nível oferecem um controle e desempenho menor quando comparadas às de baixo nível. São consideradas como linguagens de programação de alto nível o Python, Java, PHP, entre outras.

Para o desenvolvimento do software criado para este trabalho, foi identificado que uma linguagem de alto nível seria ideal, pois permite uma escrita mais simples e direta e suas limitações não afetariam negativamente a obtenção do resultado desejado.

Outra característica da linguagem que foi explorada durante o desenvolvimento do programa foi a orientação a objetos. Esse paradigma é voltado para a criação de classes e objetos, em que uma classe é criada com determinados atributos próprios. Posteriormente são instanciados objetos contendo os atributos dessas classes. Essa funcionalidade foi utilizada principalmente na elaboração dos formulários para preenchimento do usuário (dados de cargas e tarifas, por exemplo).

Existem diversas bibliotecas que podem ser utilizadas em programas feitos em Python e que facilitam o desenvolvimento das aplicações. Para o software desenvolvido, as principais bibliotecas utilizadas foram:

- Flask – Framework para desenvolvimento web em Python;
- pandas – Biblioteca usada para tratamento de dados;
- PyPDF2 – Biblioteca usada para leitura de arquivos do tipo “PDF”;
- XlsxWriter – Biblioteca usada para escrita de arquivos Excel;
- openpyxl – Biblioteca usada para escrita e edição de arquivos Excel.

2.4.2 ELEMENTOS WEB

Para desenvolver o programa de modo que pudesse ser utilizado como uma aplicação web, foi empregado o “micro framework” chamado Flask. Essa ferramenta pode ser utilizada para realizar a integração de códigos escritos em Python com interfaces web desenvolvidas em HTML e CSS. Foi utilizada também a ferramenta Bootstrap, que oferece modelos e classes visuais já prontos para

aplicar nos elementos das páginas criadas com o HTML, facilitando o desenvolvimento e reduzindo a necessidade de trabalhar com CSS.

“O desenvolvimento client-side é baseado em 3 camadas principais: informação, formatação e comportamento”(EIS; FERREIRA, 2012). A partir desse trecho é possível então entender o papel de cada elemento e nomear quais foram as ferramentas utilizadas para preencher cada uma dessas camadas.

A camada da informação está relacionada ao conteúdo acessível pelo usuário na aplicação web e é regida por códigos escritos em HTML. HTML, sigla em inglês para “Linguagem de Marcação de Hipertexto”, foi a linguagem empregada neste trabalho para a criação das páginas presentes na aplicação. No desenvolvimento da aplicação, são criados diferentes arquivos HTML, conectados entre si por meio de hiperlinks ou outros elementos.

A camada da formatação está relacionada à aparência dos elementos visuais da aplicação. Cores, fontes, efeitos visuais ao passar o mouse sobre os botões fazem parte dessa camada, sendo sua implementação, na maioria das vezes, realizada através do CSS. CSS é também uma sigla em inglês, que representa a definição “Folhas de Estilo em Cascata”. O CSS é a ferramenta responsável por atribuir elementos próprios de formatação e estilo visual aos elementos inseridos na página pelos códigos em HTML. Neste trabalho, não houve edição direta em arquivos CSS devido ao uso da ferramenta Bootstrap, que possui modelos visuais já criados que podem ser inseridos facilmente aos elementos criados em HTML.

Por fim, a camada do comportamento está relacionada à natureza dinâmica da aplicação, isto é, à forma como o site irá reagir aos comandos e entradas do usuário. A ferramenta mais comum para utilização nessa camada é o Javascript, que permite que sejam elaborados scripts que se relacionam aos elementos presentes na camada de informação da página. No caso do software desenvolvido para o presente estudo, utilizou-se a linguagem Python nessa camada, empregada por meio do Flask.

Essas camadas e ferramentas permitem o desenvolvimento de uma aplicação web capaz de receber informações do usuário, tratar essas informações e devolver o produto desse tratamento de forma visualmente compreensível e responsiva.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, voltado para a revisão teórica dos conteúdos que foram utilizados no trabalho, foram apresentados os principais elementos que compõem uma fatura de energia, as diferentes

modalidades tarifárias possíveis de serem contratadas no sistema elétrico nacional, para o grupo B, o conceito e a importância da atividade de análise tarifária e algumas ferramentas computacionais que podem ser utilizadas na criação de uma aplicação web.

3.METODOLOGIA

Este capítulo contemplará a metodologia aplicada para o desenvolvimento do software elaborado para o trabalho. Durante o capítulo, serão empregadas diversas das informações introduzidas anteriormente na Revisão Teórica, exibindo as maneiras como foram empregadas as equações apresentadas e como foram implementadas as análises entre as modalidades para o grupo B de consumidores.

3.1 ESTRUTURA GERAL DO CÓDIGO

O código desenvolvido para a criação da aplicação foi construído de forma segmentada, a fim de obter um maior grau de organização e permitir que diferentes partes possam ser tratadas separadamente do todo, facilitando o processo de desenvolvimento e correção de erros.

No primeiro diretório, representado pelo número 1 na Figura 1, são salvos os arquivos enviados pelo usuário para a realização das análises e os arquivos de resultados gerados pelo programa a serem encaminhados de volta ao usuário. Os arquivos destinados a esse diretório são temporários, sendo automaticamente excluídos após alcançarem seus propósitos (obter os dados enviados pelo usuário ou devolver os resultados).

O diretório representado pelo número 2, por sua vez, contém os códigos em Python que realizam o tratamento de dados, fazem a análise relativa às cargas inseridas pelo usuário no programa e geram a planilha final de resultados para esse modelo de análise. Esse componente é dividido em três arquivos principais. O arquivo “tratar_cargas.py” é responsável por receber os dados de entrada do usuário e verificar se houve algum valor inserido de forma incorreta, como por exemplo o preenchimento de um valor não inteiro para o número de dias de funcionamento. No arquivo “planilha_cargas.py” são estruturados os valores de entrada para a inserção no arquivo de resultados, sendo subdividido em diversas funções relativas às planilhas presentes no resultado final. Por fim, o arquivo “estilos_cargas.py” é responsável por formatar os aspectos visuais das planilhas, como os títulos de tabelas, células mescladas, unidades de medida em frente aos números, quantidade de casas decimais exibidas, posicionamento das informações na planilha, entre outros fatores.

Figura 1 apresenta os principais elementos do código, os quais serão detalhados em sequência.

No primeiro diretório, representado pelo número 1 na Figura 1, são salvos os arquivos enviados pelo usuário para a realização das análises e os arquivos de resultados gerados pelo programa a serem encaminhados de volta ao usuário. Os arquivos destinados a esse diretório são temporários, sendo automaticamente excluídos após alcançarem seus propósitos (obter os dados enviados pelo usuário ou devolver os resultados).

O diretório representado pelo número 2, por sua vez, contém os códigos em Python que realizam o tratamento de dados, fazem a análise relativa às cargas inseridas pelo usuário no programa e geram a planilha final de resultados para esse modelo de análise. Esse componente é dividido em três arquivos principais. O arquivo “tratar_cargas.py” é responsável por receber os dados de entrada do usuário e verificar se houve algum valor inserido de forma incorreta, como por exemplo o preenchimento de um valor não inteiro para o número de dias de funcionamento. No arquivo “planilha_cargas.py” são estruturados os valores de entrada para a inserção no arquivo de resultados, sendo subdividido em diversas funções² relativas às planilhas presentes no resultado final. Por fim, o arquivo “estilos_cargas.py” é responsável por formatar os aspectos visuais das planilhas, como os títulos de tabelas, células mescladas, unidades de medida em frente aos números, quantidade de casas decimais exibidas, posicionamento das informações na planilha, entre outros fatores.

Figura 1: Componentes que compõem o código

Fonte: Próprio autor

O diretório de número 3 possui uma construção semelhante ao de número 2. Esse diretório contém os códigos voltados para o modelo de análise por fatura de energia. O arquivo “tratar_fatura.py” é responsável por ler e armazenar os dados presentes na fatura enviada em formato “PDF” e por realizar a análise das informações coletadas. Nesse arquivo se encontram funções que realizam os cálculos para a análise da demanda, do consumo de energia ativa e do uso de energia reativa. No arquivo “planilha_fatura.py” são inseridas as planilhas com os resultados das análises no arquivo de resultados. Como essa análise gera uma maior quantidade de gráficos que possuem um número de elementos mais extenso, foi criado também o arquivo “graficos.py”, em que são construídos os

gráficos com os dados da análise. O arquivo “estilos_fatura.py” possui o mesmo propósito do arquivo “estilos_cargas.py”, comentado no parágrafo anterior.

O diretório de número 4 possui somente o arquivo “tratar_tarifas.py”, que tem como função verificar se os dados de entrada são válidos e então registrar os dados inseridos pelo usuário. Os dados registrados por esse arquivo são utilizados em ambas as análises realizadas pelo *software*.

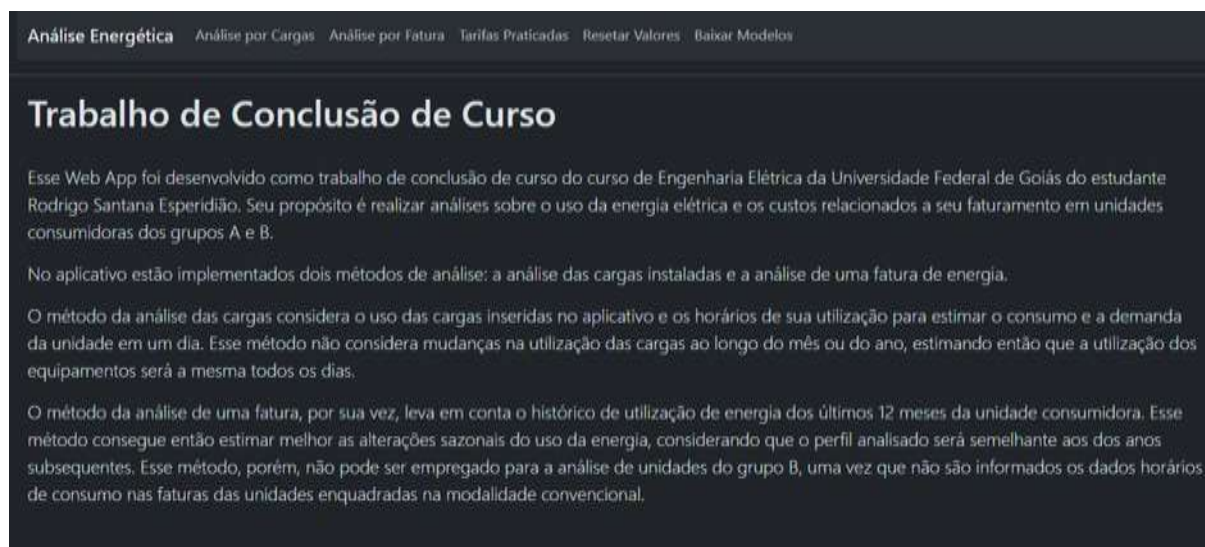
Os arquivos presentes no diretório “*templates*”, marcado pelo número 5, são os arquivos HTML responsáveis pela criação das páginas da aplicação *web*. O arquivo “cargas.html”, por exemplo, possui os formulários de preenchimento de dados, a tabela de cargas, o campo para carregar cargas e o espaço para nomear e salvar o arquivo de resultados. Nos arquivos desse diretório foram utilizadas as classes do *Bootstrap*, que permitiram aos elementos das páginas (formulários, botões, textos, entre outros) terem um aspecto visual padronizado e agradável ao usuário. A pasta “*Elements*”, que consta do diretório, contém alguns outros arquivos HTML, aplicados dentro dos arquivos principais, como por exemplo a barra de navegação, presente em todas as páginas da aplicação. Essa divisão foi feita para facilitar a edição desses elementos sem interferir em outros elementos das páginas.

O arquivo “forms.py”, marcado pelo número 6, contém as estruturas dos formulários que são apresentados ao usuário dentro das páginas do *software*. Nesse arquivo são definidas as informações que deverão ser fornecidas pelo usuário e que os arquivos em HTML irão acessar para apresentar visualmente nas páginas da aplicação. Na criação dos formulários são também implementados alguns elementos de verificação, para que o usuário seja alertado caso preencha algum dado incorretamente, como tentar inserir um texto em um campo destinado a números, por exemplo.

Por fim, o arquivo número 7, “main.py”, é o arquivo principal a partir do qual todos os outros elementos serão chamados. Por meio desse arquivo, a ferramenta *Flask* faz a integração dos arquivos *Python* com as páginas em HTML. Nesse arquivo são estabelecidas as rotas para as diferentes páginas do *software*, que são referenciadas na barra de navegação para permitir a navegação entre as interfaces da aplicação. São também inseridas as ações que são chamadas após pressionar certos botões nas páginas, como por exemplo registrar valores, adicionar cargas, carregar dados e salvar arquivos.

3.2 PANORAMA GERAL DO SOFTWARE

Será agora explicado o panorama geral do *software* e seus elementos básicos. Na Figura 2 é possível visualizar a interface inicial do programa e alguns de seus recursos de navegação.

Figura 2: Interface inicial do *software*

Fonte: Próprio autor

Na página inicial da aplicação é possível ver a barra de navegação superior com os elementos que levam às demais interfaces do programa. Os *links* levam às páginas de “Análise por Cargas”, “Análise por Fatura” e “Tarifas Praticadas”.

Os dois últimos botões realizam ações que não estão relacionadas a uma página em específico. O botão “Resetar Variáveis” tem como função redefinir os valores já inseridos, caso se deseje aplicar novos valores para as análises, enquanto o botão “Baixar Modelos” é responsável por baixar os arquivos de base que possuem as configurações e formatações adequadas para ser utilizados nas funções “Carregar Tarifas” e “Carregar Cargas”, que serão explicadas posteriormente. É importante ressaltar que, embora o *software* tenha sido desenvolvido para os grupos A e B, por questões de limitação de espaço, os resultados aqui mostrados serão referentes somente ao grupo B.

Ao longo deste capítulo será tratada cada interface, detalhando seus respectivos propósitos e funcionamentos.

3.3 TARIFAS PRATICADAS

A página de “Tarifas Praticadas” é o lugar em que são inseridos valores referentes às tarifas que serão aplicadas nas análises realizadas pelo programa. Como as análises são feitas entre consumidores de um mesmo grupo, a primeira informação a ser inserida na página é o grupo ao qual pertence o consumidor. A figura 3 apresenta o formulário de preenchimento de tarifas para o grupo B.

Figura 3: Interface de preenchimento de dados de tarifas para consumidor do grupo B

Fonte: Próprio autor

Para o caso de o usuário desejar inserir um valor recorrente de tarifas, é possível utilizar a funcionalidade “Carregar Tarifas”, observada ao final da página. Essa funcionalidade permite que o usuário faça o envio de uma planilha *Excel* para o programa com os valores desejados das tarifas. Para o uso dessa funcionalidade, a planilha enviada deverá ser preenchida a partir do modelo disponibilizado pela opção “Baixar Modelos”. Esse recurso então pode ser usado para agilizar o preenchimento dos dados de tarifas praticadas. A Figura 5 ilustra o modelo disponível para *download* pelo programa. Para a análise realizada neste capítulo serão consideradas as tarifas Convencional e Branca.

O tratamento desses dados, realizado pelo programa após o registro das informações, consiste apenas na alocação dos valores inseridos em uma variável do tipo dicionário, que será acessada posteriormente no momento da análise.

Figura 4: Modelo de planilha para envio na página “Tarifas Praticadas”

Os valores das tarifas de consumo são dados em R\$/kWh e os das tarifas de demanda são dados em R\$/kW.

Convencional		
Tipo	Horário	Valor
Consumo	-	0,71063

Branca		
Tipo	Horário	Valor
Consumo	Fora Ponta	0,57436
Consumo	Intermediário	0,90194
Consumo	Ponta	1,38205

Verde		
Tipo	Horário	Valor
Consumo	Fora Ponta	0,466663
Consumo	Ponta	2,538583
Demanda	-	32,127528

Azul		
Tipo	Horário	Valor
Consumo	Fora Ponta	0,466663
Consumo	Ponta	0,660982
Demanda	Fora Ponta	32,127528
Demanda	Ponta	77,516261

Reativo (TE Subgrupo B1)		
Tipo	Horário	Valor
Reativo	-	0,35967

Fonte: Próprio autor

3.4. ANÁLISE POR CARGAS

A primeira análise implementada foi inserida na página “Análise por Cargas”. Essa análise é realizada sobre as informações que o usuário fornece ao programa a respeito das cargas instaladas no estabelecimento. Para a geração dos resultados, deve ser informado o nome de identificação, potência em kW, o fator de potência e seu tipo (indutivo ou capacitivo), a quantidade, se a carga é utilizada em um dia útil, sábado ou domingo e o horário de funcionamento de cada carga. Além disso, deve ser também informado o início do horário de ponta, em horas, o número de dias úteis, sábados e domingos em que as cargas operam durante o mês. Na Figura 6 são mostrados os campos de preenchimento das informações usadas na análise.

Após inserir as informações no campo “Adicionar Cargas”, é possível visualizá-las em uma tabela abaixo do campo de preenchimento, sendo permitido remover eventuais adições que foram feitas de forma incorreta, como mostra a Figura 6.

Figura 5: Interface de preenchimento da página "Análise por Cargas"

Adicionar Cargas

Nome do equipamento

Potência (kW)

Fator de potência

1

Indutivo

Quantidade

1

Dias de Uso

Dias Úteis

Horário de funcionamento

Início

00:00

Fim

00:00

Adicionar

Parâmetros da Análise

Início do horário de ponta

18.0

Nº de dias úteis

22

Nº de sábados

4

Nº de domingos

4

Registrar

Fonte: Próprio autor

Figura 6: Tabela de cargas exibida na página "Análise por Cargas"

Carga	Potência	FP	FP - Tipo	Quantidade	Início	Fim	Remover
Carga1	150	0.33	Capacitivo	1	00:00	01:00	Remover
Carga2	130	0.29	Capacitivo	1	01:00	02:00	Remover
Carga3	130	0.29	Capacitivo	1	02:00	03:00	Remover
Carga4	140	0.96	Capacitivo	1	03:00	04:00	Remover
Carga5	130	0.95	Capacitivo	1	04:00	05:00	Remover
Carga6	150	0.96	Capacitivo	1	05:00	06:00	Remover
Carga7	1000	0.67	Indutivo	1	06:00	07:00	Remover
Carga8	1700	0.88	Indutivo	1	07:00	08:00	Remover
Carga9	2000	0.9	Indutivo	1	08:00	09:00	Remover
Carga10	2300	0.94	Indutivo	1	09:00	10:00	Remover
Carga11	1800	0.9	Indutivo	1	10:00	11:00	Remover
Carga12	1900	0.88	Indutivo	1	11:00	12:00	Remover

Fonte: Próprio autor

De modo semelhante à funcionalidade “Carregar Tarifas”, presente na página “Tarifas Aplicadas”, há a funcionalidade “Carregar Cargas”, que permite que o usuário envie uma planilha *Excel* contendo as informações das cargas da instalação sem precisar adicioná-las de modo individual. Assim como é feito para o caso das tarifas, o arquivo a ser utilizado na funcionalidade “Carregar Cargas” deverá ser preenchido a partir do modelo obtido ao pressionar o botão “Baixar Modelos”.

Após preenchidos os dados, o usuário poderá nomear a planilha de análise que será gerada e salvar o arquivo na opção “Salvar Análise”. Essa opção irá enviar os dados registrados para a rotina do programa que realiza a análise e gera o arquivo com os resultados.

O arquivo gerado é separado em cinco planilhas. A primeira planilha, relativa aos dados das cargas inseridas, é somente uma apresentação das informações preenchidas pelo usuário no aplicativo. Essa planilha possui o propósito de, além de expor quais foram os elementos analisados, permitir que seja submetida na funcionalidade de “Carregar Cargas” do programa, caso se deseje realizar alguma alteração. Para exemplificar os resultados com valores coerentes, foram aplicadas as cargas mostradas na Figura 7, modelando uma UC residencial com poucas cargas consideradas para facilitar a visualização.

Figura 7: Planilha de cargas com cargas de exemplo para análise de consumidor do grupo B

Carga	Potência (kW)	FP	FP - Tipo	Início	Fim	Quantidade	Dias de
Iluminação	0,15	1	Indutivo	18:30	23:00	1	Dias Úteis
Chuveiro 1	5	1	Indutivo	06:00	07:00	1	Dias Úteis
Chuveiro 2	5	1	Indutivo	17:00	18:00	1	Dias Úteis
Ar condicionado 1	1,1	1	Indutivo	00:00	05:30	1	Dias Úteis
Ar condicionado 2	1,1	1	Indutivo	21:30	23:59	1	Dias Úteis
Televisão 1	0,2	1	Indutivo	17:00	21:00	1	Dias Úteis
Televisão 2	0,2	1	Indutivo	12:00	13:00	1	Dias Úteis
Máquina de lavar	0,6	1	Indutivo	07:00	11:00	1	Dias Úteis
Freezer	0,12	1	Indutivo	00:00	23:59	1	Dias Úteis
Geladeira	0,1	1	Indutivo	00:00	23:59	1	Dias Úteis

Fonte: Próprio autor

A próxima planilha, denominada como “Consumo por carga”, apresenta qual foi o consumo de energia ativa, em kWh, de cada carga ao longo de um dia. Os consumos são apresentados de acordo com os postos tarifários. No caso da análise para consumidores do grupo B, são exibidos os consumos relativos ao posto tarifário ponta, fora ponta e intermediário, informando a quantidade de horas em atividade para cada posto. Na Figura 8 é possível observar os resultados de cada carga, ainda referentes às cargas exemplificadas na Figura 7.

Figura 8: Planilha de Consumo por carga para consumidor do grupo B

Carga	Potência (kW)	Horas de Utilização Diária				Consumo Diário Típico (kWh)			
		H - Ponta	H - Intermediário	H - Fora Ponta	Total - H	C - Ponta	C - Intermediário	C - Fora Ponta	Total - C
Iluminação	0,15	2,5	1	1	4,5	0,375	0,15	0,15	0,675
Chuveiro 1	5	0	0	1	1	0	0	5	5
Chuveiro 2	5	0	1	0	1	0	5	0	5
Ar condicionado 1	1,1	0	0	5,5	5,5	0	0	6,05	6,05
Ar condicionado 2	1,1	0	0,5	1,983333333	2,483333333	0	0,55	2,181666667	2,731666667
Televisão 1	0,2	3	1	0	4	0,6	0,2	0	0,8
Televisão 2	0,2	0	0	1	1	0	0	0,2	0,2
Máquina de lavar	0,6	0	0	4	4	0	0	2,4	2,4
Freezer	0,12	3	2	18,98333333	23,98333333	0,36	0,24	2,278	2,878
Geladeira	0,1	3	2	18,98333333	23,98333333	0,3	0,2	1,898333333	2,398333333

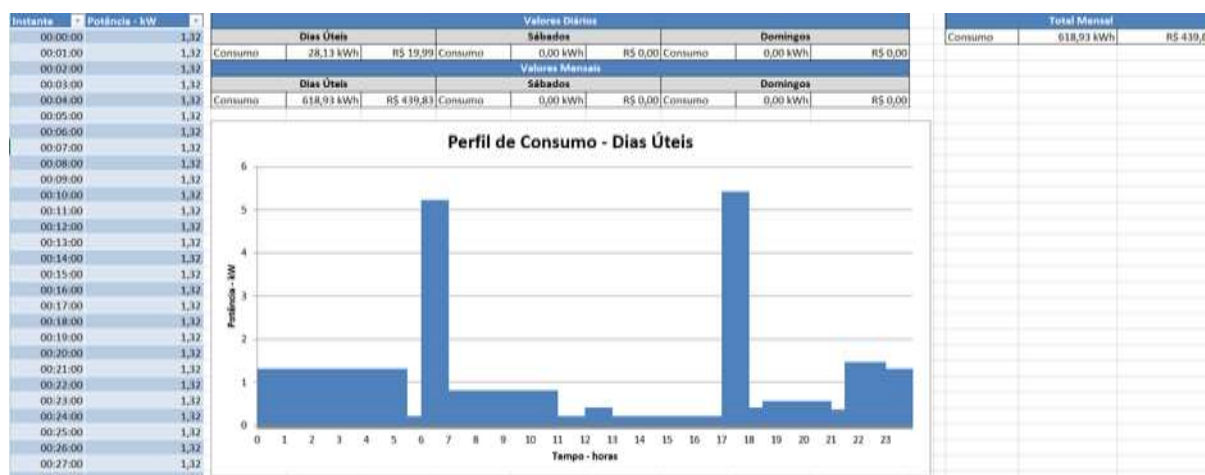
Fonte: Próprio autor

Para atingir os resultados apresentados na Figura 9, multiplicou-se a potência associada à carga pelo seu tempo de uso durante os respectivos postos tarifários. Foi obtido, assim, o valor de consumo em kWh. Essa apresentação é importante para que seja possível identificar separadamente o impacto de cada carga sobre o consumo total da instalação e quais as cargas com maior presença nos horários em que o custo da energia é mais elevado.

Nas duas planilhas seguintes são mostradas a curva de carga diária da unidade e os custos estimados com a energia durante um dia e durante um mês, sendo separado entre dias úteis, sábados e domingos. Os gráficos são construídos de acordo com soma das potências das cargas de minuto em minuto. Na aba “Consumo – Convencional”, é exibida a estimativa de custos para o caso da aplicação da modalidade tarifária convencional, em que não há segmentação horária. O valor estimado foi calculado com o uso da equação (1), sendo a energia ativa utilizada na equação a junção dos valores calculados na planilha “Consumo por carga”. Quando há inserção de cargas nos sábados e domingos, são também gerados gráficos separados para esses dias.

Na Figura 10 é possível ver os resultados para o consumidor da modalidade convencional. A tabela inserida à esquerda da planilha contém os dados de horário e potência usados para a construção do gráfico.

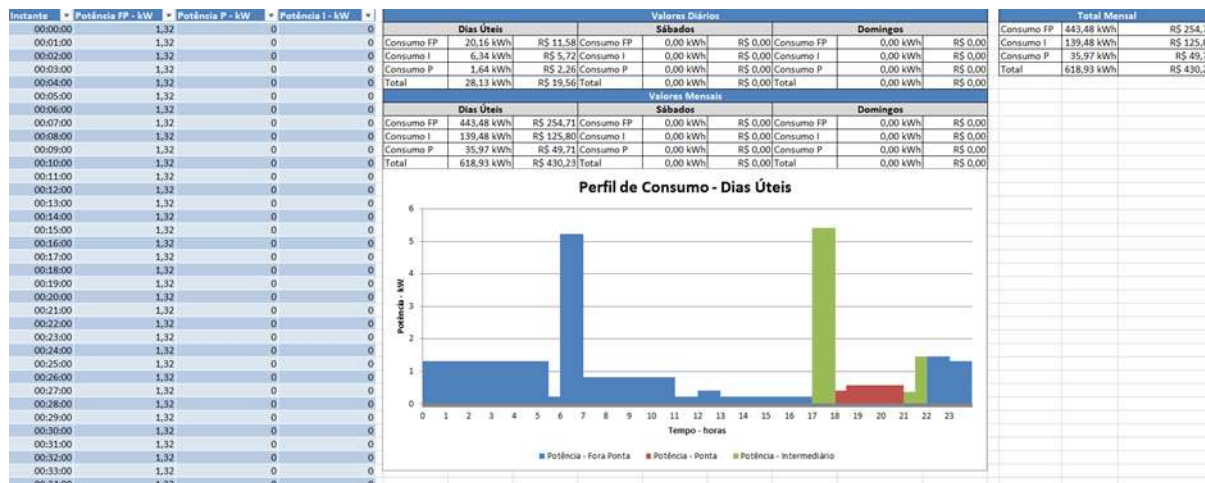
Figura 9: Planilha de análise de consumo na modalidade convencional



Fonte: Próprio autor

De maneira semelhante, é formada a planilha relativa à modalidade tarifária branca, que por sua vez possui a separação de valores e do gráfico para abranger os diferentes postos tarifários. Na Figura 10, em que é mostrada a planilha “Consumo – Branca”, é possível identificar os demais elementos que não constam na análise para a modalidade convencional.

Figura 10: Planilha de análise de consumo na modalidade branca



Fonte: Próprio autor

Na Figura 10 pode-se observar no gráfico a separação dos postos tarifários por cores distintas, para melhor visualização.

Por fim, a planilha “Comparativo” exhibe as diferenças encontradas nas duas análises, permitindo ao leitor identificar qual das modalidades apresenta uma estimativa de menor custo para seu perfil de

consumo. Na Figura 11 é possível ver a tabela com os valores obtidos e o gráfico que apresenta a diferença encontrada nas modalidades.

Figura 11: Planilha de comparativo para consumidores do grupo B



Fonte: Próprio autor

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo foram apresentadas a estrutura geral do código do programa, as interfaces da aplicação e suas funcionalidades, os dois modelos de análise trabalhados e a composição dos arquivos de resultados. As equações descritas no capítulo 2 serviram de base para o desenvolvimento das análises juntamente com as particularidades estudadas.

4. ESTUDO DE CASO

Para a validação dos resultados gerados a partir do programa, foram realizados estudos utilizando dados de diferentes fontes que trabalham o tema. No estudo, foram aplicados ao *software* os mesmos dados analisados nos modelos de referência e, posteriormente, comparados os resultados.

Visando a uma melhor compreensão dos estudos, foram feitas divisões em tópicos, considerando a comparação entre a modalidade convencional e a modalidade horária branca, por meio do método de análise por cargas.

Para o estudo desse caso, foi usado como referência o trabalho de (CÂMARA, 2019), em que é detalhado o desenvolvimento e funcionamento de um ambiente de simulação para verificar a viabilidade da adesão à tarifa branca.

No trabalho de referência, são apresentados diferentes cenários, em que são informados os equipamentos utilizados juntamente com suas respectivas potências e tempos de utilização. Nos casos foram considerados 21 dias úteis e 9 dias de final de semana (sábados e domingos). O trabalho considerou também que não houve variação do perfil de consumo em cada caso ao longo da semana, ou seja, o consumo durante dias úteis é igual ao consumo nos finais de semana.

O horário de ponta estipulado para a análise se inicia às 19 horas, seguindo até as 22 horas. Dessa forma, os períodos do horário intermediário se encontram entre 18 e 19 horas e entre 22 e 23 horas.

Foi definido o estudo do Caso B apresentado no trabalho, que representa um perfil residencial. “O segundo caso, denominado Caso B, trata-se de um perfil residencial. Nesta residência moram quatro pessoas: uma pessoa trabalha em horários alternativos, dois são estudantes e a outra pessoa trabalha em casa realizando serviços domésticos.” (CÂMARA, 2019). Nas figuras 42 e 43 são mostrados os equipamentos com suas potências e seus horários de utilização, respectivamente.

Figura 12: Equipamentos do caso B

Nome	Potência Nominal	Classificação
Aspirador de Pó	300	F
Cafeteira	500	F
Chuveiro Elétrico	4000	F
Depurador de ar	230	II
Exaustor	150	II
Ferro Elétrico	1000	F
Forno Elétrico	620	II
Forno Microondas	900	F
Freezer	150	R
Geladeira Duple	250	R
Máquina lava-roupas	500	F
Panela Elétrica	600	II
Sanduicheira	800	II
Televisor	150	II

Fonte: (CÂMARA, 2019)

Figura 13: Horários de utilização do caso B

	A	B	C
1	Equipamento	Início Uso	Final Uso
2	Lampada LED	06:00	07:10
3	Forno Microondas	06:15	07:20
4	Lampada LED	08:30	09:30
5	Máquina lava-roupas	09:00	10:30
6	Aspirador de Pó	09:10	09:25
7	Televisor	11:00	13:20
8	Depurador de ar	11:30	12:10
9	Panela Elétrica	11:30	12:05
10	Forno Microondas	12:30	12:35
11	Ferro Elétrico	15:00	15:35
12	Forno Elétrico	16:00	17:00
13	Chuveiro Elétrico	17:05	17:15
14	Chuveiro Elétrico	18:00	18:10
15	Chuveiro Elétrico	18:30	18:35
16	Chuveiro Elétrico	22:30	22:38
17	Lampada LED	18:00	23:00
18	Lampada LED	17:05	18:35
19	Lampada LED	22:25	22:45
20	Lampada LED	22:00	22:30
21	Sanduicheira	20:40	20:45
22	Geladeira Duple	00:00	23:59
23	Freezer	00:00	23:59
24			
25			
26			

Fonte: (CÂMARA, 2019)

Na organização dos dados de modo adequado para a interpretação do programa, foi necessário preencher as rotinas para os dias úteis, sábados e domingos. Na Figura 44 é possível ver parte da disposição das cargas no Excel.

Figura 13: Parte da disposição das cargas no Excel para análise do *software*

Carga	Potência (kW)	FP	FP - Tipo	Início	Fim	Quantia	Dias de
Lâmpada LED 1 - DU	0,01	1	Indutivo	06:00	07:00	1	Dias Úteis
Microondas 1 - DU	0,9	1	Indutivo	06:15	07:20	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 2 - DU	0,01	1	Indutivo	08:30	09:30	1	Dias Úteis
Máquina lava-roupas - DU	0,5	1	Indutivo	09:00	10:30	1	Dias Úteis
Aspirador de pó - DU	0,3	1	Indutivo	09:10	09:25	1	Dias Úteis
Televisor - DU	0,15	1	Indutivo	11:00	13:20	1	Dias Úteis
Depurador de ar - DU	0,23	1	Indutivo	11:30	12:10	1	Dias Úteis
Panela Elétrica - DU	0,6	1	Indutivo	11:30	12:05	1	Dias Úteis
Microondas 2 - DU	0,9	1	Indutivo	12:30	12:35	1	Dias Úteis
Ferro elétrico - DU	1	1	Indutivo	15:00	15:35	1	Dias Úteis
Forno elétrico - DU	0,62	1	Indutivo	16:00	17:00	1	Dias Úteis
Chuveiro elétrico 1 - DU	4	1	Indutivo	17:05	17:15	1	Dias Úteis
Chuveiro elétrico 2 - DU	4	1	Indutivo	18:00	18:10	1	Dias Úteis
Chuveiro elétrico 3 - DU	4	1	Indutivo	18:30	18:35	1	Dias Úteis
Chuveiro elétrico 4 - DU	4	1	Indutivo	22:30	22:38	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 3 - DU	0,01	1	Indutivo	18:00	23:00	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 4 - DU	0,01	1	Indutivo	17:05	18:35	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 5 - DU	0,01	1	Indutivo	22:25	22:45	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 6 - DU	0,01	1	Indutivo	22:00	22:30	1	Dias Úteis
Sanducheira - DU	0,8	1	Indutivo	20:40	20:45	1	Dias Úteis
Geladeira Duplex - DU	0,25	1	Indutivo	00:00	23:59	1	Dias Úteis
Freezer - DU	0,15	1	Indutivo	00:00	23:59	1	Dias Úteis
Lâmpada LED 1 - S	0,01	1	Indutivo	06:00	07:00	1	Sábados
Microondas 1 - S	0,9	1	Indutivo	06:15	07:20	1	Sábados
Lâmpada LED 2 - S	0,01	1	Indutivo	08:30	09:30	1	Sábados
Máquina lava-roupas - S	0,5	1	Indutivo	09:00	10:30	1	Sábados
Aspirador de pó - S	0,3	1	Indutivo	09:10	09:25	1	Sábados
Televisor - S	0,15	1	Indutivo	11:00	13:20	1	Sábados
Depurador de ar - S	0,23	1	Indutivo	11:30	12:10	1	Sábados

Fonte: Próprio autor

Quando carregadas as cargas no programa, sua visualização, por meio das abas com os respectivos dias (dias úteis, sábados e domingos), fica mais coerente, como é possível ver nas figuras 45 a 47.

Figura 45: Visualização das cargas usadas nos dias úteis dentro do programa

Dias Úteis Sábados Domingos

Carga	Potência (kW)	FP	FP - Tipo	Quantidade	Início	Fim	Remover
Lâmpada LED 1 - DU	0.01	1	Indutivo	1	06:00	07:00	Remover
Microondas 1 - DU	0.9	1	Indutivo	1	06:15	07:20	Remover
Lâmpada LED 2 - DU	0.01	1	Indutivo	1	08:30	09:30	Remover
Máquina lava-roupas - DU	0.5	1	Indutivo	1	09:00	10:30	Remover
Aspirador de pó - DU	0.3	1	Indutivo	1	09:10	09:25	Remover
Televisor - DU	0.15	1	Indutivo	1	11:00	13:20	Remover
Depurador de ar - DU	0.23	1	Indutivo	1	11:30	12:10	Remover
Panela Elétrica - DU	0.6	1	Indutivo	1	11:30	12:05	Remover
Microondas 2 - DU	0.9	1	Indutivo	1	12:30	12:35	Remover

Fonte: Próprio autor

Figura 15: Visualização das cargas usadas nos sábados dentro do programa

Dias ÚteisSábadosDomingos

Carga	Potência (kW)	FP	FP - Tipo	Quantidade	Início	Fim	Remover
Lâmpada LED 1 - S	0.01	1	Indutivo	1	06:00	07:00	Remover
Microondas 1 - S	0.9	1	Indutivo	1	06:15	07:20	Remover
Lâmpada LED 2 - S	0.01	1	Indutivo	1	08:30	09:30	Remover
Máquina lava-roupas - S	0.5	1	Indutivo	1	09:00	10:30	Remover
Aspirador de pó - S	0.3	1	Indutivo	1	09:10	09:25	Remover
Televisor - S	0.15	1	Indutivo	1	11:00	13:20	Remover
Depurador de ar - S	0.23	1	Indutivo	1	11:30	12:10	Remover
Panela Elétrica - S	0.6	1	Indutivo	1	11:30	12:05	Remover
Microondas 2 - S	0.9	1	Indutivo	1	12:30	12:35	Remover

Fonte: Próprio autor

Figura 14: Visualização das cargas usadas nos domingos dentro do programa

Dias ÚteisSábadosDomingos

Carga	Potência (kW)	FP	FP - Tipo	Quantidade	Início	Fim	Remover
Lâmpada LED 1 - D	0.01	1	Indutivo	1	06:00	07:00	Remover
Microondas 1 - D	0.9	1	Indutivo	1	06:15	07:20	Remover
Lâmpada LED 2 - D	0.01	1	Indutivo	1	08:30	09:30	Remover
Máquina lava-roupas - D	0.5	1	Indutivo	1	09:00	10:30	Remover
Aspirador de pó - D	0.3	1	Indutivo	1	09:10	09:25	Remover
Televisor - D	0.15	1	Indutivo	1	11:00	13:20	Remover
Depurador de ar - D	0.23	1	Indutivo	1	11:30	12:10	Remover
Panela Elétrica - D	0.6	1	Indutivo	1	11:30	12:05	Remover
Microondas 2 - D	0.9	1	Indutivo	1	12:30	12:35	Remover

Fonte: Próprio autor

Para o preenchimento das tarifas, foram utilizados os mesmos valores aplicados no estudo de referência, seguindo os dados mostrados na Figura 48.

Figura 15: Tarifas aplicadas para a análise

1	Tarifa Convencional	Tarifa Fora de Ponta	Tarifa Intermediária	Tarifa Ponta
2	R\$ 0,54760	R\$ 0,47457	R\$ 0,64236	R\$ 0,98699
3				
4				

Equipamentos Utilização **Tarifas** (+)

Fonte: (CÂMARA, 2019)

O primeiro resultado a ser analisado é o consumo referente a cada carga. Na Figura 49 são mostrados os resultados obtidos na simulação do trabalho de referência.

Figura 18: Resultados da simulação do trabalho de referência

Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 1.167 horas	Consumo:0.012 kWh
Equipamento: Forno Microondas	Tempo de uso: 1.083 horas	Consumo:0.975 kWh
Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 1.000 horas	Consumo:0.010 kWh
Equipamento: Máquina lava-roupas	Tempo de uso: 1.500 horas	Consumo:0.750 kWh
Equipamento: Aspirador de Pó	Tempo de uso: 0.250 horas	Consumo:0.075 kWh
Equipamento: Televisor	Tempo de uso: 2.333 horas	Consumo:0.350 kWh
Equipamento: Depurador de ar	Tempo de uso: 0.667 horas	Consumo:0.153 kWh
Equipamento: Panela Elétrica	Tempo de uso: 0.583 horas	Consumo:0.350 kWh
Equipamento: Forno Microondas	Tempo de uso: 0.083 horas	Consumo:0.075 kWh
Equipamento: Ferro Elétrico	Tempo de uso: 0.583 horas	Consumo:0.583 kWh
Equipamento: Forno Elétrico	Tempo de uso: 1.000 horas	Consumo:0.620 kWh
Equipamento: Chuveiro Elétrico	Tempo de uso: 0.167 horas	Consumo:0.667 kWh
Equipamento: Chuveiro Elétrico	Tempo de uso: 0.167 horas	Consumo:0.667 kWh
Equipamento: Chuveiro Elétrico	Tempo de uso: 0.083 horas	Consumo:0.333 kWh
Equipamento: Chuveiro Elétrico	Tempo de uso: 0.133 horas	Consumo:0.533 kWh
Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 5.000 horas	Consumo:0.050 kWh
Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 1.500 horas	Consumo:0.015 kWh
Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 0.333 horas	Consumo:0.003 kWh
Equipamento: Lampada LED	Tempo de uso: 0.500 horas	Consumo:0.005 kWh
Equipamento: Sanduicheira	Tempo de uso: 0.083 horas	Consumo:0.067 kWh
Equipamento: Geladeira Duplex	Tempo de uso: 23.983 horas	Consumo:5.996 kWh
Equipamento: Freezer	Tempo de uso: 23.983 horas	Consumo:3.598 kWh

Consumo Mensal: 476.6 kWh

Valor mensal Tarifa Convencional: R\$260.99 reais
 Valor mensal Tarifa Branca: R\$252.86 reais
 O percentual de Economia é de 3.1%

Fonte: (CÂMARA, 2019)

Na simulação desenvolvida pela autora do trabalho tomado como referência, não há a separação dos consumos nos postos tarifários de ponta, intermediário e fora ponta, sendo apresentado apenas o consumo diário total de cada equipamento e seus respectivos tempos de uso.

Para a comparação dos resultados, foram utilizados os valores apresentados na planilha “Consumo por Carga”, presente no arquivo final gerado na análise do programa. Para facilitar a visualização, serão apresentados somente os valores relativos aos dias úteis, uma vez que os demais dias possuem as

mesmas características, sendo a única diferença a ausência de consumo nos postos intermediários e ponta. Como não é possível verificar os consumos separadamente nos postos tarifários, foram ocultadas as colunas de horas de utilização e consumo dos respectivos horários, mantendo apenas os resultados totais. Os resultados para comparação são exibidos na Figura 50.

Figura 16: Resultados da planilha "Consumo por Carga"

Carga	Potência (kW)	Utilização Diária	Consumo Diário (kWh)
		Total - H	Total - C
Lâmpada LED 1 - DU	0,01	1,166666667	0,011666667
Microondas 1 - DU	0,9	1,083333333	0,975
Lâmpada LED 2 - DU	0,01	1	0,01
Máquina lava-roupas - DU	0,5	1,5	0,75
Aspirador de pó - DU	0,3	0,25	0,075
Televisor - DU	0,15	2,333333333	0,35
Depurador de ar - DU	0,23	0,666666667	0,153333333
Panela Elétrica - DU	0,6	0,583333333	0,35
Microondas 2 - DU	0,9	0,083333333	0,075
Ferro elétrico - DU	1	0,583333333	0,583333333
Forno elétrico - DU	0,62	1	0,62
Chuveiro elétrico 1 - DU	4	0,166666667	0,666666667
Chuveiro elétrico 2 - DU	4	0,166666667	0,666666667
Chuveiro elétrico 3 - DU	4	0,083333333	0,333333333
Chuveiro elétrico 4 - DU	4	0,133333333	0,533333333
Lâmpada LED 3 - DU	0,01	5	0,05
Lâmpada LED 4 - DU	0,01	1,5	0,015
Lâmpada LED 5 - DU	0,01	0,333333333	0,003333333
Lâmpada LED 6 - DU	0,01	0,5	0,005
Sandueira - DU	0,8	0,083333333	0,066666667
Geladeira Duplex - DU	0,25	23,98333333	5,995833333
Freezer - DU	0,15	23,98333333	3,5975

Fonte: Próprio autor

Comparando os resultados das duas simulações, é possível identificar que as diferenças encontradas são somente devidas ao arredondamento de valores.

Em sequência, o próximo elemento a ser comparado são os resultados do consumo mensal calculado e dos valores mensais para as respectivas modalidades tarifárias. As figuras 51 e 52 mostram os resultados mensais gerados pela aplicação para a modalidade convencional e para a modalidade horária branca, respectivamente.

Figura 17: Resultado mensal para modalidade tarifária convencional

Total Mensal		
Consumo	476,59 kWh	R\$ 260,98

Fonte: Próprio autor

Figura 18: Resultado mensal para modalidade tarifária horária branca

Total Mensal		
Consumo FP	399,64 kWh	R\$ 189,66
Consumo I	49,72 kWh	R\$ 31,94
Consumo P	27,23 kWh	R\$ 26,88
Total	476,59 kWh	R\$ 248,47

Fonte: Próprio autor

A partir desses resultados, foi feita a comparação dos valores calculados na simulação com os obtidos no trabalho de referência. A Tabela 1 ilustra os valores e as diferenças encontradas.

Tabela 1: Comparação de resultados para análise de cargas de UC do grupo B

	Convencional		Branca	
	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Referência	476,59	260,99	476,59	252,86
Software	476,60	260,98	476,60	248,47
Diferença	0,01	0,01	0,01	4,39
Diferença (%)	0,00	0,00	0,00	1,74

Fonte: Próprio autor

Primeiramente, é possível verificar que o consumo total mensal calculado na simulação está de acordo com o valor de referência, diferindo apenas devido a arredondamentos. Da mesma forma se dá o custo total mensal associado à modalidade tarifária convencional.

O resultado do custo da modalidade tarifária horária branca, por sua vez, apresenta uma diferença de R\$ 4,39. Essa diferença possivelmente está associada aos arredondamentos aplicados na simulação de referência juntamente com a possível consideração dos minutos de transição entre postos tarifários de forma diferente da implementada no software.

4.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado nesse capítulo pode revelar algumas informações importantes sobre o tópico trabalhado. Foi possível verificar que o software desenvolvido apresenta resultados satisfatórios, com erros em sua maioria consideravelmente baixos. Os erros mais elevados puderam ser também compreendidos, podendo ser evitados ou tratados em análises futuras.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do software para análise de custos de energia elétrica, detalhado neste trabalho, foi motivado pela necessidade de reduzir o trabalho envolvido nas atividades de análise e previsão de custos com eletricidade em UC do grupo B. O software aqui tratado buscou, portanto, apresentar um método simplificado e confiável para a realização de análises tarifárias e estudos de consumo de energia.

Os resultados obtidos pelos estudos de caso revelaram que o programa apresenta produtos coerentes e confiáveis dentro do que se propôs inicialmente, mas também mostram que existem particularidades para se atentar durante seu uso devido aos diferentes métodos de abordagem das atividades.

As planilhas geradas através das análises do programa contêm diversas informações e gráficos que podem ser inseridos em relatórios de análise tarifária para apresentação ao cliente, além de exibir ao usuário os dados que foram aplicados nos cálculos, permitindo que sejam averiguadas eventuais discrepâncias causadas por inserção de dados incorretos.

Primeiramente, pode-se concluir que o software apresenta uma aplicação relevante ao usuário, pois permite que se tenha uma ideia clara sobre o perfil de consumo da unidade, que é um fator essencial para a gestão desse recurso e otimização de despesas.

Outro aspecto importante a ser enfatizado está relacionado à aplicação da análise por cargas, que possibilita identificar os padrões de consumo de uma nova UC.

Também deve ser evidenciada a estruturação do programa, que apresenta flexibilidade para introdução de novos elementos e funcionalidades, ou eventuais correções que devam ser realizadas, sem que haja uma desestabilização dos fatores já implementados.

A linguagem Python mostrou-se um elemento facilitador para o processo de desenvolvimento do programa, por diversas razões. Além de se tratar, como já foi mencionado, de uma linguagem de alto

nível, essa ferramenta é amplamente utilizada na atualidade. Em razão dessa popularidade, conta com uma comunidade ativa e dedicada a solucionar as dúvidas e dificuldades de seus operadores. Outra vantagem no uso dessa ferramenta consiste nas inúmeras bibliotecas disponíveis gratuitamente para os desenvolvedores, permitindo um processo de criação de programas mais rápido e menos complexo.

O software desenvolvido para o trabalho possui ainda uma grande possibilidade de expansão, a permitir a geração de resultados mais detalhados e de forma mais prática. De todo modo, o desenvolvimento do programa de forma modular facilita seu aperfeiçoamento e aprimoramento com a implementação de novas funcionalidades, sem a necessidade de que outras sejam removidas ou reestruturadas.

Tal característica da estruturação do programa abre janelas para a continuidade de seu desenvolvimento, por exemplo, mediante a implementação do preenchimento automático para diferentes distribuidoras de energia. Outra fronteira possível para expansão das funcionalidades do software pode estar na consideração da modalidade de unidade do grupo A optante por faturamento do grupo B nas análises. Pensa-se, ainda, na possibilidade de introdução de novos métodos de cálculo presentes em outras normas para análise de sistemas equilibrados e desequilibrados.

Por fim, o projeto envolvia a criação de uma ferramenta computacional simples, não amarrada em especificidades, mas adaptável à dinâmica e a variabilidade das condições normativas regentes do faturamento em UCs de energia elétrica brasileiras.

6.REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa No 1000, de 7 de dezembro de 2021. , 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>. Acesso em: 4 fev. 2025

ANEEL. Resolução Homologatória No 3.279, de 17 de outubro de 2023. , 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf>>. Acesso em: 4 fev. 2025

CÂMARA, R. R. Ambiente de simulação para verificar a viabilidade de adesão da tarifa branca. Trabalho de Conclusão de Curso—São Leopoldo-RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, 2019.

EIS, D.; FERREIRA, E. HTML5 e CSS3 com farinha e pimenta. Disponível em: <<http://facebook.com/tablelessbr>>.

MCKINNEY, W. Python para análise de dados: tratamento de dados com pandas, numpy e ipython. 1a Edição ed. [s.l.] Editora Novatec, 2018.

PAIVA, F. A. P. et al. Introdução a python com aplicações de sistemas operacionais. Natal-RN: Editora IFRN, 2020.

Capítulo 6



10.37423/250209684

ANÁLISE DA COMBUSTÃO DO DIESEL S10 E SISTEMAS COMBINADOS DIESEL S10/BIODIESEL/BUTANOL NA FORMAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS

Luciano André Deitos Koslowski

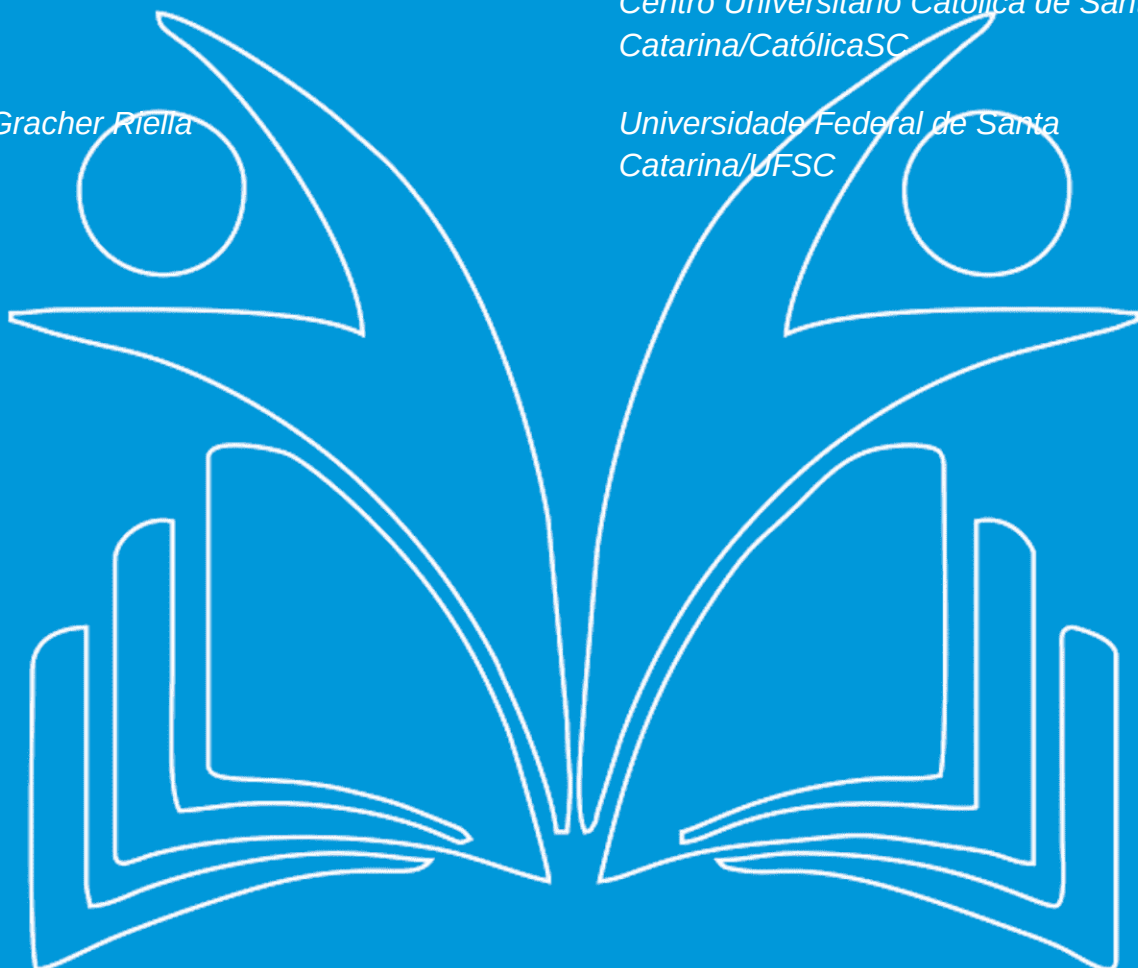
*Universidade do Estado de Santa
Catarina/UDESC*

Cleiton Vaz

*Centro Universitário Católica de Santa
Catarina/CatólicaSC*

Humberto Gracher Riella

*Universidade Federal de Santa
Catarina/UFSC*



Resumo: A crescente demanda energética causa pressões intensas para o uso das reservas mundiais de petróleo como fonte de combustível, promovendo o esgotamento desse recurso natural e a poluição do meio ambiente associada à sua queima, sendo que, na atual década, a maior parte da energia gerada e consumida no planeta é proveniente da queima de combustíveis fósseis, especificamente o petróleo, o carvão e o gás natural. Os testes de combustão foram realizados em triplicata com tempo total de 5 minutos, utilizando-se um motor a diesel estacionário modelo BRANCO 5HP acoplado a uma coluna de absorção de aço inox com fluxo de água em contracorrente com recheio de pellets de cerâmica. As amostras de água foram obtidas na base da coluna. A quantificação química de HPAs absorvidos na água realizado com sonda fluorimétrica Enviroflu TRIOS apresentou, para o diesel S10, S10+1% biodiesel, S10+1,5% biodiesel, S10+2% biodiesel, S10+2,5% biodiesel, as seguintes concentrações: $28,56 \mu\text{g.L}^{-1}$, $39,74 \mu\text{g.L}^{-1}$, $38,50 \mu\text{g.L}^{-1}$, $36,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $56,25 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. Da mesma forma, as blendas S10+1% butanol, S10+1,5% butanol, S10+2% butanol, S10+2,5% butanol, apresentaram as seguintes concentrações: $42,50 \mu\text{g.L}^{-1}$, $48,33 \mu\text{g.L}^{-1}$, $50,25 \mu\text{g.L}^{-1}$, e $51,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. A presença na água de HPAs pode alterar a composição da água, fornecendo um ambiente adverso à biota no momento de saída da coluna. O pH apresentou valores na faixa de 3,0 a 4,0 para todas as amostras, sendo que o pH da água é influenciado diretamente pelos gases de combustão. O consumo de combustível medido através de uma bureta conectada ao motor se mostrou maior com o diesel S10, constatando a eficiência da adição de biodiesel e butanol no diesel.

Palavras-chave: diesel S10, butanol, biodiesel, HPA's, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos.

1. INTRODUÇÃO

Os motores a diesel constituem uma das principais fontes energéticas para veículos de transporte em terra e mar e auxiliam na prosperidade da economia mundial. O emprego dos motores a diesel apresenta elevada demanda para produção energética em navios, por possuírem mecanismo simples, desempenho excelente e fácil manutenção, baixos custo e taxa de consumo do óleo combustível, altas relações de compressão e peso/energia, assim como densidade do óleo, eficiência térmica e durabilidade. No entanto, sabe-se que embarcações marítimas também contribuem para problemas ambientais, como destruição da camada de ozônio, aumento do efeito estufa e chuva ácida (RICHARD, G., SAWYER, W. E., SHARIPOV, A., 2024).

As emissões de materiais particulados dos motores diesel têm recebido atenção crescente em função dos possíveis efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente, além disso, o aumento do preço do petróleo tem criado pressões para a redução do consumo de óleo diesel. Essas condições levam os pesquisadores e buscarem alternativas para substituir o diesel em todo ou em parte, buscando uma redução nas emissões gasosas e no material particulado (SONG et al., 2007). Nesse contexto, vários compostos oxigenados têm sido considerados, baseado na sua disponibilidade, preço, toxicidade, segurança e compatibilidade com o óleo diesel. Dentre esses oxigenados o biodiesel, etanol e metanol são os mais investigados, além do dietileno glicol dimetil éter (DI et al., 2010).

O aumento do oxigênio proveniente das blendas causa redução na opacidade da fumaça, na concentração de massa particulada, concentração de NOX (DI et al., 2010; GOLDSWORTHY, 2013), porém as frações de compostos orgânicos solúveis é aumentada (DI et al., 2010; 2009). Resultados semelhantes foram observados por (SONG et al., 2007) em que poderiam resultar em maior redução das emissões, efeito indeterminado sobre o NOX e emissões de HPA crescentes com o crescimento de teor de etanol nas misturas de etanol-diesel. Outra investigação reforça que o uso de blendas alcoólicas é benéfico para as emissões de NOX e material particulado, porém acrescentam quantidade de hidrocarbonetos, CO e NO₂, sendo o metanol causador de influência maior nesse aspecto que o etanol (ZHANG et al., 2011). KUMAR et al., 2013 citam que o uso de blendas de butanol com diesel apresenta a melhor alternativa com relação a emissões e propriedades superiores do combustível, quando comparadas com blendas de metanol e etanol. Outros aditivos oxigenados também conseguem melhorar o desempenho dos motores diesel e reduzem emissões como o di-metóxi-metano e di-metóxi-propano (SATHIYAGNANAM e SARAVANAN, 2008), além das blendas de diesel e biodiesel. Apesar do uso de biodiesel já ser uma realidade em vários países do mundo, estudos

demonstram que as emissões são aproximadamente dependentes de forma linear referente à composição da blenda, quando consideradas as legislações em vigor. Porém, foram observados efeitos negativos de blends com respeito à mutagenicidade, especialmente ao diesel B20 (20% biodiesel-80% diesel). Considerando a totalidade da energia consumida no mundo, a maior parcela está voltada ao petróleo, carvão e gás natural. Mesmo com as previsões de esgotamento dessas fontes no futuro, a poluição causada pelas emissões gasosas da queima desses combustíveis fósseis é de grande importância, visto os riscos à saúde das pessoas e aos ecossistemas em todo o planeta (FERRARI et al., 2005).

O óleo diesel um derivado do petróleo utilizado amplamente no Brasil como combustível, é constituído principalmente por hidrocarbonetos de cadeia longa, por enxofre, nitrogênio e oxigênio, estes três últimos em baixas concentrações. O transporte de cargas no Brasil está apoiado, principalmente, no uso de veículos movidos por motores a diesel, por via rodoviária. Para atender o mercado nacional, as refinarias da Petrobras são operadas com prioridade para a produção desse combustível, o qual a produção corresponde a cerca de 34% do volume do petróleo processado no país (FERRARI et al., 2005). Os poluentes emitidos pela combustão do diesel causam problemas ecológicos reconhecidos em todo o mundo, como a destruição da camada de ozônio, aumento do aquecimento global, chuva ácida. Os motores a diesel de embarcações emitem material particulado, fumaça preta e carregam diversos compostos carcinogênicos de elevado impacto à saúde humana e aos ecossistemas. Algumas investigações para reduzir os poluentes dessas emissões são de fundamental importância para a saúde humana, meio ambiente e para a prosperidade da vida na Terra (LIN e HUANG, 2003). A composição dos gases de combustão de diesel depende de vários fatores como o tipo de diesel ou biodiesel, tipo de motor, condições de operação, presença de catalisadores, temperatura, pressão e umidade (BORRÁS et al., 2009). A produção de energia de uma combustão convertida em trabalho pode ser feita mediante a combustão em máquinas a explosão, ou seja motores em que a energia de propulsão é gerada através de uma reação química (combustível + comburente), mediante a ignição ou auto-ignição da sua mistura, onde o combustível (álcool, gasolina, diesel, biodiesel) e o comburente (oxigênio do ar), em proporções estequiométricas em um ambiente fechado a certa temperatura e pressão. Na temperatura da reação e das paredes do vaso de reação (cilindro + pistão), que funciona como catalisador forma-se o NO(g) que é expelido como um dos gases de exaustão do motor. As condições da reação são propícias à formação de muitos outros compostos orgânicos de exaustão do motor como os HPA's (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos), PAC's (Compostos Policíclicos Aromáticos), e POM's (Materiais Policíclicos Orgânicos) (FINLAYSON-PITTS, 2000). Os HPA são

conhecidos por seu potencial tóxico a humanos e outros animais, ampla distribuição geográfica e degradação lenta (TOMASZEWSKI et al., 2006). Devido a essa última característica, é classificada como poluente orgânico persistente (POP) (ZHU et al., 2011). Do ponto de vista da saúde humana, alguns HPA (p.ex.: benzo(a)pireno) são carcinogênicos bastante potentes (SCHWARZENBACH et al., 2005), sendo classificados como poluentes prioritários pela USEPA e pela União Européia devido ao seu potencial tóxico, mutagênico e carcinogênico (ZHU et al., 2011).

METODOLOGIA

Neste trabalho foram avaliados os compostos provenientes da combustão de um motor a diesel, utilizando como combustível óleo diesel S10 e soluções com quatro concentrações diferentes de biodiesel de soja e de butanol, avaliando a variação da concentração de biodiesel no diesel e de butanol no diesel. Os procedimentos para obtenção das amostras foram realizados em triplicata para cada combustível considerando a aceleração constante do motor. Ao final de cada ensaio foi realizada a lavagem da bureta graduada e da mangueira de alimentação de combustível no motor a fim de evitar contaminação e minimizar a probabilidade de erros nos resultados obtidos.

O equipamento é constituído por um motor estacionário Branco 5.0 H.P., com acionamento manual, movido à diesel. Acoplou-se ao motor um sistema de exaustão composto por um tubo flexível para radiador, seguido a uma coluna de absorção de leito fixo empregada para absorver os gases provenientes da combustão. A coluna foi montada com tubo de aço inoxidável com diâmetro de 10 cm e empregando no seu interior recheio com suportes de cerâmica. Um deionizador foi acoplado ao equipamento para fazer a lavagem dos gases. Retirou-se o tanque de combustível do motor, sendo então alimentado por uma mangueira de silicone ligada a uma bureta graduada de 50 mL abastecida com combustível. O diagrama sistemático do processo de absorção de gases está demonstrado conforme Figura 1.

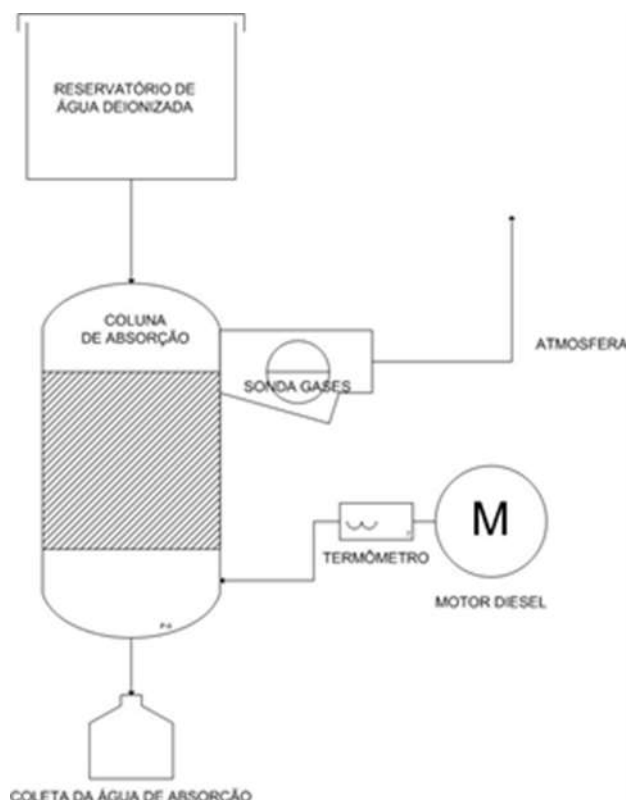


Figura 1 – Representação esquemática da unidade experimental

O preparo do combustível foi realizado empregando diesel S10 (Petrobrás BR). O biodiesel de soja utilizado na composição da mistura com diesel S10 foi fornecido por uma usina piloto localizada no estado do Paraná e Butanol P.A. (Dinâmica, CAS 7136-3). O preparo das misturas foi realizado com o auxílio de pipetas graduadas e provetas. Na etapa seguinte, foram preparadas quatro soluções de 300 mL de amostra de diesel com concentrações de 1,0 %, 1,5 %, 2,0 % e 2,5 % de biodiesel de soja e quatro soluções de 300 mL de amostra de butanol com concentrações de 1,0 %, 1,5 %, 2,0 % e 2,5 % de butanol. A quantificação de HPAs foi realizada por uma sonda ultravioleta (modelo enviroFlu-HC, Trios) nas amostras de água provenientes do processo de absorção verificado na coluna acoplada ao sistema de exaustão do motor.

Estabeleceu-se o tempo de cinco minutos de funcionamento do motor com aceleração constante para seu aquecimento, bem como estabilização das emissões geradas. Ao atingir o tempo determinado, abriu-se a válvula de água deionizada a uma vazão de 30 L h^{-1} durante cerca de 30 segundos para que houvesse a pré-limpeza dos compostos acumulados no interior da coluna. A transferência de massa entre as duas fases é promovida no interior da coluna, o qual mantém o contato contínuo entre as fases em toda a extensão de cada leito recheado. Desta forma, o componente é absorvido do interior da fase gasosa para o interior da fase líquida. Após a pré-limpeza, para realização do ensaio, amostras

de cerca de 900 mL foram coletadas por meio de béqueres, utilizando-se a mesma vazão estabelecida para a pré-limpeza da coluna.

A turbidez foi determinada por meio de um turbidímetro portátil (modelo 2100P, Hach) em amostras de água provenientes da coluna de absorção acoplada ao sistema de exaustão do motor. Para a amostragem e posterior análise de turbidez foram realizados os mesmos procedimentos utilizados na coleta da amostra para análise de HPAs, sendo que posteriormente à coleta da amostra de 900 mL, em cubetas específicas para a análise de turbidez, fez-se uma nova amostragem do material coletado para leitura no turbidímetro.

Para a determinação do pH foi utilizado um pHmetro digital de bancada (modelo PHS-3B da marca PHTEK). O pH foi determinado em amostras de água provenientes da coluna de absorção acoplada ao sistema de exaustão do motor. Para a amostragem e posterior determinação do pH foram realizados os mesmos procedimentos utilizados na coleta das amostras para análises de HPAs e turbidez, sendo que posteriormente à coleta da amostra de 900 mL, em um béquer de 50 mL, fez-se uma nova amostragem do material coletado para leitura no pHmetro.

A rotação do motor foi ajustada em aproximadamente 3000 rpm, utilizando um tacômetro (modelo MINIPA MDT 2238-A). O ajuste da rotação foi realizado de forma a obter dados comparativos mais padronizados na combustão do diesel S10 e suas blendas, conforme orientação do fabricante a unidade de comando do motor necessita saber em quais posições se encontram os pistões a cada instante e qual a velocidade de rotação do motor. O sensor de rotação é de extrema importância, pois tem a função de medir o sinal de rotação do motor e o sistema de gerenciamento para atender ao objetivo de correto funcionamento do sistema. Foi estabelecido o tempo de cinco minutos de funcionamento do motor com aceleração constante para seu aquecimento, bem como estabilização das emissões geradas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se a análise de fluorimetria para identificar a influência da adição de biodiesel de soja e de butanol nas emissões de HPAs formados durante a combustão de misturas com o diesel S10. Por ser biodegradável, o biodiesel é considerado livre de compostos aromáticos. No entanto, hidrocarbonetos não queimados podem se formar no processo de combustão, gerando pequenas emissões destes compostos. Para o diesel, ao ocorrer a combustão, são gerados hidrocarbonetos não queimados, a partir destes, são formados os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (BRUNETTI, 2012). Uma

característica bastante dependente da temperatura é o número e o comprimento das cadeias alifáticas ligadas aos anéis. Em altas temperaturas estas cadeias se tornam pouco estáveis e há diminuição de seus comprimentos, privilegiando grupamentos pequenos (SISINNO E OLIVEIRA FILHO, 2013). Lin et al. (2012) testaram blendas de diesel com adição de butanol e pequenas porcentagens de água. Os resultados apresentaram redução na emissão de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos conforme se aumentou a porcentagem de butanol nas blendas. Segundo os autores, as emissões de HPAs foram influenciadas pelo teor de aromáticos contidos no combustível, e a maior razão de butanol resultou em redução das emissões de HPAs. O conteúdo de oxigênio promoveu combustão mais completa, retardando a formação de HPAs, principalmente o seu precursor, benzeno, e acelerou a degradação dos compostos. A média dos valores de turbidez, rotação, temperatura do motor, HPAs, consumo de combustível, opacidade e pH para os testes em triplicata realizados com o combustível S10 e suas blendas de biodiesel são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios dos resultados da combustão do diesel S10 e blendas de biodiesel.

MÉDIA ± DP*	S10	S10+1% Biodiesel	S10+1,5% Biodiesel	S10+2% Biodiesel	S10+2,5% Biodiesel
Turbidez (NTU)	236 ± 27,22	130 ± 10,58	126 ± 11,68	172 ± 3,79	130 ± 24,02
Rotação (rpm)	3060 ± 4,73	3054 ± 6,93	3025 ± 9,5	3025 ± 7,51	3017 ± 6,11
Temp. motor (°C)	138 ± 1,00	140 ± 1,00	139 ± 1,73	136 ± 1,15	139 ± 1,53
HPAs (mcg/L)	28,56 ± 4,30	39,74 ± 3,66	38,50 ± 2,08	36,2 ± 1,86	56,25 ± 4,71
Consumo (mL)	27,5 ± 0,5	28 ± 2,00	26 ± 0,25	25 ± 0,58	26 ± 0,36

Fonte: dos autores (2025).

A média dos valores de turbidez, rotação, temperatura do motor, HPAs, consumo de combustível, opacidade e pH para os testes em triplicata realizados com o combustível S10 e suas blendas de butanol são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios dos resultados da combustão do diesel S10 e blendas de biodiesel.

MÉDIA ± DP*	S10	S10+1% Butanol	S10+1,5% Butanol	S10+2% Butanol	S10+2,5% Butanol
Turbidez (NTU)	232 ± 33,50	215 ± 21,10	194 ± 22,70	168 ± 21,90	137 ± 33,00
Rotação (rpm)	3060 ± 4,73	3037 ± 19,34	3036 ± 12,47	3044 ± 22,11	3050 ± 11,11
Temp. motor (°C)	138 ± 1,00	137,33 ± 1,04	136 ± 1,73	140 ± 1,40	142 ± 1,80
HPAs (mcg/L)	42,50 ± 4,30	48,33 ± 3,66	50,25 ± 2,08	51,20 ± 1,86	57,25 ± 4,71
Consumo (mL)	27,5 ± 0,41	28 ± 0,71	26,17 ± 0,24	28,67 ± 2,36	28 ± 0,40

Fonte: dos autores (2025).

A dificuldade em manter o acelerador do motor a uma rotação de 3000 rpm, foi evidenciado pelo elevado desvio padrão observado nos resultados apresentados na Tabela 1 e 2 respectivamente. No caso do controle da turbidez se observam que os elevados valores acima do recomendado pela OMS (5 NTU), podem estar correlacionados com a presença de sujidade e impurezas na coluna, provenientes dos vários testes realizados na coluna. Em relação aos demais parâmetros, o desvio padrão apresenta valores pouco representativos, indicando uma homogeneidade nos resultados.

TURBIDEZ

O resultado apresentado pelo combustível S10 é o que apresenta o maior valor para o ensaio de turbidez. Neste ponto, os valores podem ser associados a combustão incompleta do diesel S10 comparativamente às blendas de diesel utilizadas nos testes, em função da elevada emissão de CO pela combustão incompleta do combustível resultando em um aumento potencial de material particulado (MP). Observa-se, também, a proximidade dos resultados para a blenda diesel S10 +2% biodiesel. Observou-se que o valor médio de turbidez encontrado para o diesel S10 puro é mais elevado que o das blendas e que há uma tendência na diminuição da turbidez conforme se aumenta a quantidade de butanol nas blendas. O teste de Kruskal-Wallis de análise de variância realizado pelo software Minitab 17 indicou resultado de p-valor igual a 0,05. Com este valor, entende-se que o teor de butanol nas blendas apresenta diferenças estatísticas significativas em relação à variável resposta,

a turbidez (para um intervalo de confiança de 95 %). Ou seja, o teor de butanol na blenda influencia na turbidez da água de absorção. A turbidez é a medida de absorção de luz pela água. É a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma quantidade de água, conferindo-a uma aparência turva. A turbidez reduz a penetração de luz na água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas. Lin et al. (2012), em seu estudo com blends de diesel e butanol a 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %, obteve redução significativa de material particulado, conforme aumentou o teor de butanol na blenda. Essa redução se deve à quantidade de oxigênio presente no butanol, que aumentou as reações de oxidação, resultando em combustão mais completa do combustível.

ROTAÇÃO E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A Figura 2 apresenta a variação da rotação para as diferentes composições de combustíveis testados.

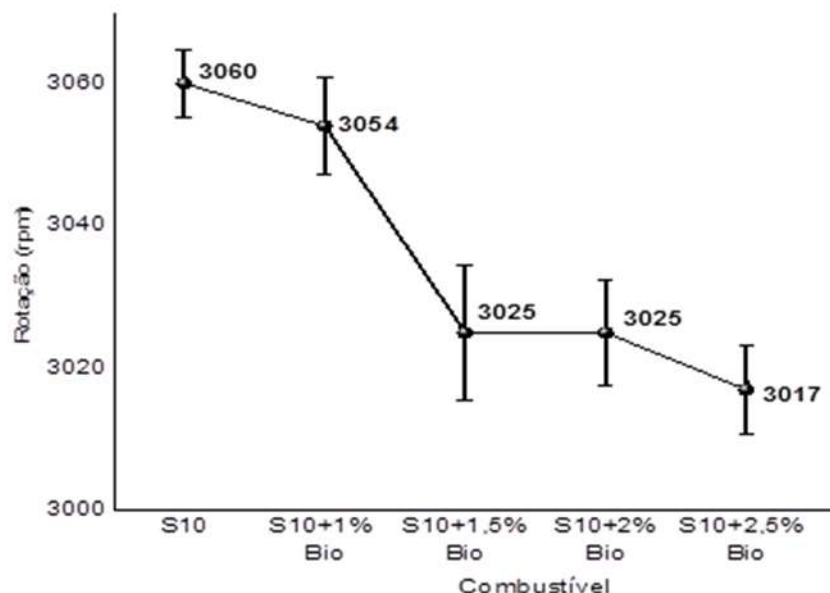


Figura 2 - Relação da rotação (rpm) com o combustível S10 e blends S10/biodiesel.

Fonte: dos autores (2025).

De acordo com os dados apresentados na Figura 2, a rotação exercida pelo motor eleva o consumo de combustível e conseqüentemente promove um aumento das emissões. A relação entre o motor e o combustível não é prejudicada pela adição de biodiesel, não sendo necessária adaptação do motor, pois a maior massa específica compensa o menor poder calorífico.

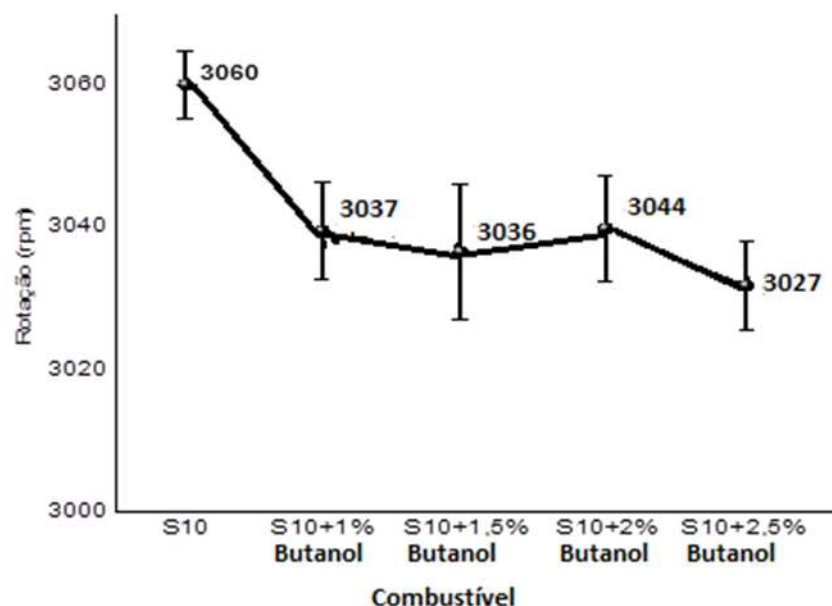


Figura 3 - Relação da rotação com o combustível S10 e blendas de butanol

Fonte: dos autores (2025).

No presente estudo, o valor de pH inicial do efluente gráfico apresentou valores iniciais entre 7,10 e 7,50. Após a etapa de tratamento do efluente gráfico os valores de pH final obtidos foram ligeiramente elevados entre 7,68 e 8,23.

Os desvios-padrão das médias das blendas contendo 0 %, 1 %, 1,5 %, 2 % e 2,5 % foram 0,58, 0,29, 0,12, 0,29 e 0,29 mL, respectivamente. Observou-se pelas Figuras 1 e 2 que as blendas apresentaram médias superiores de consumo em relação ao diesel puro, sendo esse aumento maior quanto mais butanol está presente na blenda. O teste de Kruskal-Wallis de análise de variância realizado pelo software Minitab 17 indicou resultado de p-valor igual a 0,116. Como este valor é superior a 0,05, entende-se que o teor de butanol nas blendas não apresenta diferenças estatísticas significativas em relação à variável resposta, o consumo de combustível, para um intervalo de confiança de 95 %. A rotação média do motor durante os experimentos foi de $3021,2 \pm 12,15$ rpm. Segundo Lin e Huang (2003), o consumo de combustível está diretamente ligado à rotação do motor e ao poder calorífico do combustível. Quanto maior a rotação e menor o poder calorífico, maior o consumo apresentado. Esse comportamento de aumento de consumo foi encontrado por alguns autores. Rakopoulos et al. (2010), Dogan (2011), Lin et al. (2012) e Sandalci et al. (2014, web) demonstraram em seus estudos que com o aumento de butanol nas blendas, o consumo de combustível aumenta, uma vez que o poder calorífico do butanol, assim como das blendas, é menor que o do diesel puro. Yoshimoto et al. (2013) reportaram que além do baixo poder calorífico do n-butanol e do óleo de palma de metil éster,

ambos utilizados como aditivos ao diesel, quantidades maiores de combustível injetado são necessárias para manter as condições especificadas de potência.

HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAS)

Os resultados encontrados pela análise de HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) por meio da sonda HPA Enviroflu, das amostras de água retiradas da coluna de absorção após 5 minutos de funcionamento do motor, são mostrados na Figura 4, a qual relaciona as médias dos valores de HPAs e as porcentagens de butanol contidas nas blendas. Estes resultados não consideram que todos os HPAs foram absorvidos pela água, em função da baixa solubilidade desses compostos. Buscou-se realizar uma comparação entre o diesel S10 e as blendas. Os desvios-padrão das médias dos valores de HPAs solubilizados em água foram 2,48, 1,12, 0,43, 1,63 e 1,21 $\mu\text{g/L}$, para as blendas contendo 0 %, 1 %, 1,5 %, 2 % e 2,5 % de butanol, respectivamente. Observou-se pela Figura 4 que as blendas de diesel com butanol obtiveram médias menores de HPAs solubilizados em água em comparação com diesel S10 puro.

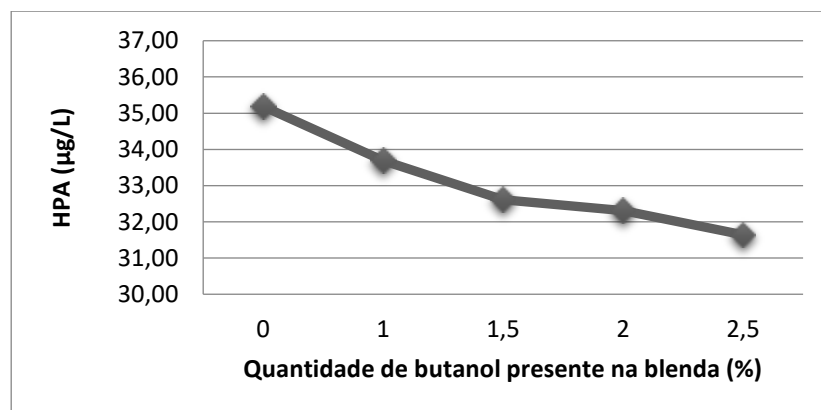


Figura 4 – Concentração média dos HPAs para o combustível S10/blendas de butanol solubilizados em água.

Fonte: dos autores (2025).

O teste de Kruskal-Wallis de análise de variância realizado pelo software Minitab 17 indicou resultado de p-valor igual a 0,264. Como este valor é superior a 0,05, entende-se que o teor de butanol nas blendas não apresenta diferenças estatísticas significativas em relação à variável resposta, os HPAs solubilizados em água, para um intervalo de confiança de 95 %. Mesmo não sendo possível observar diferenças estatísticas significativas, a análise do gráfico demonstra uma tendência de redução das emissões de HPA. Os HPAs são formados pela combustão incompleta de matéria orgânica, em condições de baixa pressão, elevada temperatura e curto tempo (ZHAO et al., 2024). Formam-se junto às paredes da câmara onde a temperatura não é suficiente para completar a reação, ou em regiões da

câmara onde a mistura é excessivamente rica ou pobre. Os hidrocarbonetos aromáticos, devido à sua grande estabilidade química, tornam mais difícil o rompimento das ligações do anel, conferindo a estes compostos grande resistência à autoignição (BRUNETTI, 2012). Lin et al. (2012) testaram blendas de diesel com adição de butanol e pequenas porcentagens de água. Os resultados apresentaram redução na emissão de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos conforme se aumentou a porcentagem de butanol nas blendas. Segundo os autores, as emissões de HPAs foram influenciadas pelo teor de aromáticos contidos no combustível, e a maior razão de butanol resultou em redução das emissões de HPAs. O conteúdo de oxigênio promoveu combustão mais completa, retardando a formação de HPAs, principalmente o seu precursor, benzeno, e acelerou a degradação dos compostos. Yoshimoto et al. (2013) obtiveram em seu estudo resultados de hidrocarbonetos que não participaram da combustão, indicando que mesmo com aumento de teor de oxigênio no combustível, ainda ocorre combustão incompleta, formando hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Rakopoulos et al. (2012) e Rakopoulos et al. (2010) também apresentaram resultados de hidrocarbonetos emitidos para a atmosfera, após uso de solventes oxigenados como aditivos. Um dos motivos é o alto calor de vaporização do solvente oxigenado, causando vaporização mais lenta, assim como mais lenta e pobre a mistura de combustível e ar na câmara, prejudicando a combustão. Em ambos os casos, o aumento de aditivo na blenda aumentou a quantidade de hidrocarbonetos liberados para a atmosfera.

Realizou-se a análise de fluorimetria para identificar a influência da adição de biodiesel de soja nas emissões de HPAs formados durante a combustão de misturas com o diesel S10, para efeito comparativo aplicou-se a mesma análise para o diesel S10 puro. Por ser biodegradável, o biodiesel é considerado livre de compostos aromáticos. No entanto, hidrocarbonetos não queimados podem se formar no processo de combustão, gerando pequenas emissões destes compostos. Para o diesel, ao ocorrer à combustão, são gerados hidrocarbonetos não queimados, a partir destes, são formados os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. As características dos HPAs formados dependem de vários fatores, entre eles está a temperatura envolvida, além do tempo de reação e a matéria orgânica utilizada. Uma característica bastante dependente da temperatura é o número e o comprimento das cadeias alifáticas ligadas aos anéis.

A Figura 5 apresenta os dados referente a adição de biodiesel no diesel S10. Com a adição de biodiesel ao combustível, seria plausível evidenciar uma tendência decrescente proporcional ao aumento da concentração de biodiesel no combustível, devido à ausência de HPAs no biodiesel, originando-se apenas como subprodutos da combustão. Contudo, conforme Figura 5, a tendência observada não se

comportou de acordo com o esperado, apresentando aumento da concentração de HPAs com o aumento do percentual de biodiesel no combustível.

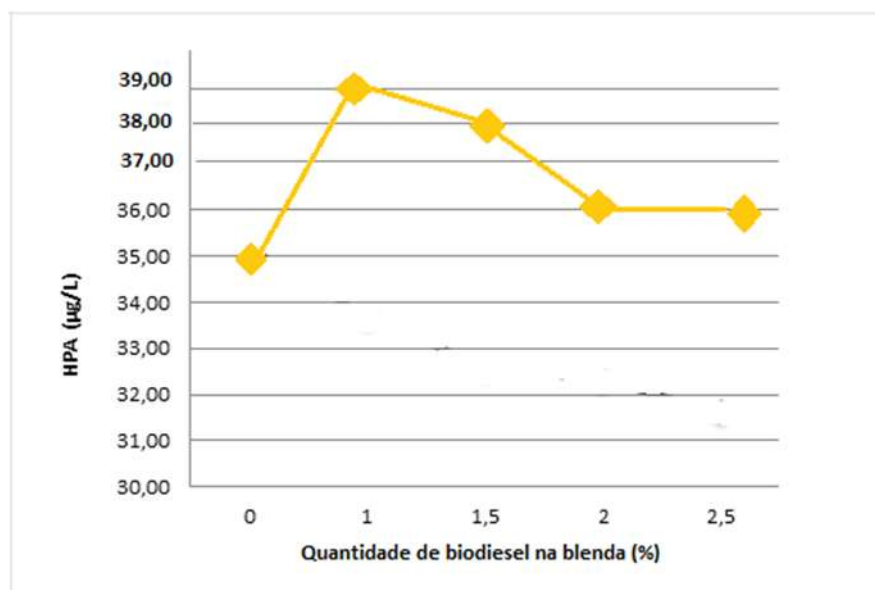


Figura 5 – Concentração média dos HPAs para o combustível S10/blendas de biodiesel solubilizados em água.

Fonte: dos autores (2025).

A possível causa para esta alteração nos resultados devem-se as dificuldades para medição de HPAs em água, ocasionada por uma série de fatores. Kleine (2013) reporta sobre os problemas das medições de HPAs em água, devido, na maioria dos casos, as amostras conterem misturas de diferentes HPAs, com diferentes eficiências de fluorescência, como também solubilidade em água, sendo que esta diminui com o aumento do tamanho da molécula. Observa-se pelos resultados apresentados na Figura 5, que o uso de blendas de diesel com biodiesel impactou em aumento na emissão de HPAs. O resultado pode ser justificado devido a menor taxa de compressão do motor a diesel, e o excesso de ar durante a combustão, resultando em uma queima incompleta de combustível. Os valores resultantes sugerem a queima incompleta do combustível. Esse aspecto revela um risco associado, pois HPAs de 2 a 3 anéis aromáticos são responsáveis pelo surgimento de efeitos agudos em organismos vivos e HPAs com número maior de anéis são responsáveis pelo desenvolvimento de efeitos crônicos. Os resultados obtidos nas blendas preparadas apresentaram maiores valores de HPAs devido à adição do biocombustível, já que, no que dizem respeito aos veículos do ciclo diesel, muitos estudos empregam óleos vegetais como alternativa para o óleo diesel. A alta viscosidade e massa

molecular dos óleos e gorduras geram problemas devido à baixa volatilidade e atomização do combustível, tornando a combustão incompleta e formando depósitos no motor (GUARIEIRO, 2011).

O mecanismo de formação de HPAs durante a combustão se deve à repolimerização de fragmentos de hidrocarbonetos formados durante o craqueamento das moléculas maiores do combustível na chama. Fragmentos contendo dois átomos de carbono são prevalentes depois do craqueamento e da combustão parcial e podem se combinar para formar uma cadeia de radical livre de quatro carbonos, a qual poderia adicionar mais dois carbonos para formar um anel de seis membros (BAIRD, 2011). Dentre os objetivos propostos para este trabalho, fez-se a quantificação de HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) pela sonda. Observou-se a diminuição da emissão desses compostos conforme houve aumento no teor de oxigênio nas blendas, devido à combustão mais completa. Os testes de turbidez demonstraram que este parâmetro depende do material particulado formado durante a combustão, e foi observada diminuição dos dois parâmetros conforme houve aumento no conteúdo de oxigênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMARAL, L.A, et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista de Saúde Pública*. São Paulo, v.37, n.4, 2003.
- BRAUN, S.; APEL, L. G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel – a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. *Química Nova*, vol. 27, p. 472-482, 2003.
- BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. São Paulo: Blücher, 2012.
- CONAMA. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.
- CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.
- DI, Y.; CHEUNG, C. S.; HUANG, Z. Experimental study on particulate emission of a diesel engine fueled with blended ethanol–dodecanol–diesel. *Journal of Aerosol Science*. v.40, p.101-112, 2009.
- DOGAN, O. The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*, v. 90, p. 2467–2472, 2011.
- FYNLAYSON-PITTS, B.J.; pitts Jr, J.N. Chemistry of upper and lower atmosphere - Theory, experiments, and applications. New York: Academic, 2000. 969p.
- GOLDSWORTHY, L. Fumigation of a heavy duty common rail marine diesel engine with ethanol–water mixtures. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Issue 0, v.47, p.48-59, 2013.
- GUARIEIRO, L.L.N.; SOLCI, M.C.; VASCONCELOS, P.C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. *Rev. Química*, 3 p. 434-445, 2011.
- KLEINE, T. Cinética da toxicidade aguda da fração solúvel de compostos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) oriundas do petróleo em microcrustáceos marinhos. 2013. 91f. Dissertação (Especialização em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville. Joinville.
- KUMAR, S.; CHO, J. H.; PARK, J.; MOON, I. Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Issue 0, v.22, p.46-72, 2013.
- LIN, S.; LEE, W.; LEE, C.; WU, Y. Reduction in emissions of nitrogen oxides, particulate matter, and polycyclic aromatic hydrocarbon by adding water-containing butanol into a diesel-fueled engine generator. *Fuel*, v. 93, p. 364-372, 2012.
- MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D’AGOSTINI, M. F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, out/dez. 2006.

RAKOPOULOS, D. C. Combustion and emissions of cottonseed oil and its bio-diesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine. *Fuel*, v. 105, p. 603-613, 2013

RICHARD, Glory; SAWYER, Wisdom Ebiye; SHARIPOV, Avez. Environmental Impacts of Air Pollution. In: *Sustainable Strategies for Air Pollution Mitigation: Development, Economics, and Technologies*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 47-76.

SATHIYAGNANAM, A. P.; SARAVANAN, C. G. Effects of diesel particulate trap and addition of di-methoxy-methane, di-methoxy-propane to diesel on emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*. Issue 10–11, v.87, p.2281-2285, 2008.

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P. M.; IMBODEN, D. M. *Environmental Organic Chemistry*: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

SILVA, P. R. F. D.; FREITAS, T. F. S. D. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. *Ciência Rural*, v. 38, p. 843-851, 2008.

TABILE, R. A.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; DA CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; DA SILVA, R. P. Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, jul/set. 2009.

ZHAO, X., YANG, F., LI, Z., TAN, H. (2024). Formation and emission characteristics of PAHs during pyrolysis and combustion of coal and biomass. *Fuel*, 378, 132935.

ZHANG, Z. H.; TSANG, K. S.; CHEUNG, C. S.; CHAN, T. L.; YAO, C. D. Effect of fumigation methanol and ethanol on the gaseous and particulate emissions of a direct-injection diesel engine. *Atmospheric Environment*. Issue 11, v.45, p.2001-2008, 2011.

ZHU, M.; MA, Y.; ZHANG, D. An experimental study of the effect of a homogeneous combustion catalyst on fuel consumption and smoke emission in a diesel engine. *Energy*. Issue 10, v.36, p.6004-6009, 2011.

Capítulo 7



10.37423/250209709

DEMANDA SOCIAL ENQUANTO FORÇA MOTRIZ PARA UM PROJETO DE BIOPROCESSO

Alessandra Suzin Bertan

Universidade Estadual de Campinas

Marco Aurélio Cremasco

Universidade Estadual de Campinas



Resumo: Dentre os Objetivos do Desenvolvimento Social (ODS) encontram-se o terceiro objetivo, saúde e o bem-estar, assim como o nono objetivo, indústria, inovação e infraestrutura. Tais dimensões possibilitam abordar a temática sobre imunossupressão, em particular sobre a obtenção de fármacos imunossupressores em interações dialógicas no escopo da Engenharia Química seja trans e interdisciplinar no escopo externo a esse campo de conhecimento seja pluri e multidisciplinar no domínio interno de sua atuação. Propõe-se neste trabalho a concepção de projeto de um bioprocessos partindo da integração de princípios da Engenharia química, tendo por início a identificação de uma temática de cunho universal e transversal, de modo a possibilitar o diálogo transdisciplinar entre diversos saberes e conhecimentos. Para tanto, lança-se mão dos terceiro e nono ODS, identificando-se o processamento para a obtenção dos fármacos macrolídeos, sob o ponto de vista de inovação quanto ao processo a ser utilizado, assim como se direciona a fármacos de forte apelo social. Além da identificação deste trabalho na esfera dos ODS, pode-se vislumbrá-lo na conceituação de Desenvolvimento Sustentável propriamente dita, que se baseia fundamentalmente em três dimensões que dialogam entre si, sendo elas ambiental, social e econômica. Dada à natureza de um bioprocessos, tendo como base o terceiro e nono ODS, verifica-se a sua dimensão socioeconômica, porém ao se aproveitar a biomassa enquanto coproduto, resgata-se a dimensão ambiental do Desenvolvimento Sustentável, trazendo equilíbrio entre as suas dimensões e, portanto, caracterizando a sustentabilidade do projeto de bioprocessos.

Palavras-chave: Saúde; Imunossupressão; Inovação, ODS; Desenvolvimento Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

O impacto da pandemia da Covid-19 foi imediato, configurando-se na terceira causa de óbitos naquele ano (7,89 milhões), conforme aponta a Figura 1.

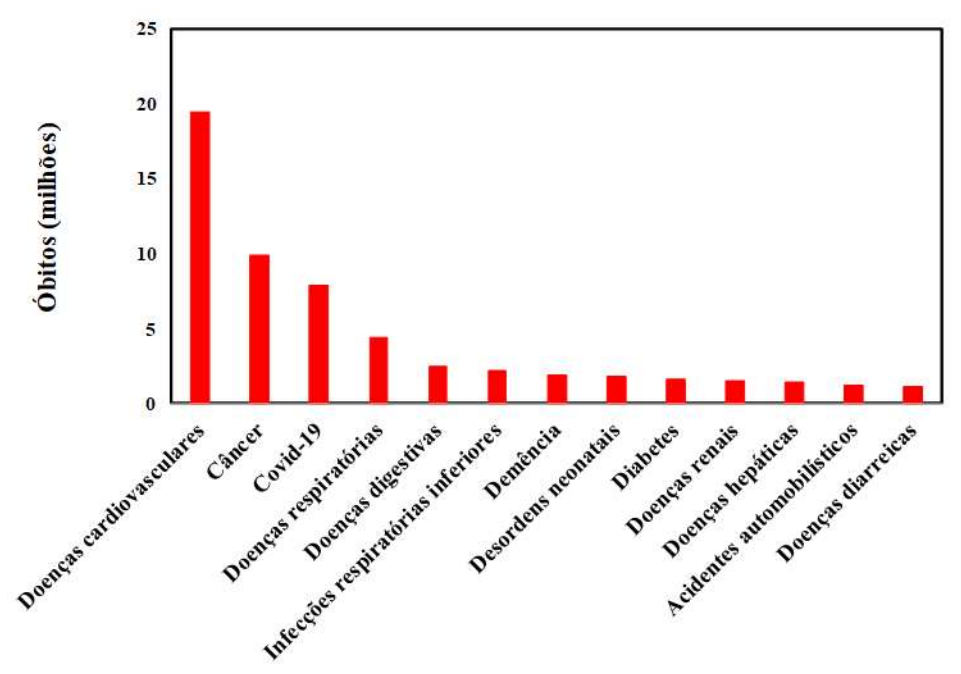


Figura 1- Causa de óbitos em 2021.

Fonte: (IHME, Global Burden of Disease, 2024).

Os óbitos por doenças renais acusavam 1,53 milhões em 2021. Entretanto, no início da pandemia, em 2020, a imprensa brasileira noticiava o sofrimento de pacientes renais, como pode ser observado por inspeção da Figura 2. O vírus contaminou pacientes transplantados em São Paulo; no Ceará, procedimentos caíram 70% e doze pessoas morreram sem conseguir um órgão. De abril a junho de 2020, 14 pacientes renais morreram no Acre com suspeita da Covid-19.



(C)



Figura 2 - Impacto da Covid-19 na população vulnerável associada a pacientes renais:

(a) MAGALHÃES (2020); (b) MASCARENHAS (2020); (c) GUGLIANO (2020).

Além da característica devastadora da Covid-19, a Figura 1 aponta diversas doenças, cujo tratamento muitas vezes passa por transplante de órgão. Sob esse aspecto, desde a promulgação da Constituição Federal de 1988, a saúde é reconhecida como direito universal no Brasil, assegurando assistência terapêutica e farmacêutica integral à população. Essa conquista muito se deve ao Sistema Único de Saúde (SUS) financiando 96% de todos os procedimentos relacionados a transplantes (SOUZA et al., 2024). Contudo, desafios estruturais e logísticos frequentemente ameaçam a efetividade dessa política, especialmente em relação ao fornecimento de medicamentos essenciais como o tacrolimo. Esses desafios foram ainda mais acentuados pela pandemia de Covid-19, que trouxe impactos profundos ao sistema de saúde e à vida de pacientes vulneráveis, como os transplantados. Dentre os diversos fármacos empregados na manutenção de enxertos transplantados, encontram-se os macrolídeos, moléculas lipofílicas constituídas por uma lactona macrocíclica com 14, 15 ou 16 carbonos ligada a moléculas de açúcares (desosamina, cladínose, micaminose, micarose, micosamina) através de ligações glicosídicas, podendo apresentar caráter básico (SISMOTTO; PASCHOAL; REYES, 2013). Dentre as moléculas macrolídeas, encontram-se o tacrolimo e a ascomicina (Figura 3). O tacrolimo e a ascomicina são estruturalmente semelhantes apresentando, enquanto diferença estrutural, a cadeia lateral aliada no carbono 21 de tacrolimo que, para a ascomicina, é substituída por uma cadeia lateral etílico.

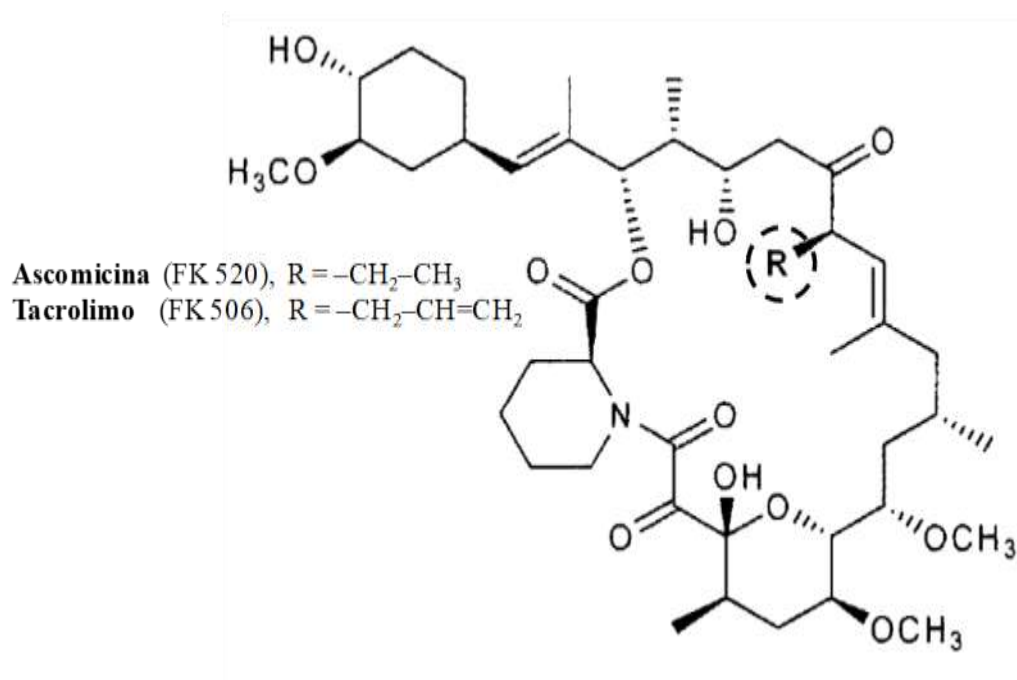


Figura 3 - Representação da ascomicina (FK520) e do tacrolimo (FK506) (baseado em PETKOVIC et al., 2012).

Tanto o tacrolimo quanto a ascomicina são úteis na prevenção da rejeição hospedeira de transplantes de órgãos (REEVES et al., 2005) como, por exemplo, de medula óssea, fígado, pulmão, rim e transplantes de coração. Esses fármacos macrolídeos inibem a produção de interleucinas, a proliferação de linfócitos mistos e a geração de células T citotóxicas como ciclosporina (CHEN et al., 1999). A ascomicina, o tacrolimo e vários de seus derivados foram indicados no tratamento de doenças cerebrais inflamatórias e degenerativas, incluindo a prevenção de danos cerebrais isquêmicos e doença de Alzheimer.

Os fármacos macrolídeos tacrolimo e ascomicina representam avanços significativos na ampliação das possibilidades terapêuticas e na melhoria da qualidade de vida dos pacientes. No entanto, sua relevância transcende o campo médico, levantando discussões importantes sobre equidade no acesso à saúde. A escassez recorrente de medicamentos como o tacrolimo tem gerado sofrimento significativo entre pacientes transplantados, que dependem desse fármaco para preservar suas vidas. Por exemplo, episódios de falta de tacrolimo em 2017 e 2021, que afetaram milhares de pacientes, evidenciam a necessidade urgente de fortalecer a cadeia produtiva e logística de medicamentos essenciais. Além disso, pacientes que dependem de imunossupressores, frequentemente enfrentam barreiras econômicas e sociais que dificultam o acesso a esses medicamentos, o que torna indispensável um esforço coletivo para garantir que os frutos da ciência estejam disponíveis a todos.

Neste sentido, é imperativo o resgate dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apresentados no Quadro 1, em particular o 3º objetivo, Saúde e bem-estar, diretamente associado à discussão recém-apresentada sobre imunossuppressores. Contudo, a discussão sobre saúde e bem-estar não está restrita às ciências médicas ou biológicas, pois as diversas áreas e campos do conhecimento são conclamados para tanto, contribuindo, cada qual, com a sua expertise para promover uma existência minimamente digna. Sob este aspecto, cabe o questionamento sobre a contribuição proativa da Engenharia. No âmbito da contribuição da tecnologia quanto à temática de imunossupressão, cabe destacar o 9º ODS, Indústria, inovação e infraestrutura, o qual ressalta a necessidade de promover uma industrialização inclusiva e sustentável, além de incentivar a pesquisa científica como motor de desenvolvimento. No contexto brasileiro, alinhar essas metas às políticas públicas é indispensável para combater desigualdades regionais e garantir o acesso universal a tratamentos essenciais.

Quadro 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2025).

Objetivos	Descrição
1. Erradicação da pobreza	Erradicar a pobreza em todas as suas formas em todos os lugares.
2. Fome zero	Acabar com a fome, alcançar segurança alimentar e melhorar a nutrição, promovendo a agricultura sustentável.
3. Saúde e bem-estar	Garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
4. Educação de qualidade	Garantir uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizado ao longo da vida.
5. Igualdade de gênero	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
6. Água potável e saneamento	Garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.
7. Energia limpa e acessível	Garantir acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos.
8. Trabalho decente e crescimento econômico	Promover crescimento econômico sustentável, produtivo e trabalho decente para todos.
9. Indústria, inovação e infraestrutura	Promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação.
10. Redução das desigualdades	Reduzir as desigualdades dentro dos países e entre eles.
11. Cidades e comunidades sustentáveis	Tornar as cidades e os assentamentos inclusivos, seguros e sustentáveis.
12. Consumo e produção responsáveis	Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis.

13. Ação contra a mudança global do clima	Adotar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos.
14. Vida na água	Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos.
15. Vida terrestre	Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, manejar florestas de forma sustentável, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
16. Paz, justiça e instituições eficazes	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
17. Parcerias e meios de implementação	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

A produção de tacrolimo e ascomicina envolve bioprocessos fermentativos avançados, que não apenas geram os compostos ativos, mas também resultam em biomassa microbiana e moléculas secundárias. Técnicas de separação por membranas, como a microfiltração e ultrafiltração, conforme oferecidos na Figura 4, são empregadas para recuperar os compostos, permitindo ainda o aproveitamento da biomassa residual para recuperação de fármacos por extração por solventes. A etapa de adsorção é destinada a separação dos fármacos de interesse de outras moléculas como, por exemplo, de açúcares. Em seguida, obtém-se os cristais puros dos fármacos os quais, antes de serem disponibilizados à população, devem passar por ensaios rígidos de qualidade via, por exemplo, de sua atividade biológica.

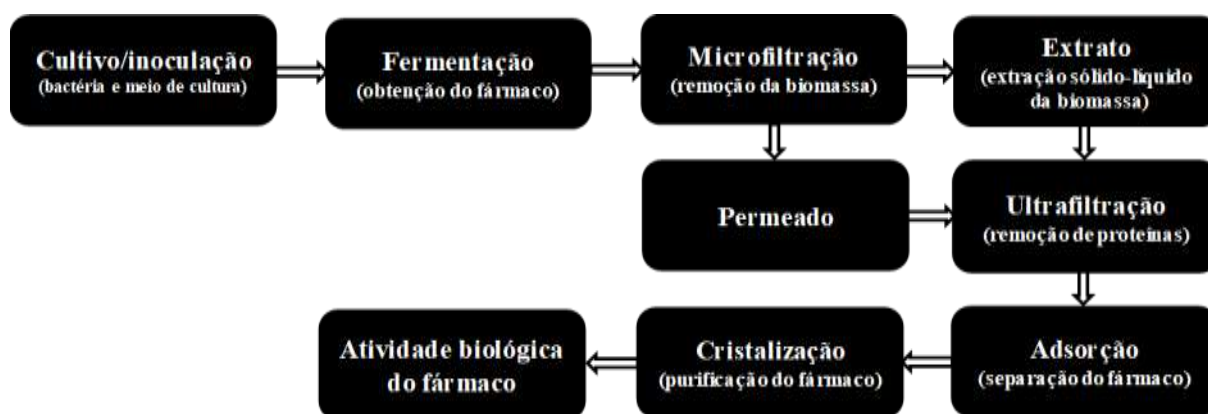


Figura 4 - Fluxograma simplificado do bioprocessamento de fármacos de origem fermentativa.

Diante do exposto, é fundamental investir na pesquisa e na melhoria dos processos tendo, também, como fundamento o compromisso social. Diante do exposto, encontra-se enquanto objetivo deste trabalho a reflexão de como ampliar o escopo de um projeto químico, especificamente de um

bioprocesso, contextualizando-o de modo sistêmico e abrangente, tendo a demanda social como ponto partida da análise do bioprocessamento.

2. ABORDAGENS DIALÓGICAS PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Destacamos, no início deste trabalho, a problemática inerente ao período pandêmico do coronavírus. Além do comprometimento técnico associado ao tema, busca-se uma abordagem sistêmica, na qual se possa vislumbrar a contribuição de um projeto de engenharia no contexto social. Para tanto, entendemos como essencial o entendimento sobre os conceitos sobre transdisciplinaridade e interdisciplinaridade, de modo a contextualizar o universo tecnológico com outros campos e áreas de conhecimento e de atividades profissionais, em particular quando a problemática é a imunossupressão. Essa perspectiva permite não apenas integrar saberes de diversas disciplinas, mas também explorar a interface entre ciências naturais, biológicas e engenharias, evidenciando como essas interações podem impulsionar o desenvolvimento científico e tecnológico. Neste sentido, entendemos que a transdisciplinaridade não se limita em conhecer as interações existentes entre as pesquisas realizadas, mas se concentra em conhecer qual a importância de cada ligação no processo e o seu papel na resolução do determinado problema. O reconhecimento da interdependência de todos os aspectos da realidade traduz o conceito de transdisciplinaridade, conforme ilustrado na Figura 5. Quando os ramos de conhecimento são convocados para atuarem dentro de suas características ainda assim mantendo o diálogo e intercâmbio com outros ramos de conhecimento, para remeter à cooperação e integração entre disciplinas, tem-se a interdisciplinaridade. Em outras palavras, existe a cooperação entre as disciplinas, todavia conservando as suas expertises, bem como apresenta fronteiras sólidas entre conhecimentos (Figura 6).

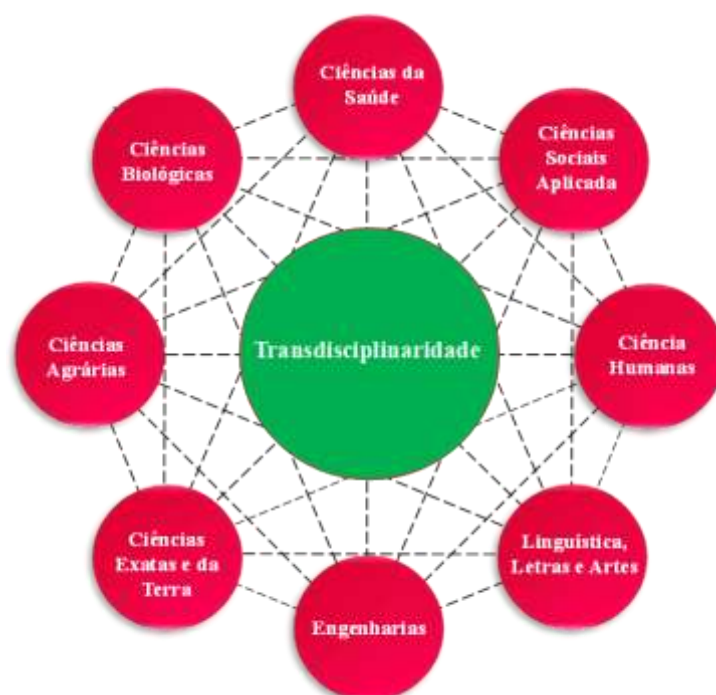


Figura 5 - Transdisciplinaridade entre as grandes áreas do conhecimento (a partir da classificação do CNPq).

Fonte: (BERTAN; CREMASCO, 2021).

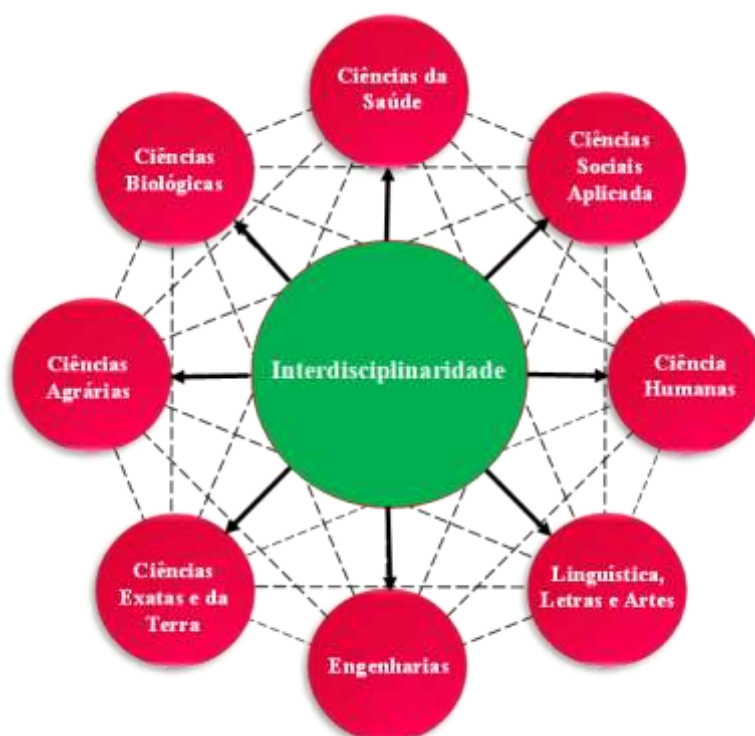


Figura 6 - Interdisciplinaridade entre as grandes áreas do conhecimento (a partir da classificação do CNPq).

Fonte: (BERTAN; CREMASCO, 2021).

As ciências exatas desempenham papel fundamental na modelagem matemática dos processos, fornecendo subsídios para aperfeiçoar parâmetros do meio de cultivo, pré-inoculação e inoculação (veja a Figura 4). As ciências biológicas são indispensáveis para compreender os mecanismos metabólicos e os processos fermentativos envolvidos na produção dos macrolídeos, garantindo a eficiência e a qualidade do produto. Por sua vez, as engenharias, com destaque para a Engenharia Química, como explorado neste trabalho, abordam a melhoria dos processos industriais relacionados à produção, recuperação e purificação dos fármacos. Por fim, as ciências humanas e sociais contribuem com reflexões fundamentais sobre o impacto do acesso aos medicamentos no bem-estar das populações, além de analisar os desafios sociais e políticos relacionados à distribuição equitativa desses produtos. Essa integração não apenas reforça a importância do diálogo entre áreas de conhecimento, mas também posiciona a Engenharia química como elemento fundamental na solução de problemas complexos relacionados à saúde e à inovação tecnológica. A abordagem transdisciplinar e interdisciplinar, entendendo-as nas diversas relações da Engenharia química com as demais áreas do conhecimento permite, a nosso ver, a garantia básica, em última análise, da preservação da vida.

Pode-se estender as abordagens dialógicas, além da transdisciplinaridade e da interdisciplinaridade, para o universo da Engenharia química. Para tanto, lança-se mão de conceitos sobre pluridisciplinaridade, multidisciplinaridade e disciplinaridade. Assim, ao se mencionar tanto interdisciplinaridade quanto multidisciplinaridade, tais conceitos se referem à outra área de conhecimento ou de habilitação externa à Engenharia química. Enquanto a pluridisciplinaridade guarda semelhança à transdisciplinaridade, a multidisciplinaridade, por sua vez, aproxima-se da interdisciplinaridade. O Quadro 1 exemplifica conceituações atreladas à formação de profissionais de Engenharia Química.

Quadro 2 - Contribuições dos saberes na obtenção de fármacos imunossupressores (a partir de Bertan e Cremasco, 2022).

Áreas do conhecimento	Exemplo
Ciências Humanas	1) Inserção social do profissional de engenheira(o) química(o) (filosofia, ética, sociologia). 2) Comunicação oral e escrita para o projeto de engenharia (comunicação e expressão).
Ciências Biológicas	1) <i>Streptomyces tsukubaensis</i> (crescimento bacteriano) 2) Pré-inóculo e inóculo (condições de fermentação).
Ciências Exatas	1) Representação matemática da fermentação, microfiltração, ultrafiltração, adsorção e cristalização. 2) Estrutura molecular dos fármacos imunossupressores.
	1) Balanços termodinâmico (afinidade) no processo de extração (termodinâmica, contribuição de grupos).

Ciências da Engenharia Química	2) Difusão capilar na microfiltração; cinética de fermentação.
Tecnologias da Engenharia Química	1) Produção de fármacos imunossupressores via fermentação (reator biológico, sistema de agitação). 2) Retenção de biomassa e proteínas via processos de separação por membranas; purificação dos fármacos imunossupressores (adsorção, cristalização).
Gestão	1) Projeto técnico e dimensionamento de equipamentos: reator, filtro, coluna etc. (gestão tecnológica). 2) Estudo da viabilidade técnico-econômica e socioambiental (Gestão organizacional).

3. ESSENCIALIDADE DA DEMANDA SOCIAL EM UM PROJETO DE ENGENHARIA

A metodologia adotada neste trabalho integra princípios da Engenharia Química com o objetivo mais amplo de aprimorar o acesso a medicamentos essenciais por meio de uma abordagem transdisciplinar para a resolução de problemas, especificamente o fornecimento de fármacos macrolídeos. A prospecção do objeto de estudo, ou seja, do que se pretende processar, inicia-se com a identificação de um tema universal equidade em saúde permitindo um diálogo transdisciplinar entre áreas como medicina, saúde pública e engenharia. Sob este aspecto, busca-se contextualizar a Engenharia Química, particularmente, Engenharia de Processos, mais especificamente, de bioprocessos, tendo por início a identificação de uma temática de cunho universal e transversal, de modo a possibilitar o diálogo transdisciplinar entre diversos saberes e conhecimentos. Para tanto, lança-se mão dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Quadro 1. A partir de então se elege um ou mais objetivos. No presente trabalho, acolhe-se o 3º objetivo, Saúde e bem-estar, e o 9º objetivo, Inovação e infraestrutura. Ao se identificar tais objetivos, procura-se contribuições específicas e expertises de determinado saber, como no caso da Engenharia química, mais especificamente em Engenharia de bioprocessos, agora numa visão interdisciplinar de modo a interagir com as outras áreas do conhecimento, como, por exemplo, Políticas públicas. Tais elementos convergem naturalmente para a temática transdisciplinar Imunossupressão, trazendo-o, todavia, a expertise interdisciplinar para o campo de saber da Engenharia química, identificando-se o processamento para a obtenção dos fármacos macrolídeos (Figura 1.4), sob o ponto de vista de inovação quanto ao processo a ser utilizado, assim como se direciona a fármacos de forte apelo social. Nesse contexto, a produção de imunossupressores como tacrolimo e ascomicina foi escolhida devido ao seu papel crítico na medicina de transplantes e no tratamento de doenças autoimunes, assim como devido à relevância para aprimorar a produção farmacêutica e garantir a disponibilidade de medicamentos essenciais. Partindo, portanto, do atendimento a certa demanda social para determinado produto, o seu processamento

dá-se na identificação de um problema social, cujo impacto final do processo é de natureza sustentável, conforme oferece a Figura 7.

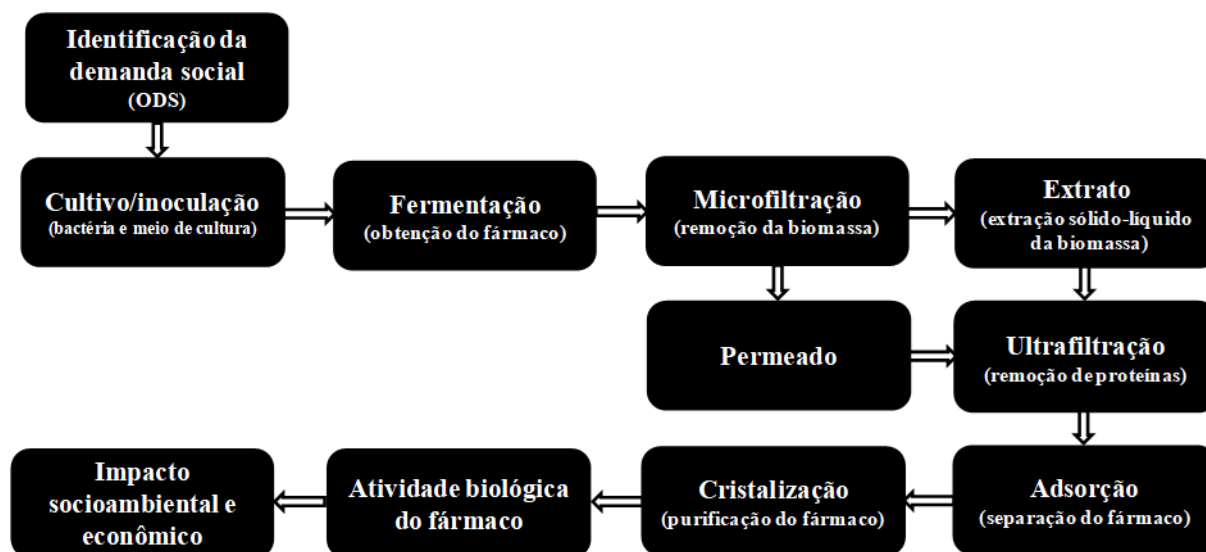


Figura 7 - Fluxograma geral da produção e recuperação de bioprodutos.

Além da identificação deste trabalho na esfera dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, pode-se identificá-lo na conceituação de Desenvolvimento Sustentável propriamente dita, que se baseia fundamentalmente em três dimensões que dialogam entre si, sendo elas ambiental, social e econômica (Figura 8), as quais satisfazem as necessidades da geração presente sem comprometer com aquelas das gerações futuras.

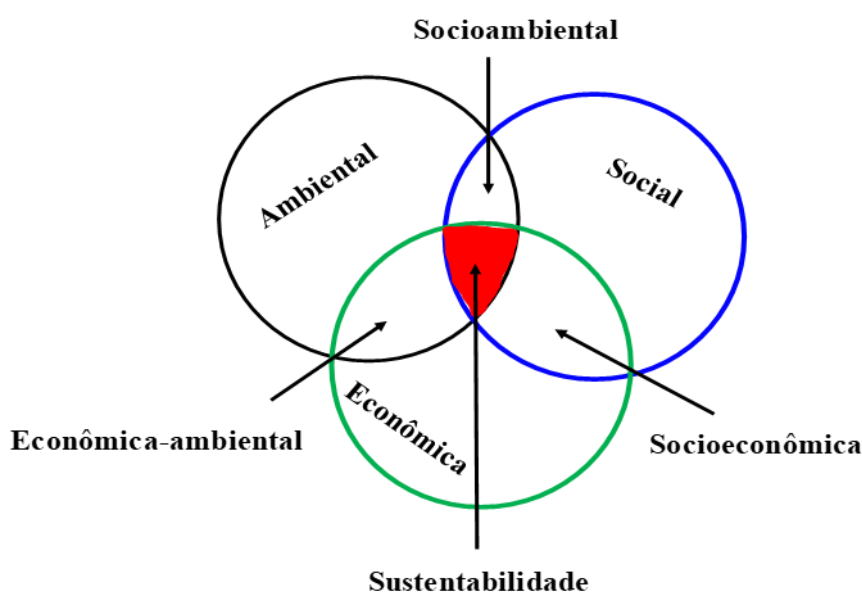


Figura 8 - Interconexões entre as dimensões do Desenvolvimento Sustentável.

As conexões entre as dimensões ampliam o conceito do Desenvolvimento Sustentável, aproximando-se das metas ODS. Neste trabalho, pode-se analisar a Figura 1.8, extraído dela o processamento da biomassa de modo a vê-la sob a ótica apresentada na Figura 1.9. Caso a biomassa não fosse aproveitada e, portanto, descartada, acarretaria um problema ambiental. Ao aproveitá-la, além do impacto ambiental positivo, obtém-se ganho econômico tendo em vista o valor financeiro dos fármacos, como também haverá o incremento de sua produção, beneficiando a população, ou seja, haverá, por via de consequência, o ganho social. Tem-se, portanto, a própria sustentabilidade, esta entendida como o equilíbrio nas dimensões que caracterizam o Desenvolvimento Sustentável (CREMASCO, 2014). De posse das dimensões encontradas nas Figuras 7 e 8, bem como das informações contidas no Quadro 1, oferecemos o Quadro 3, do qual se identifica as dimensões de Desenvolvimento Sustentável associadas ao presente trabalho. Constata-se que cerca de 70 % deste trabalho pode ser identificado à dimensão socioeconômica (veja a Figura 8), principalmente pela interconexão entre os 3º e 9º ODS (saúde e inovação), e 30 % pela tripla conexão entre as dimensões social, econômica e ambiental, sendo esta devido ao reaproveitamento da biomassa, minimizando o impacto ambiental.

Quadro 3 – Contextualização deste trabalho quanto às características de Desenvolvimento Sustentável.

Etapas do processamento	Dimensões do Desenvolvimento Sustentável			ODS
	Ambiental	Social	Econômico	
Identificação da demanda social	X	X	X	Todos
Cultivo/inoculação		X	X	3; 9
Fermentação		X	X	3; 9
Extração	X	X	X	3; 9; 12; 15
Microfiltração		X	X	3; 9
Ultrafiltração		X	X	3; 9
Adsorção		X	X	3; 9
Cristalização		X	X	3; 9
Atividade biológica		X	X	3; 9
Impacto socioambiental e econômico	X	X	X	Todos

CONCLUSÃO

O déficit na balança comercial de produtos químicos totalizou US\$ 48,7 bilhões, em 2024. Isto muito se deveu a elevações nos volumes de importações em importantes grupos importantes de produtos químicos de uso industrial no Brasil, sendo eles: resinas e elastômeros (32,4%); orgânicos (14,3%); inorgânicos (9,1%); e outros químicos diversos para uso industrial (9,3%). Esse montante financeiro ficou atrás, na série histórica brasileira na indústria química, o ano de 2022, cujo déficit fora de US\$ 63 bilhões, de 2022. Tais resultados, por si só, poderiam levantar questões centrais quanto à força motriz para um projeto químico, ou seja, eleger-se, por exemplo, a necessidade de se produzir um insumo orgânico, e todo o processamento baseia-se em tal necessidade. Sem dúvida, que o olhar da tecnologia nacional deve ser voltado para tanto, contudo o Brasil é um país marcado pela desigualdade social. No início década de 2020, coincidente com a crise pandêmica do coronavírus bem como a crise da indústria química, quanto ao déficit de importação, mais de 50 milhões de brasileiras e brasileiros estavam em situação de pobreza. Em 2018, 44% dessa população encontrava-se na região Nordeste, sendo que nesta e na região Norte do país, os indicadores de pobreza estavam acima da média nacional. Nessa estatística, os pretos e pardos correspondiam a 72,7 % dos que estavam em situação de pobreza ou extrema pobreza e, dentre esses, as mulheres pretas ou pardas faziam parte do maior contingente.

Não se trata, jamais, de confrontar demandas empresariais e sociais, mas sim buscar o equilíbrio sustentável, por meio, por exemplo, da observação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Quadro 1, podendo-se citar os seguintes objetivos: 1. Erradicação da pobreza; 8. Trabalho decente e crescimento econômico; 9. Indústria, inovação e infraestrutura; 12. Consumo e produção responsáveis; 16. Paz, justiça e instituições eficazes; 17. Parcerias e meios de implementação. No caso das áreas tecnológicas, em particular da Engenharia química, a qual está umbilicalmente atrelada à Indústria química e, portanto, deve estar atenta quanto aos déficits recém mencionados, inovação tecnológica é vital.

Além de atender às demandas produtivas, a inovação tecnológica deve estar alinhada à inovação solidária e tecnologia social destinadas à solução de problemas científicos que afetam a dignidade humana, a começar pela saúde, assunto deste trabalho. A dignidade humana não pode ser ignorada, pois quando é desconsiderada ou ignorada, especialmente em relação a minorias ou pessoas excluídas, elas se tornam invisíveis, desprovidas de valor e propósito. Pacientes que necessitam de imunossuppressores, por exemplo, muitas vezes enfrentam essa invisibilidade, sendo vistos como

descartáveis, especialmente quando dependem desses medicamentos e não têm acesso a eles. Portanto, a busca pela inovação não deve apenas atender a questões técnicas, mas também garantir que todos os seres humanos, independentemente de sua condição, tenham acesso ao tratamento e à dignidade que merecem.

Avanços tecnológicos são essenciais, não apenas para minimizar déficits ou eliminá-los, mas para tornar a produção mais eficiente e sustentável, reduzindo custos, otimizando recursos e aumentando a disponibilidade de, por exemplo, medicamentos essenciais. Assim, entendemos que a demanda social deve estar ao mesmo pé de igualdade com aquela empresarial, demonstrando a relevância da inovação tecnológica para promover a saúde e o bem-estar da população invisível e de excluídos, pois se eles não têm voz, que sejamos seus porta-vozes, e caso se façam ouvir, que tenhamos a humildade de ouvi-los e usar as nossas expertises técnica e humana para dirimir os seus sforimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. Indústria química brasileira fecha 2024 com cerca de US\$ 50 bilhões de déficit. 05 fev. 2025. Disponível em: <https://abiquim.org.br/comunicacao/noticia/11709>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BERTAN, A. S.; CREMASCO, M. A. Chemical Engineering and transdisciplinarity against COVID-19. In: SOUZA, P. M.; OLIVEIRA, E. A. (Org.). *Engenharia química: inovação e tradição em tempos de pandemia*. 1. ed. Recife: Even3 Publicações, 2021, v. 1, p. 24-42.

BERTAN, A. S.; CREMASCO, M. A. A importância da transdisciplinaridade para a obtenção de fármacos imunossuppressores no contexto da aprendizagem baseada em problemas. In:

PAIVA, R. M.; VIESBA, L. M. (Org.). *Metodologias ativas: aprendizagem baseada em problemas*. 1. ed. Diadema: V & V Editora, 2022, v. 1, p. 81-95.

CHEN, T. S.; LI, X.; PETUCH, B.; SHAFIEE, A.; SO, L. Structural modification of the immunosuppressants FK-506 and ascomycin using a biological approach. *CHIMIA*, v. 53, n. 12, p. 596 – 600. 1999.

CREMASCO, M. A. Vale a pena estudar engenharia química. 3 ed. São Paulo, Blucher, 2014, 206 p.

GUGLIANO, M. Pandemia atrasa fila de espera por transplantes. 13 maio 2020. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/pandemia-atrasa-fila-de-espera-por-transplantes/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

IHME, Global Burden of Disease. Global causes of death. Disponível em: <https://ourworldindata.org/data-insights/covid-19-was-the-third-largest-cause-of-death-in-2021>. Acesso em: 05 fev. 2025.

MAGALHÃES, C. Pacientes renais vivem aflitos em tempo do novo coronavírus. 27 abr. 2020. Disponível em <https://www.oliberal.com/para/pacientes-renais-vivem-aflitos-em-tempos-do-novo-coronavirus-1.261606>. Acesso em 02 jan. 2025.

MASCARENHAS, E. Hemodiálise na pandemia: assistente social relata impactos na rotina das clínicas. 16 abr. 2020. Disponível em: <https://www.brasildefatorj.com.br/2020/04/16/hemodialise-na-pandemia-assistente-social-relata-impactos-na-rotina-das-clinicas>. Acesso em 05 de jan. 2025.

ONU. About our work to achieve the Sustainable Development Goals in Brazil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 01 fev. 2025.

PETKOVIC, H.; KUSCER, E.; FUJS, S.; KOPITAR, G.; MRAK, P.; KOSEC, G. Process for preparation of tacrolimus. *European Patent Specification*. EP 2 451 955 B1. Date of publication of application: 16.05.2012.

REEVES, C. D.; CHUNG, L. M.; LIU, Y.; XUE, Q.; CANEY, W.; REVILL, P.; KATZ, L. A new substrate specificity for acyl transferase domains of the ascomycin polyketide synthase in *Streptomyces hygroscopicus*. *The Journal of Biological Chemistry*, v. 277, n. 11, p. 9155–9159, 2002.

SISMOTTO, M.; PASCHOAL, J. A. R.; REYES, F. G. R. Aspectos analíticos e regulatórios na determinação de resíduos de macrolídeos em alimentos de origem animal por cromatografia líquida associada à espectrometria de massa. *Química Nova*, v. 36, n. 3, p. 449-461, 2013.

SOUZA, J. S.; REIS, E. A.; GODMAN, B.; CAMPBELL, S. M.; MEYER, J. C.; SENA, L. W. P.; GODÓI, I. P. D. Users' perceptions of access to and quality of Unified Health System services in Brazil: a cross-sectional study and implications to healthcare management challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, n. 6, p. 721, 2024.

Capítulo 8

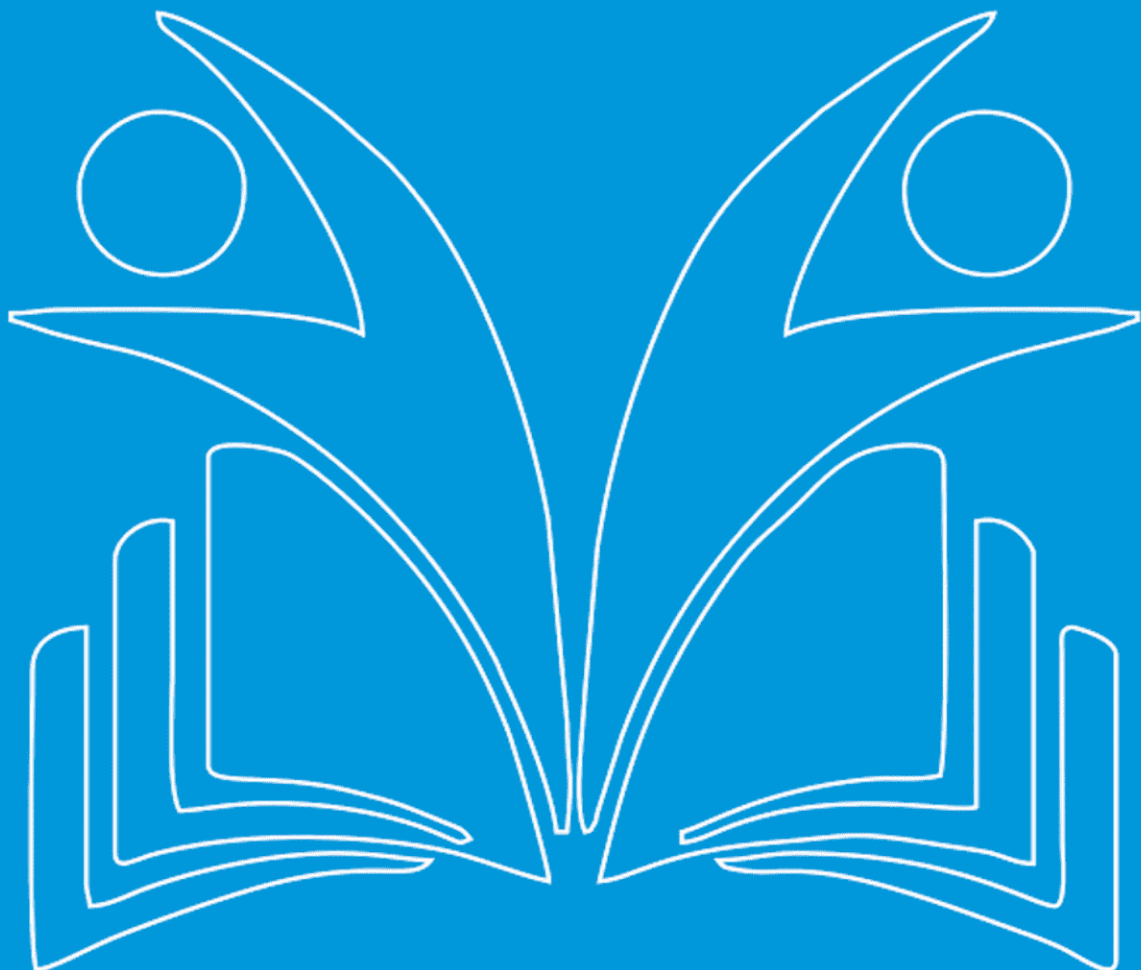


10.37423/250209722

ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO LÍQUIDO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORO GASOSO COMO OXIDANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Bartholomeu Siqueira Júnior

Companhia Pernambucana de Saneamento



• OBJETIVO DO TRABALHO

O estudo teve objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição do Cloro gasoso pelo Peróxido de Hidrogênio líquido na pré-oxidação dos compostos presentes na água bruta (Ferro, Manganês, matéria orgânica, etc) da ETA Várzea do Una situada em São Lourenço da Mata –PE. Visando a comparação em termos de eficiência de remoção foram analisados parâmetros físicoquímicos (Turbidez, Cor Aparente, pH, Ferro, Manganês, Cloro, Peróxido de Hidrogênio e Trihalometanos Totais) e parâmetros Hidrobiológicos (Cianobactérias e cianotoxinas) na água em vários pontos do processo de tratamento, e cada parâmetro teve uma periodicidade de amostragem específica. Foram analisados os dados durante os dias de aplicação do Peróxido de Hidrogênio e também depois quando o Cloro voltou a ser utilizado como oxidante na ETA.

• METODOLOGIA UTILIZADA

O teste operacional foi realizado na ETA Várzea do Una, que tem uma concepção de ciclo completo, constituída de floculadores, decantadores, filtros ascendentes e tanques de armazenamento e aplicava Cloro no início do tratamento e utilizava Sulfato de Alumínio como coagulante. Durante 13 dias a ETA passou a utilizar Peróxido de Hidrogênio Líquido a 50%, na água bruta na entrada do tratamento, em substituição ao Cloro gasoso e passou a aplicar Cloro somente na água filtrada para garantir o residual necessário para desinfecção. Anteriormente ao teste o Cloro era totalmente aplicado no início da ETA e o necessário na desinfecção era o residual que atravessava todo o processo sem ser consumido. O ponto de aplicação do produto era na torre de carga anterior ao floculadores.

Foi realizado um monitoramento de alguns parâmetros físicoquímicos em várias amostras de água ao longo do processo, com periodicidades diferentes, algumas são análises operacionais rotineiras da estação (realizadas no laboratório da ETA) e outras foram análises específicas realizadas em outros laboratórios, tanto da própria empresa quanto externos. A Tabela Nº1 apresenta os parâmetros avaliados, juntamente como o ponto de amostragem e informações das técnicas analíticas usadas:

Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas utilizadas nas análises de processo e monitoramento da qualidade:

Parâmetro/Unidade/ Periodicidade/	Amostras de Água	Técnica Analítica	Equipamento
Turbidez (UNT) (cada 2 h)	Bruta, decantada, filtrada, tratada	Nefelométrico	Turbidímetro Hach 2110 P
Cor Aparente (uH) (cada 2 h)	Bruta, decantada, filtrada, tratada	Método Colorimétrico	Colorímetro Visual DLNH-100 Del Lab
pH (cada 2 h)	Bruta, Decantada, filtrada, tratada	Método Colorimétrico	Kit pH -Modelo 17N Hach
Ferro (mg/L) (3 X/dia)	Bruta, Tratada	Método Colorimétrico	Kit Ferro-Microquant 14759
Manganês (mg/L) (2 X/dia)	Bruta, Tratada	Método Colorimétrico	Kit Manganês Aquaquant
Residual de Cloro (mg/L) (cada 2 h)	Tratada	Método Colorimétrico	Kit DPD
Residual de Peróxido (mg/L) (cada 2 h)	Decantada, filtrada	Método Colorimétrico	Colorímetro Hach DR/890
Cianobactérias (cél/mL)	Bruta	Método Sedgewick- Rafter	-----
Cianotoxinas((microg/L) (5 amostras- 3 durante o teste e 2 após)	Tratada	Método ELISA	-----
Trihalometanos Totais (mg/L) (3 amostras durante o teste)	Filtrada, tratada	VOC:POP PA 075(Ver.04)/USEPA- SW846 82060C,5021A	Cromatógrafo

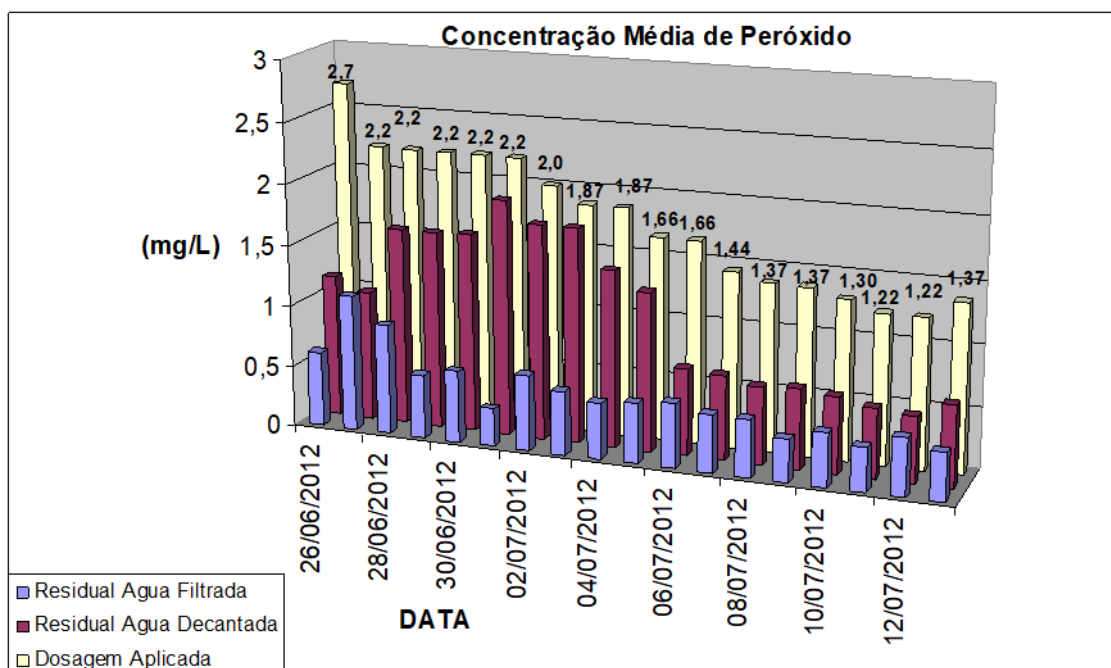
• RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Iniciamos o Teste Operacional aplicando uma dosagem de 2,7 mg/L de Peróxido de Hidrogênio a 50%. A dosagem inicial foi determinada por ensaios de Jar-Test que evidenciaram 2 informações: indicaram uma dosagem mínima de 1,5mg/L para ocorrer remoção de Ferro e valores residuais de Peróxido altos para dosagem acima de 2,5mg/L. Durante todo o teste foi almejado dosar uma quantidade de Peróxido que garantisse a oxidação dos compostos (ferro, manganês, matéria orgânica, etc) e que permanecesse com o mínimo de residual possível na água filtrada, pois cada 1ppm de Peróxido residual consome de 1-2 ppm de Cloro.

Ao longo do teste foi diminuída a concentração do H₂O₂ gradativamente, de modo que a ETA se adaptasse à variação de dosagem, com o objetivo de aumentar a eficiência do tratamento e produzir água dentro dos padrões normais da estação e da legislação vigente.

O Gráfico Nº1 apresenta as concentrações médias diárias de Peróxido, tanto na dosagem aplicada, quanto no processo ao longo dos dias de experimento.

Gráfico Nº1. Concentração média de Peróxido de Hidrogênio.



Nos parâmetros analisados foram constatadas eficiências médias de remoção semelhantes, tanto com uso do Cloro Gasoso quanto Peróxido de Hidrogênio como pré-oxidante, na maioria dos requisitos analisados, porém em alguns houve uma melhor performance de um oxidante específico. A Tabela Nº 2 exemplifica os valores de remoção média de cada parâmetro nos períodos do teste (13 dias) e posterior a este (15 dias):

Tabela Nº2: Remoção Média de cada parâmetro.

OXIDANTE: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO		Oxidante: CLORO GASOSO	
Parâmetro	Remoção Média (%)	Parâmetro	Remoção Média (%)
Turbidez	95,92	Turbidez	96,66
Cor	96,99	Cor	97,33
Ferro	95,24	Ferro	96,22
Manganês	33,05	Manganês	62,55
	Diminuição Média (%)		Diminuição Média (%)
pH		pH	

As análises de Trihalometanos demonstraram que o Péróxido de Hidorgênio não reage com a matéria presente na água bruta e não forma tais composto, ao contrário do Cloro, que formou os trihalometanos em qualquer etapa do processo, mesmo na água filtrada onde a quantidade de matéria

orgânica deve ser inferior ao da água bruta. A Tabela Nº3 mostra os resultados das análises de Trihalometanos na água filtrada e tratada.

Tabela Nº3. Resultados das Análises de Trihalometanos Totais.

Amostra	Data de Coleta	Resultados
Água Filtrada (Antes da Cloração)	12/07/12 (Oxidante:Peróxido)	<0,004 mg/L
Água Tratada (Pós-Cloração)	12/07/12 (Desinfetante : Cloro)	0,043 mg/L
Água Tratada (Pós-Cloração)	02/08/12 (Oxidante e Desinfetante :Cloro)	0,074 mg/L

OBS: 0,004 mg/L é o limite de detecção do método utilizado.

Após a estabilização do processo de tratamento com o peróxido pudemos estimar o consumo do produto e os custos com o oxidante, tanto com o produto normalmente utilizado (Cloro), quanto com o produto testado.

Tabela 4. Custos com produtos químicos na pré-oxidação e desinfecção.

	Produto	Consumo (Kg/dia)	Consumo (kg/mês)	Preço Unitário (R\$/Kg)	Custo por produto (R\$/Kg)	Custo Total (R\$/mês)	Redução de Custo-R\$ (%)
OPERAÇÃO NORMAL	Cloro (pré-oxidação e desinfecção)	437,2	13.116	5,00	65.580	65.580	-----
TESTE	Peróxido (pré-oxidação)	74,28	2.228,4	2,80	6.071,5	59.627,32	5.952,7 (9,08%)
	Cloro (na desinfecção)	355,92	10.677,6	5,00	53.388		

Nas condições encontradas no teste, as reduções de custos mensal e anual com uso do peróxido são as seguintes:

Economia por mês=**R\$ 5.952,70**

Economia por ano=**R\$ 71.432,4**

• CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

De um modo geral tanto o Peróxido de Hidrogênio quanto o Cloro demonstram-se eficientes como oxidantes no processo de tratamento de água no presente estudo, fato comprovado pela equivalência

na remoção dos parâmetros físicoquímicos analisados, excetuando os valores de Trihalometanos (menor quantidade formada) e pH (menor variação), que foram claramente favoráveis ao Peróxido e no quesito Manganês com eficiência de remoção superior para o Cloro. O uso do Peróxido apresentou facilidade na operação e segurança para trabalhadores envolvidos.

A análise econômica dos testes demonstra que o custo com o produto químico oxidante é menor com a Aplicação de Peróxido de Hidrogênio do que com Cloro Gasoso, com uma diminuição de 9%. Com base nos dados apresentados tanto a análise técnica quanto a análise econômica mostram que o Peróxido de Hidrogênio a 50% é um produto viável de ser utilizado em Estações de Tratamento de Água para consumo em substituição ao Cloro Gasoso como oxidante dos compostos presente na água bruta.

• REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and

Wastewater. 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

DI BERNARDO Luiz; DANTAS A. Di Bernardo. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rima, 2ª Edição, Volume 1. São Carlos, SP, 200

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011b.

Capítulo 9

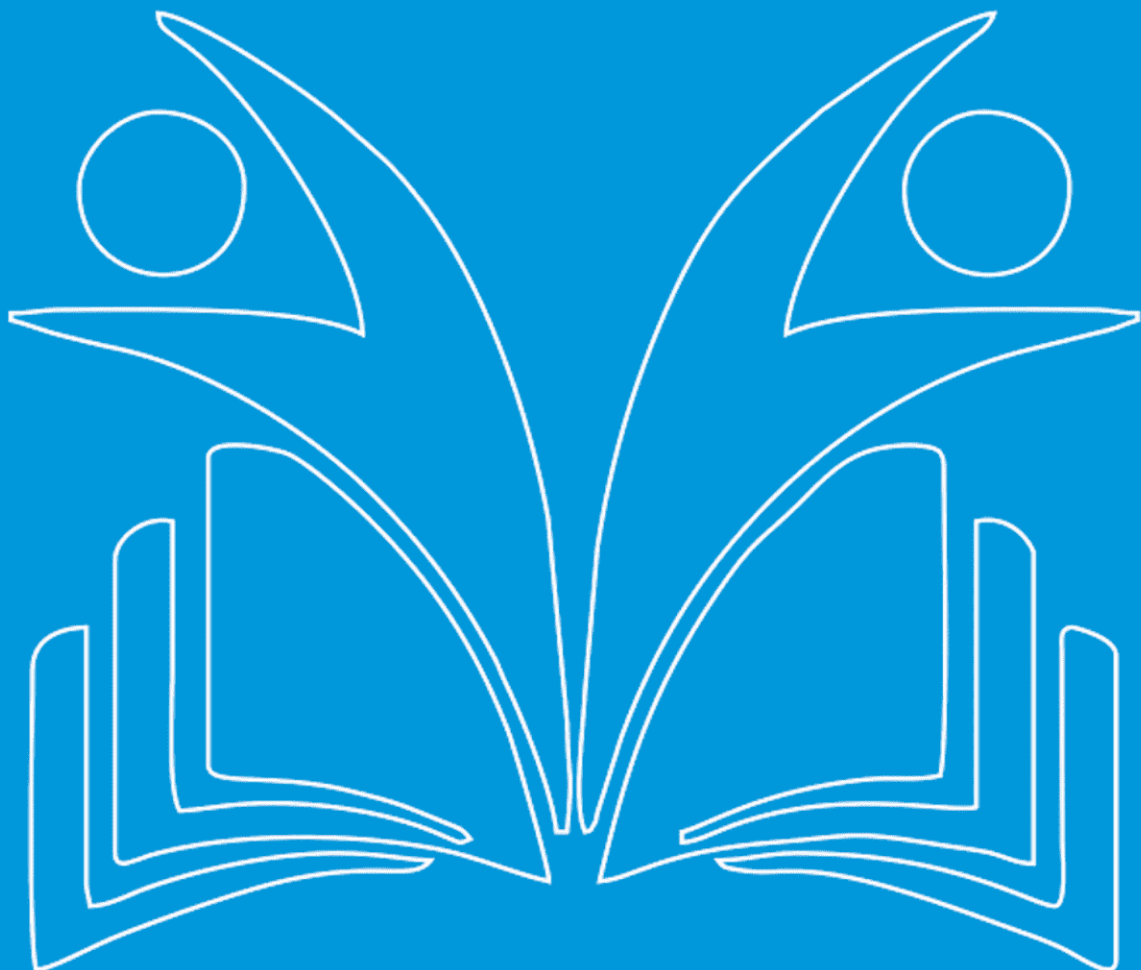


10.37423/250209723

PROGRAMA DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SOBRAL: O DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE

EDER PAULUS MORAES GUERRA

*UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO
ACARAÚ*



Resumo: Significativas mudanças no processo de gestão de resíduos sólidos da construção civil se fazem necessárias para que a sociedade caminhe na direção do desenvolvimento sustentável, afinal a construção civil é responsável por uma enorme cadeia produtiva, também denominada *construbusiness*. A construção civil apresenta intenso impacto ambiental em todos os estágios do seu processo: extração de matérias primas, produção de materiais, construção, uso e demolição. Nessa perspectiva, uma sociedade realmente consciente com este tema deve incentivar o desenvolvimento da construção civil como prioridade. Nesse contexto, o presente trabalho propõe um modelo de inserção de políticas de Gestão de Resíduos Sólidos da construção civil na perspectiva da sustentabilidade para o município de Sobral-Ce. A finalidade é sistematizar metodologicamente um programa de gestão dos Resíduos Sólidos, levando em consideração sua sustentabilidade ambiental, social, econômica, tecnológica e de implementação e operação, como alternativa de complementaridade. Deste modo, é relevante elaborar uma análise comparativa da situação da reciclagem e demais aspectos da gestão de resíduos sólidos, tanto do ponto de vista de sua viabilidade econômica quanto dos aspectos sociais envolvidos. O trabalho, portanto, definirá uma medida de intensidade dos impactos que um projeto de Gestão de Resíduos Sólidos da construção civil pode causar na melhoria da qualidade de vida da cidade de Sobral-Ce. Metodologicamente, este estudo será de natureza aplicada, pois busca desenvolver conhecimentos para utilização prática direcionada à solução de problemas específicos de interesses locais.

Palavras-chave: Gestão, Resíduos Sólidos, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial foi um marco significativo no processo de evolução do ser humano, reinventando as técnicas produtivas e, tornando-as mais eficientes do ponto de vista produtivo. Todavia, este processo faz com que o consumismo exacerbado esteja cada vez presente e enraizado na sociedade, resultando em uma maior necessidade de extração de matérias-primas que por sua vez serão transformadas em resíduos, que na maioria das vezes proporcionam a degradação do meio ambiente.

O gerenciamento de resíduos sólidos e o controle ambiental são considerados, dentro do ramo de gestão ambiental urbana, potencializadores para o desenvolvimento de um município, visto que investimentos nessas áreas retornaram em benefício à população. De acordo com Torette (2013) as prefeituras têm responsabilidades cada vez maiores com os recursos naturais, sendo que todos os setores devem estar interligados e unificados no mesmo propósito, a implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos.

O manejo adequado de resíduos sólidos é fundamental para a promoção da qualidade de vida da população, pois quando não acondicionados, coletados, transportados, tratados e dispostos de forma adequada proporcionam a proliferação de muitos vetores que trazem consigo doenças, ocasionando um grave problema de saúde pública. Além disso, resíduos não tratados podem contaminar águas superficiais e subterrâneas, podendo resultar em uma crise hídrica que comprometeria o abastecimento, sobretudo em Sobral-Ce que faz parte do semiárido brasileiro.

Desenvolver sistemas gerenciais que possibilitem a destinação eficiente dos resíduos gerados pela construção civil é um dos principais desafios da sociedade contemporânea. Nenhum município ecologicamente responsável e comprometido com a sustentabilidade dos recursos naturais e humanos pode ignorar a seriedade desse problema.

Há crescente necessidade de desenvolver e ampliar sistemas de gestão mais eficientes desde os aspectos ambiental, econômico e social em diferentes esferas - industrial, educacional, construção civil etc. - impulsionada pela conscientização ambiental e/ou pela rigidez e ampliação da legislação ambiental brasileira.

Um modelo conhecido como gestão integrada de resíduos sólidos Urbanos baseia-se no desenvolvimento simultâneo de cinco itens: emprego de tecnologias limpas, viabilidade econômica, comunicação e educação ambiental, inclusão social e aspectos sanitários e ambientais. Além de um

conjunto de ações voltadas para soluções a gestão integrada de resíduos sólidos considera as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. O Gerenciamento de resíduos sólidos caracteriza-se pelo conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com algum plano exigidos na forma da Lei. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entende-se que a participação da sociedade no processo de gerenciamento de resíduos sólidos deixa de ser casual para apresentar-se como verdadeiro dever, como consta na Constituição de 1988, Art. 225.

[...] todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida sadia, impondo-se ao poder público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Paralelo à história da humanidade, a ideia de progresso se entrelaça com o gradativo domínio, exploração e transformação da natureza. Partindo do princípio que os recursos naturais são considerados finitos, depreende-se que a preservação da natureza é vista de forma geral como antagônica ao desenvolvimento. Assim, “[...] a preservação da natureza significou a criação de parques, áreas especiais destinadas à preservação de amostras da natureza para as gerações futuras, evitando-se a extinção de espécies” (JOHN, 2001, p. 28).

Atualmente, resíduos gerados durante a elaboração e ao final da vida útil dos produtos são depositados em aterros, evidenciando um modelo linear de produção. Segundo John (2001, p. 28)

O primeiro alerta dos limites desse modelo foi a poluição do ar e da água, que levou à geração do conceito de controle ambiental da fase de produção industrial, com o estabelecimento de rígida legislação limitando a liberação de poluentes e com a criação de Agências Ambientais. Em grande medida, essa visão ainda está presente no movimento ambiental, algumas vezes denominado de preservacionista, e na ainda limitada consciência ambiental dos brasileiros. Preservação ambiental é, antes de tudo, preservação de espécies em extinção, de áreas de matas nativas e rios.

O conceito de desenvolvimento sustentável se consolida como consequência da compreensão acerca da inépcia desse modelo de desenvolvimento e de preservação ambiental assegurar a qualidade de vida necessária à espécie humana. Afinal, apesar do progresso científico sobre os efeitos de poluentes,

as ações de devastação da natureza avançam e demonstram a necessidade de remodelação mais eficaz dos processos produtivos e de consumo, bem como do destino dado aos resíduos provenientes desses processos. Nesse âmbito, faz-se necessária uma reestruturação da gestão de resíduos como forma de diminuir o impacto no meio ambiente.

O panorama estatístico atual apresenta a construção civil como uma das grandes responsáveis pela produção de resíduos e, conseqüentemente, pela poluição ambiental. Os dados evidenciam que o macrocomplexo da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais. Segundo Sjöström (1992), a construção civil opera aproximadamente entre 20 e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade. O campo consome, *exempli gratia*, grande volume de materiais com enorme conteúdo energético, que exigem ser transportados a longínquos lugares. Calcula-se que aproximadamente 80% da energia consumida na produção de um edifício é utilizada na produção e transporte de materiais.

Nesse contexto, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de aprofundamento de conhecimentos que possibilitem a elaboração e aplicação de um método de gestão de resíduos sólidos da construção civil, como estratégia de redução do desperdício dos materiais e do impacto ao meio ambiente. Por conseguinte, a pesquisa objetiva sistematizar um modelo de Gestão de Resíduos Sólidos da construção civil na perspectiva da sustentabilidade para o município de Sobral-Ce.

O estudo contará com a parceria do curso de Construção Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú e Secretaria de Urbanismo de Sobral. A finalidade é realizar uma Pesquisa Ação, visto que o estudo está relacionado à resolução de um problema coletivo, ou seja, os pesquisadores e participantes representativos do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Além da seção introdutória, o projeto apresenta a justificativa da pesquisa, seus objetivos, o problema, a revisão bibliográfica, as restrições e contribuições da pesquisa, a metodologia, resultados esperados e as referências bibliográficas utilizadas. O referencial teórico utilizado para fundamentar a pesquisa se baseia principalmente em Poon; Yu; Ng, (2001); Araújo (2002); Tozzi (2006); Banias et al (2011); Jailon, Poon e Chiang (2009); Nagalli (2014) e Conama (2002)

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Sistematizar um modelo de Gestão de Resíduos Sólidos da construção civil na perspectiva da sustentabilidade para o município de Sobral-Ce.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analisar as etapas de elaboração e implementação de um Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos que oriente para a destinação adequada dos resíduos gerados na construção civil;
- Metodizar um programa de gestão dos Resíduos Sólidos, levando em consideração sua sustentabilidade ambiental, social, econômica, tecnológica e de implementação e operação;
- Demonstrar a importância da redução da geração de resíduos, que pode ser alcançada pela redução do consumo e pelo aproveitamento dos resíduos;
- Implementar uma política de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil na cidade de Sobral-Ce.

METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza como sendo de Natureza Aplicada, pois “[...] objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (SILVA, 2004). Sua forma de abordagem será do tipo quantiquantitativa por considerar relações com o mundo real e também quantificáveis.

Seus objetivos atendem a Pesquisa Explicativa, pois “[...] visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o “porquê” das coisas” (SILVA, 2004).

Quanto aos procedimentos técnicos, realizaremos, além da Pesquisa Bibliográfica em artigos, livros, periódicos e materiais disponíveis na Internet, a Pesquisa Ação, pois terá um caráter de conceber e realizar estreita associação com resolução de um problema coletivo.

RESULTADOS ESPERADOS

Para alcançar o objetivo proposto neste trabalho, inicialmente estudaremos o estado da arte com finalidade de conhecer o que a ciência já descobriu sobre o assunto e evitar reproduzir o que já existe, bem como oferecer subsídios para referências, conceitos e paradigmas. A pesquisa terá como foco a construção de proposta de gestão de resíduos sólidos da construção civil para a cidade de Sobral-Ce.

A princípio, o desenvolvimento tecnológico da região e das construtoras e incorporadoras influem diretamente na produção de resíduos, pois se agrega a qualidade dos materiais e seus componentes; a formação da mão-de- obra; a sistematização de procedimentos operacionais e mecanismos de monitoramento e controle do processo construtivo. Nessa direção, Leite (2001) aponta as principais causas da geração de resíduos: A falta de qualidade dos bens e serviços, podendo isto dar origem às perdas de materiais, que saem das obras na forma de entulho; A urbanização desordenada que faz com que as construções passem por adaptações e modificações gerando mais resíduos; O aumento do poder aquisitivo da população e as facilidades econômicas que impulsionam o desenvolvimento de novas construções e reformas; Estruturas de concreto mal concebidas que ocasionam a redução de sua vida útil e necessitam de manutenção corretiva, gerando grandes volumes de resíduos; Desastres naturais, como avalanches, terremotos e tsunamis; Desastres provocados pelo homem, como guerras e bombardeios.

Tradicionalmente, o que ocorre no Brasil é a competência do Município sobre a gestão dos resíduos sólidos produzidos em seu território, com exceção dos de natureza industrial, mas incluindo-se os provenientes dos serviços de saúde.

O Município tem competência para estabelecer o uso do solo em seu território. Assim, é ele quem emite as licenças para qualquer construção e o alvará de localização para o funcionamento de qualquer atividade, que são indispensáveis para a localização, construção, instalação, ampliação e operação de qualquer empreendimento em seu território. Portanto, o Município pode perfeitamente estabelecer parâmetros ambientais para a concessão ou não destas licenças e alvará. A lei federal que criou o licenciamento ambiental, quando menciona que a licença ambiental é exigível "sem prejuízo de outras licenças exigíveis", já prevê a possibilidade de que os municípios exijam licenças municipais.

A indústria da construção civil é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduos. No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada favorece o desperdício na execução das novas edificações.

Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100kg/m², no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m² edificado.

A coleta do lixo é o segmento que mais se desenvolveu dentro do sistema de limpeza urbana e o que apresenta maior abrangência de atendimento junto à população, ao mesmo tempo em que é a atividade do sistema que demanda maior percentual de recursos por parte da municipalidade. Esse fato se deve à pressão exercida pela população e pelo comércio para que se execute a coleta com

regularidade, evitando-se assim o incômodo da convivência com o lixo e o entulho de construções nas ruas. Contudo, essa pressão tem geralmente um efeito seletivo, ou seja, a administração municipal, quando não tem meios de oferecer o serviço a toda a população, prioriza os setores comerciais, as unidades de saúde e o atendimento à população de renda mais alta. A expansão da cobertura dos serviços raramente alcança as áreas realmente carentes, até porque a ausência de infraestrutura viária exige a adoção de sistemas alternativos, que apresentam baixa eficiência e, portanto, custo mais elevado (IBAM, 2001).

Os serviços de varrição e limpeza de logradouros também são muito deficientes na maioria das cidades brasileiras. Apenas os municípios maiores mantêm serviços regulares de varrição em toda a zona urbanizada, com freqüências e roteiros predeterminados. Nos demais municípios, esse serviço se resume à varrição apenas das ruas pavimentadas ou dos setores de comércio da cidade, bem como à ação de equipes de trabalhadores que saem pelas ruas e praças da cidade, em roteiros determinados de acordo com as prioridades imediatistas, executando serviços de raspagem, capina, roçagem e varrição dos demais logradouros públicos. Em Sobral, através da Secretaria de Urbanismo existe uma rígida fiscalização para inibir a colocação dos entulhos decorrentes da construção civil nos logradouros públicos.

Algumas prefeituras de pequeno e médio porte como Sobral pode se enquadrar entre estas, e vêm contratando serviços de limpeza urbana, coleta e limpeza de logradouros, com cooperativas ou microempresas, o que se coloca como uma solução para as municipalidades que têm uma política de geração de renda para pessoas de baixa qualificação técnica e escolar.

A sustentabilidade econômica dos serviços de limpeza urbana é um importante fator para a garantia de sua qualidade. Em quase todos os municípios brasileiros, os serviços de limpeza urbana, total ou parcialmente, são remunerados através de uma "taxa", geralmente cobrada na mesma guia do Imposto Predial e Territorial

Urbano – IPTU –, e tendo a mesma base de cálculo deste imposto, ou seja, a área do imóvel (área construída ou área do terreno). Como não pode haver mais de um tributo com a mesma base de cálculo, essa taxa já foi considerada inconstitucional pelo Supremo Tribunal Federal, e assim sua cobrança vem sendo contestada em muitos municípios, que passam a não ter como arrecadar recursos para cobertura dos gastos dos serviços, que podem chegar, algumas vezes, a mais de 15% do orçamento municipal. De qualquer forma, em todos os municípios, a receita proveniente da taxa de

limpeza urbana ou de coleta de lixo é sempre recolhida ao Tesouro Municipal, nada garantindo sua aplicação no setor, a não ser a vontade política do prefeito.

O que se percebe mais recentemente é uma mudança importante na atenção que a gestão de resíduos tem recebido das instituições públicas, em todos os níveis de governo. Os governos federal e estaduais têm aplicado mais recursos e criado programas e linhas de crédito onde os beneficiários são sempre os municípios. Estes, por seu lado, têm-se dedicado com mais seriedade a resolver os problemas de limpeza urbana e a criar condições de universalidade dos serviços e de manutenção de sua qualidade ao longo do tempo, situação que passou a ser acompanhada com mais rigor pela população, pelos órgãos de controle ambiental, pelo Ministério Público e pelas organizações não-governamentais voltadas para a defesa do meio ambiente.

Entretanto, em todos os municípios brasileiros, faz-se uma constatação definitiva: somente a pressão da sociedade, ou um prefeito decididamente engajado e consciente da importância da limpeza urbana para a saúde da população e para o meio ambiente, pode mudar o quadro de descuido com o setor. E esse fato só se opera mediante decisão política, que pode resultar, eventualmente, num ônus temporário, representado pela necessidade do aumento da carga tributária ou de transferência de recursos de outro setor da prefeitura, até que a situação se reverta, com a melhoria da qualidade dos serviços prestados, o que poderá, então, ser capitalizado politicamente pela administração municipal de Sobral.

O investimento na gestão de resíduos sólidos é essencial para o desenvolvimento e crescimento do Brasil, principalmente para a solidificação de sua infraestrutura (LINO E ISMAIL, 2011). É possível utilizar o potencial de biogás para a geração de energia, evoluir na questão da reciclagem, que envolve aspectos sociais, ambientais e econômicos, criar parcerias público-privadas, entre outros desafios (CAMPOS, 2013).

Nota-se, portanto, a necessidade de um sistema de gestão onde os requisitos legais, técnicos e ambientais se complementem. Para consolidar essa visão esse estudo analisará o “estado da arte” sobre o tema pesquisado com base nos seguintes autores: Poon; Yu; Ng, (2001); Araújo (2002); Tozzi (2006) – técnicas de minimização da geração de resíduos e operacionalização dos programas de gerenciamento; Baniyas et al (2011) – estabelecem como medidas fundamentais voltadas á política de gerenciamento a promoção/planejamento da desconstrução de estruturas, o uso de materiais de construção ambientalmente amigáveis (eco-friendly), a substituição de substâncias perigosas, os incentivos para o uso de materiais de construção secundário e a introdução de uma legislação rigorosa

em relação à gestão do final do “ciclo de vida” dos materiais de construção; Jailon, Poon e Chiang (2009) – estabelecem em ordem decrescente de importância os fatores que costumam vigorar na seleção de determinados métodos de construção; Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Esses pesquisadores e diretrizes serão tomados como fontes básicas de referência para realizar o levantamento dos dados e suas análises, bem como auxiliarão na melhoria e desenvolvimento dos novos postulados, conceitos e paradigmas propostos nesta investigação.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A construção civil é responsável por grande parte da geração de resíduos. Nessa perspectiva, faz-se necessária a eficiente gestão dos resíduos da construção civil com a finalidade de assegurar a correta gestão dos resíduos durante as habituais atividades de execução das obras e dos serviços de engenharia. Nesse sentido, a gestão eficaz fundamenta-se essencialmente nas “[...] estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos, primando pelas estratégias de redução da geração de resíduos na fonte” (NAGALLI, 2014, p.9).

Num panorama nacional, esse assunto vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010, que normatizou o setor, indicando várias obrigações aos governantes e às corporações, objetivando a eficiência e eficácia produtiva e a preservação ambiental em todas as obras.

Um modelo de gerenciamento de resíduos na construção civil focaliza com mais nitidez os objetivos importantes da questão, que é a elevação da urbanidade em um contexto mais nobre para a vivência da população, onde haja manifestações de afeto à cidade e participação efetiva da comunidade no sistema, sensibilizada a não sujar as ruas em suas obras, a reduzir o descarte, a reaproveitar os materiais e reciclá-los antes de encaminhá-los ao lixo.

O gerenciamento de resíduos, portanto, deve estabelecer um conjunto de ações operacionais que visem diminuir a geração de resíduos nos canteiros de obra. Segundo Nagalli (2014, p.9-10), a gestão deve se estruturar “por meio de um programa ou plano, costuma abranger conteúdos relacionados a seu planejamento, delimitação e delegação de responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos (materiais humanos, financeiros, temporais etc) atividades de capacitação e treinamento, diagnóstico e/ou prognóstico de resíduos”.

As diretrizes, critérios e procedimentos da gestão de resíduos da construção civil estão normatizadas pela Resolução Conama No 307 (CONAMA, 2002). Essa resolução indica que resíduos da construção civil são aqueles materiais remanescentes “[...] de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos” (NAGALLI, 2014, p.10), por exemplo: [...] tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gessos, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plástico, tubulações, fiações elétrica etc. comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. (CONAMA, 2002).

Espera-se que esse estudo contribua positivamente para gestão de resíduos sólidos da cidade de Sobral, com vistas a redução, reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos da construção civil de forma que colabore na melhoria da qualidade de vida da população sobralense numa perspectiva da sustentabilidade.

Por se tratar de um estudo crítico e analítico, que busca a implementação de uma política de gestão dos resíduos sólidos da construção civil da cidade de Sobral, eventualmente pode-se encontrar resistência por parte dos gestores públicos no fornecimento de dados.

RECOMENDAÇÕES

A redução e a reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vêm se estabelecendo como uma prática importante para a sustentabilidade seja diminuindo o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo seus custos. O tema em estudo, portanto, se justifica por retratar a problemática da maioria dos municípios brasileiros, cuja parte da população e governantes desconhece métodos e informações que podem ser úteis para gestão dos resíduos sólidos da construção civil, levando assim a má gestão e, conseqüentemente, prejuízo ao meio ambiente.

Diante do avanço do crescimento populacional do município de Sobral e, conseqüentemente o aumento da geração de resíduos devido ao grande número de obras na construção civil devido ao desenvolvimento da cidade, percebe-se a necessidade de rever continuamente os sistemas de coleta, transporte e disposição de resíduos, de modo a propor melhorias para que se adequem à realidade e atendimento dos anseios da população através do modelo de gestão na perspectiva da sustentabilidade.

Assim, é de suma importância o aprofundamento de conhecimentos que possibilitem a elaboração e aplicação de um método de gestão de resíduos sólidos da construção civil, como estratégia de redução do desperdício dos materiais e do impacto ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BANIAS, G. ACHILLAS, C.H.; VLACHOKOSTAS, C. H; MOUSSIOPOULOS, N; PAPAIOANNOU, I.A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*, v. 31, n11, p. 2497-2502, 2011.
2. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT - BRE. BREEAM 2002 for Offices. London: ECD Energy and Environment; University Press, Sept. 2001.
3. CAMPOS, H.K.T. Recycling in Brazil: challenges and prospects. *Resources. Conservation and Recycling*, v.85, 2013
4. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002 Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, páginas 95-96
5. EDWARDS, Brian C. Sustainable architecture: European directives and building design. 2a. edição, Architectural Press, Michigan, 1999.
6. FÉLIX, Ubiratan. Cidades sustentáveis e a Engenharia Urbano-Industrial. 61ª SOEAA Semana Oficial da Engenharia, Arquitetura e da Agronomia. São Luís, p. 59-69, Nov. / Dez. 2004.
7. IBAM. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Brasília, 2001. 130 p
8. JAILON, L; POON, C. S.; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, v.29, p. 309-320, 2009.
9. JOHN, V.M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CARNEIRO, A.P et al. *Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção*. Salvador: EDUFBA; 312 p.; 2001; p.27-45.
10. LINO, Fátima. A. M; ISMAIL, Kamal. A.R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. *Energy Policy*, v. 39, n 6, 2011
11. LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. (tese de doutorado)
12. NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014
13. POON, C. S.; YU, A. T. W.; WONG, S. W.; CHEUNG, E. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 32, p. 157-172, Jan, 2001.
14. SANTOS, Lilian Lucchesi dos. Sustentabilidade na construção civil: proposta para um Conjunto residencial popular sustentável. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, 2007.

15. SILVA, Cassandra Ribeiro de O. Metodologia e Organização do projeto de pesquisa. Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.
16. SJÖSTRÖM, C. Durability and sustainable use of building materials. In: LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. (Ed.). Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.
17. TORETTI, Taynan. Levantamento de dados para implantação da coleta seletiva no município de Içara/SC. Monografia do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2013.
18. TOZZI, R. F. Estudo da influência do gerenciamento na geração de resíduos da construção civil (RCC): estudo de caso de duas obras em Curitiba-PR, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XIV



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)