

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-013-8

DOI 10.22533/at.ed.138211305

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
FUSÃO DE SENSORES INERCIAIS BASEADA EM FILTRO DE KALMAN Carolina Barbosa Amaro Dias DOI 10.22533/at.ed.1382113051	
CAPÍTULO 2	14
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES Laura Vieira Maia de Sousa Paula Meyer Soares DOI 10.22533/at.ed.1382113052	
CAPÍTULO 3	30
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA UFAC (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE) Pedro Henrique Melo Costa Thiago Melo de Lima Antonio Carlos Alves de Farias Rennard de Oliveira Brito DOI 10.22533/at.ed.1382113053	
CAPÍTULO 4	44
ANÁLISE DOS ASPECTOS SAZONAIS DA NEBULOSIDADE NO PROJETO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS FIXAS EM BRASÍLIA/DF Licinius Dimitri Sá de Alcantara Mayara Soares Campos DOI 10.22533/at.ed.1382113054	
CAPÍTULO 5	57
TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL Paulo Robson Melo Costa Lucas Taylan Ponte Medeiros Isaac Rocha Machado Marcus Rogério de Castro DOI 10.22533/at.ed.1382113055	
CAPÍTULO 6	76
ANÁLISE DE TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V APLICADOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo Arthur Vinicius dos Santos Lopes Adson Bezerra Moreira DOI 10.22533/at.ed.1382113056	

CAPÍTULO 7.....	94
METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DE CARGA APLICADA A CONSUMIDORES RESIDENCIAIS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	
Andrei da Cunha Lima	
Laura Lisiane Callai dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.1382113057	
CAPÍTULO 8.....	113
ESTUDO DO SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE ÚNICO ESTÁGIO COM CONEXÃO DIRETA AO SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO	
Lucas Taylan Ponte Medeiros	
Paulo Robson Melo de Costa	
Ângelo Marcilio Marques dos Santos	
Leonardo Pires de Sousa Silva	
Denisia de Vasconcelos Mota	
Adson B. Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.1382113058	
CAPÍTULO 9.....	129
ESTUDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	
André Favetta	
Daniel Augusto Pagi Ferreira	
Maurício José Bordon	
DOI 10.22533/at.ed.1382113059	
CAPÍTULO 10.....	142
ESTUDO DAS CAUSAS DE SNAIL TRAILS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO CRISTALINO: REVISÃO.	
Neolmar de Matos Filho	
Dênio Alves Cassini	
Túlio Pinheiro Duarte	
Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.13821130510	
CAPÍTULO 11.....	156
THE IMPACT OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF SOIL ELECTRICAL PARAMETERS ON LIGHTNING OVERVOLTAGES DEVELOPED IN A 138 KV TRANSMISSION LINE	
Felipe Mendes de Vasconcellos	
Fernando Augusto Moreira	
Rafael Silva Alípio	
DOI 10.22533/at.ed.13821130511	
CAPÍTULO 12.....	170
A INFLUÊNCIA DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO SOBRE O DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	
Felipe Mendes de Vasconcellos	

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130512

CAPÍTULO 13..... 189

AVALIAÇÃO DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO SOLO NA RESPOSTA IMPULSIVA DO ATERRAMENTO E NAS SOBRETENSÕES DE ORIGEM ATMOSFÉRICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Felipe Mendes de Vasconcellos

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130513

CAPÍTULO 14..... 207

CONVERSORES E INVERSORES PARA ACIONAMENTO E CONTROLE DE UM VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO

Moisés de Mattos Dias

Niklaus Veit Lauxen

Marco Antônio Fröhlich

Claudionor Atilio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

DOI 10.22533/at.ed.13821130514

CAPÍTULO 15..... 221

ESTUDO DA TECNOLOGIA DE FRENAGEM REGENERATIVA E SEU IMPACTO NA AUTONOMIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS ALIMENTADOS POR BATERIAS

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.13821130515

CAPÍTULO 16..... 238

PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.13821130516

CAPÍTULO 17.....	252
CONTROLE DE PRECISÃO PARA PRÓTESES MECÂNICAS	
Haniel Nunes Pereira Pinheiro	
Ronaldo Domingues Mansano	
DOI 10.22533/at.ed.13821130517	
CAPÍTULO 18.....	266
ESTUDO DA VIABILIDADE DO MEDIDOR DE FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA FLOW™ E ADAPTAÇÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS	
Camila de Souza Gomes	
Ana Carolina Silva de Aquino	
Gabriela Haydee Mayer de Figueiredo Barbosa	
Maria Eduarda Santos Amaro	
Sergio Murilo Castro Cravo de Oliveira	
Lilian Regina de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.13821130518	
CAPÍTULO 19.....	280
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA E AUTOMATIZAÇÃO PARA UM PASTEURIZADOR COM CONCENTRADOR CILÍNDRICO-PARABÓLICO	
Gustavo Krause Vieira Garcia	
Antonio Lucas dos Santos Carlos	
Neemias Dantas Fernandes	
Taciano Amaral Sorrentino	
DOI 10.22533/at.ed.13821130519	
CAPÍTULO 20.....	297
ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA	
Mariana de Miranda Oliveira	
Leandro Antônio Fonseca Domingues	
Andrea Lucia Teixeira Charbel	
DOI 10.22533/at.ed.13821130520	
CAPÍTULO 21.....	307
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NO CAPACITOR TÉRMICO DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO INDIRETA	
Brenda Fernandes Ribeiro	
Antonio Gomes Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130521	
CAPÍTULO 22.....	321
MODELAGEM E CONTROLE DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL DO TIPO GANGORRA DE EIXO ÚNICO	
Reinel Beltrán Aguedo	
Ricardo José de Farias Silva	
Ania Lussón Cervantes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130522	

CAPÍTULO 23.....335

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Paulo Vinícius de Souza Oliveira
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Luiz José de Bessa Neto
Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.13821130523

CAPÍTULO 24.....350

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA COMPUTACIONAL APLICADA À ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM UM AMBIENTE DE CÓDIGO ABERTO - SCIENTIFIC LABORATORY (SCILAB)

Matheus Silva Pestana
Danúbia Soares Pires
Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.13821130524

CAPÍTULO 25.....363

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO CIVIL

Mauricio Andrade Nascimento
Ednildo Andrade Torres

DOI 10.22533/at.ed.13821130525

CAPÍTULO 26.....391

MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa

Maria Eduarda Aparecida Gil
Thiago Timoteo Henrique
Getúlio Teruo Tateoki

DOI 10.22533/at.ed.13821130526

CAPÍTULO 27.....397

S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA

Ricardo Bussons da Silva
Alexandre Henrique Ferreira Rodrigues
Deivid Roberto Almeida Vasconcellos
Rian Guilherma Braga de Lima
San-Cleir Neto Silva Orlanlandes
Victor Manoel Rosa de Moraes

DOI 10.22533/at.ed.13821130527

CAPÍTULO 28.....402

UMA ABORDAGEM BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA E DESCRITORES ESTATÍSTICOS PARA O DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM ROLAMENTOS DE MÁQUINAS ROTATIVAS

Lucas de Oliveira Soares

Luiz Alberto Pinto
Diego Assereuy Lobão

DOI 10.22533/at.ed.13821130528

SOBRE OS ORGANIZADORES	415
ÍNDICE REMISSIVO.....	416

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO CIVIL

Data de aceite: 01/05/2021

Mauricio Andrade Nascimento

IFBA- Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Bahia/Engenharia Civil
Barbalho, Salvador - Bahia-Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0226861258633206>

Ednildo Andrade Torres

Universidade Federal da Bahia/Escola
Politécnica/TECLIM/CIENAM/LEN
Federação – Salvador - Bahia-
<http://lattes.cnpq.br/2483185411923070>

Artigo gentilmente cedido para publicação pela Revista Scientia: ciência, informação, habilidade e conhecimento / Instituto Federal da Bahia (IFBA); Universidade do Estado da Bahia (UNEB). - v. 6, n. 1, jan./abr. 2021- Salvador: as instituições, 2021.

RESUMO: No Brasil a indústria da construção representa cerca de 3,7% do PIB, e os edifícios são responsáveis por 36% no consumo de energia primária respondendo por 39% das emissões de CO₂. Conhecer o consumo energético associado aos materiais e processos construtivos, e a energia consumida nas fases do ciclo de vida de uma edificação, proporciona uma melhor adequação nas escolhas das especificações, permitindo que haja interferências ou alterações nos processos construtivos, de forma a conceber um produto final eficiente nos aspectos de consumo energético e de sustentabilidade. Este trabalho propõe a avaliação de um estudo considerando a abordagem energética, financeira

e ambiental na construção de edifício multi-laboratórios, no campus da UFBA, em Salvador-BA. Foram realizados: inventário dos principais materiais utilizados na construção; levantamento da energia incorporada considerando às suas reposições ao longo da vida útil; o levantamento dos encargos energéticos associados com a utilização e operacionalização do edifício através da consideração de bancos de dados disponíveis na literatura e de bancos construídos. Permitiu-se a comparação e interferência nos processos e na substituição de materiais antes especificados por padrão, por materiais de menor energia incorporada, resultando num ganho em eficiência energética no produto final. Avaliar energeticamente, pela ótica do ciclo de vida, contribui para formação de bancos de dados energéticos nacionais de materiais e processos construtivos, enquanto proporciona uma metodologia para composição de índices energéticos para o setor de construção, deficitário no quesito de quantidade e qualidade de informações para subsidiar avaliações de impacto e de consumo energético visando a sustentabilidade. Os resultados demonstraram a possibilidade de somar eficiência energética com resultados econômicos, obtendo melhores resultados ambientais. A ferramenta proposta é extremamente produtiva no auxílio à escolha por construções mais eficientes e sustentáveis, podendo ser utilizada em outros setores de produção, e aplicada como mecanismo de controle e gestão pública.

PALAVRAS - CHAVE: Sustentabilidade ; eficiência energética; Análise de ciclo de vida; Gestão pública; Gestão Urbana.

ABSTRACT: In Brazil, the construction industry represents about 3.7% of GDP, while buildings are responsible for 36% of primary energy consumption and account for 39% of CO₂ emissions. The knowledge of energy consumption associated with materials and construction processes, and energy consumed in life cycle's phases of a building, provides a better fit in the choices of specifications, and interference in the construction processes, in order to design a more efficient product concerning aspects of energy consumption and sustainability. Were carried out: inventory of the main materials used in construction; energy assessments, considering its replacement throughout its useful life; the survey of energy burdens associated with the use and operation of the building through the consideration of databases available in the literature and of built banks. The inventory allowed the comparison and interference in the processes, and in the replacement of materials, previously specified by default, with materials with less embodied energy, resulting in energy efficiency gain by the end of the product. This energy assessment, through the analysis of the life cycle, contributes to the knowledge and formation of national's energy databases of materials and construction processes, meanwhile that it provides a methodology for the composition of the energy indexes of the construction segment, which is very deficient in quantity and quality of information needed to support impact assessments and energy consumption for sustainability. The results demonstrated the possibility of adding energy efficiency with economic results in the construction process, obtaining as well better environmental results. The proposed tool is extremely productive in helping to choose a more efficient and sustainable construction, which can be used in other sectors of production, and applied as a control and public management mechanism.

KEYWORDS: Sustainability; energy efficiency; Life cycle analysis; Public Management; Urban Management.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com as projeções do Internacional Energy Outlook (IEO), o consumo mundial de energia entre 2018 e 2050 crescerá em função da taxa média de crescimento do PIB mundial de 3,0% a.a, onde a maior projeção estimou-se em 3,7% e a mais conservadora 2,4% de crescimento. Sendo o crescimento médio estimado de 1,5% nos países OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e 3,8% nos não OECD, no qual se inclui o Brasil. Este crescimento se dará mais forte nos países em desenvolvimento devido ao resultado do seu maior crescimento econômico esperado. Atualmente, espera-se que um maior crescimento econômico ocorra em economias emergentes, especialmente China, Índia, países da Ásia e África, onde o Produto Interno Bruto (PIB) será aumentado a uma taxa média estimada de 4,0% ao ano. Até 2050 há uma expectativa de que esse crescimento demande um aumento no consumo energético da ordem de 50% (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019).

O crescimento econômico está diretamente associado ao consumo de energia, visto que para qualquer atividade que resulte em produtividade econômica, necessariamente haverá um ambiente construído que possibilite a execução desta atividade. O setor da construção portanto, representa grande parcela neste consumo energético dentro de

qualquer sociedade pois é o setor diretamente responsável para a realização do mínimo de infra-estrutura necessária para a realização da atividade econômica. O Brasil, país considerado como emergente, acompanha os seus semelhantes na tendência com relação ao crescimento mais acelerado do PIB e um aumento na procura por energia, característica esta prevista pelas projeções de consumo energético quando da comparação com o crescimento dos países desenvolvidos. De acordo com o INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2019), os edifícios responderam por cerca de 36% no consumo de energia primária e cerca de 39% das emissões de CO₂ em 2018. Assim, a indústria da construção civil tem uma importância relevante no cenário do país e para o desenvolvimento econômico, pois foi responsável em 2019 por cerca de 3,7% do PIB, mesmo estando em desaceleração nos últimos anos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2019).

O processo construtivo, devido a sua demanda energética ao longo de todo o seu ciclo de vida, causa impacto ambiental. Deste modo, a concentração de esforços no entendimento das relações energéticas e de seus impactos relacionados nas diversas etapas construtivas, se faz necessária na busca por eficiência energética na atividade de construção. A detenção deste conhecimento pode representar uma poderosa contribuição para reduzir a demanda de energia e os impactos ambientais gerados associados a esta demanda. A obtenção do melhor equilíbrio entre as relações entre a demanda de energia: na concepção do projeto; na escolha de materiais; escolha dos processos construtivos; das interferências com o meio ambiente; e das tecnologias de produção, podem minimizar o seu impacto final. Uma maior informação e compreensão, por parte dos gestores, de como se comportam as relações entre consumo energético e impacto ambiental gerado decorrente deste consumo, possibilita a tomada de decisões e de planejamento mais assertiva. E esta informação pode ser produzida e provida a partir de metodologias e estudos desenvolvidos para levantamento das demandas por energia, por tipificação e atividade fim do empreendimento, considerando todo o seu ciclo de vida.

A estimativa do consumo de energia relacionado com as fases do ciclo de vida de um edifício, permite a compreensão individual das demandas energéticas para cada fase, enquanto possibilita uma visão globalizada do resultado energético final de energia incorporada numa determinada construção. Através do consumo energético podem ser co-relacionados e mensurados os impactos ambientais estimados locais e globais, classificados em diversas categorias de impacto a exemplo da: acidificação das chuvas; índice de carcinogênicos; potencial de aquecimento global entre outros. Com base no consumo energético, relacionado ao potencial de emissão do CO₂ na atmosfera, é possível estimar, por exemplo, o potencial de aquecimento global relativo ao impacto gerado por determinado empreendimento. Análise dos resultados de impacto, por sua vez permitem a comparação e previsão do impacto associado entre projetos de empreendimentos de construção antes mesmo destes serem realizados. Estes dados energéticos e

consequentemente de impacto, são essenciais para a compreensão das possibilidades de redução dos impactos ambientais associados a evento de construção, bem como dos recursos utilizados, componentes materiais e processos. Esses três fatores: energia incorporada, custos de construção e impactos ambientais gerados, estão interligados e devem fazer parte das análises de gestão quando da formatação, licença ou permissão construtiva, e escolha por determinado projeto.

Essa abordagem, considerando a análise de ciclo de vida (ACV), permite a construção e formação de uma base de dados para simulações construtivas e de custos ambientais e energéticos como resultado de uma determinada construção. A grande lacuna para a adoção, pelos envolvidos na execução e gestão do setor construtivo, desta prática de análise conjunta entre custos, demanda energética e impacto ambiental gerado, ocorre principalmente devido à: falta de bancos de dados de energia incorporada nos materiais e processos; falta de metodologias consistentes e de fácil aplicação; associados à falta de informação. A carência de informação sobre os impactos gerados pela atividade construtiva e dos custos relativos a implantação de tecnologias mais sustentáveis consiste em grande barreira a ser transposta na consolidação de um setor construtivo mais eficiente e sustentável.

Acredita-se que a informação obtida na análise particular deste estudo de caso é útil para o setor da indústria da construção. Funcionando como uma ampla ferramenta de gestão, produção de informação, construção metodológica de fácil aplicação, que pode trazer benefícios para a sociedade como um todo, na medida que contribui para o conhecimento das possibilidades de redução dos impactos ambientais gerados no setor de construção.

Este artigo propõe a avaliação de um estudo de caso considerando a abordagem energética, financeira e ambiental na construção de edifício multi-laboratórios, no campus da Universidade Federal da Bahia -UFBA, em Salvador-BA. O objetivo do estudo consistiu na avaliação da energia associada com a construção da edificação ainda na sua fase inicial de projeto e design.

Com 1.760 m² de área construída total, este edifício abriga laboratórios multiusuários que estão divididos em um piso térreo e mais três andares superiores. Cada pavimento foi concebido para abrigar quatro salas com cerca de 75 m² cada. Foram previstas na concepção a modulação e divisão das salas, bem como a facilitação na adequação dos ambientes. Por esta razão, a estrutura foi concebida privilegiando vãos livres, evitando a distribuição de cargas em poucas colunas estruturais e paredes. A cobertura, seguindo os mesmos princípios de transparência e visibilidade dos pisos inferiores, foi planejada para permitir a colocação de diversos equipamentos para monitoramento ambiental e auto-sustentabilidade do edifício.

Por estar ainda na sua fase de concepção e de se assemelhar ao estilo das construções existentes ao redor do campus, o que possibilitaria a comparação fidedigna

em termos de tipologia e serviços prestados à comunidade, a escolha desta edificação como projeto de estudo base conferiu característica positiva nesta modalidade de análise. A possibilidade de comparação à construção anteriormente planejada nos moldes padrão das construções existentes no campus, quanto as características construtivas, atribuem diferencial a este estudo. A possibilidade da nova e desafiadora concepção de projeto, atribuindo os aspectos de construção e utilização final, contemplando a visão de reduzir os impactos ambientais e de contribuir para a sustentabilidade do edifício, também atribui uma grande relevância por sua observação e análise.

Este estudo centrou as suas avaliações nos aspectos de: fase de extração de matérias-primas e consumo de energia na produção de materiais; fase de construção e as demandas de energia nos processos construtivos; na energia consumida na fase operacional da edificação; energia na fase de manutenção no horizonte de vida útil projetada; e culminado com a obtenção do índice de energia final por metro quadrado (m²) construído. Duas hipóteses construtivas para o mesmo edifício foram consideradas na avaliação: a primeira envolveu a utilização de materiais, especificações, e sistemas construtivos de acordo com a aplicada para os edifícios existentes no campus. A segunda considerou um novo desenho da concepção de fachadas, e adoção de novos materiais e sistemas construtivos do edifício, com o objetivo de reduzir o consumo de energia durante as diversas fases do seu ciclo de vida.

Os resultados foram obtidos com base nas avaliações dos processos de eficiência energética, incluindo a escolha de materiais de baixa energia, e o consumo de energia primária que foi avaliado durante o ciclo de vida de construção, considerando a vida útil estimada de projeto. Com base nos dados gerados, e com o intuito de observar a sua relação com os resultados de eficiência energética obtidos, foram também incluídos na consideração os custos praticados para as duas hipóteses durante o ciclo de vida do produto, contemplando para tal: o custo financeiro de aquisição de materiais e de montagem para a construção; os custos de energia na fase de utilização na construção; e os custos de manutenção e reparação ao longo da sua vida útil.

Esta abordagem atribui uma melhor compreensão das possibilidades de intervenção no processo construtivo e dos seus custos decorrentes, tanto na sua fase inicial, quanto em fases posteriores, permitindo uma análise qualitativa na relação entre os custos praticados nas intervenções e no resultado econômico final.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

Existem vários pontos críticos com relação às atenções relacionadas ao meio ambiente no Brasil: o desmatamento da floresta amazônica e a poluição urbana são dois dos grandes problemas. O urbanismo, que se por um lado objetiva a transformação do espaço visando uma melhoria estética e da qualidade de vida, enquanto transmite

segurança e conforto, por outro, também consiste em importante questão com relação ao meio ambiente. O Desenvolvimento econômico, que impulsiona o setor construtivo, também invoca atenção para os problemas ambientais. A “edificação verde” já é considerada com grande poder no desempenho de papel relevante no esforço para tornar as cidades brasileiras mais saudáveis e mais sustentáveis.

O setor da construção que é responsável por parte significativa da economia no Brasil, é também relevante no consumo de matérias primas naturais, atingindo níveis que variam de 15% a 50% de todos os recursos naturais consumidos na sociedade (JOHN e AGOPYAN, 2003).

Associado a este fato, o setor construtivo responde por parcela significativa de contribuição na produção de resíduos, sendo, portanto um dos setores que mais impactam o meio ambiente no quesito relacionado as emissões de poluentes. Mais de 50% da massa de resíduos urbanos são provenientes de canteiro de obras, de acordo com Pinto (1999), e como no Brasil não há prática usual na utilização destes resíduos proveniente da construção, a exemplo dos países europeus que chegam a reciclar quase que 90% dos resíduos, de acordo com Dorsthorst e Hendriks (2000), estabelece-se uma questão de ordem pública quanto a necessidade de melhoria na gestão dos rejeitos. Este fato implica em diversos problemas de gestão urbana, normalmente encontrados nos grandes centros e que também implica na qualidade do saneamento básico e na saúde como um todo. De acordo com Furtado (2003), além de ser um dos setores mais influentes nas atividades sociais e econômicas de um país, a construção é também uma importante fonte de degradação ambiental, o que reforça a necessidade na atenção para o setor, a fim de torná-lo ambientalmente e economicamente sustentável. Como afirma Kiperstok et al. (2020) “... A proposta de adoção da prevenção da poluição como um princípio tem de considerar todos os aspectos que podem reduzir o impacto ao meio ambiente ...”. Portanto, as bases do setor da construção devem ser apoiadas por princípios, tais como: redução dos resíduos gerados, melhora da eficiência no uso dos recursos naturais e no consumo de energia, prevenção da poluição, além de planejamento integrado entre construção e ambiente. Esses princípios remetem o setor de construção para a utilização de processos de produção mais limpa e de análise do ciclo de vida (ACV), de forma a prever e planejar futuros impactos decorrentes da atividade construtiva.

É uma observação factível afirmar que os profissionais envolvidos no setor de construção são os mais relevantes para influenciar nas mudanças e intervenções nos processos inerentes a atividade construtiva. Portanto, as atitudes e percepções desses profissionais têm influência significativa sobre a meta para alcançar o desenvolvimento sustentável deste setor. Isto consiste num grande obstáculo a ser transposto para chegar ao objetivo na prática por construções mais sustentáveis. Haja visto que grande parte dos profissionais da indústria da construção atualmente reconhecem que os edifícios sustentáveis são importantes para o meio ambiente, contudo, eles subestimam a contribuição

dos edifícios no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. De acordo com a publicação do WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2007), quando profissionais do setor de construção foram questionados sobre o CO₂ liberado direta ou indiretamente no meio ambiente pela contribuição dos edifícios, e sobre a percentagem no aumento de custos para a realização de um empreendimento certificado como sustentável em comparação com um projeto normal, as respostas denotaram uma distorção em relação a percepção real. Os resultados deste questionamento representado graficamente se apresentaram como mostrado nas Figuras 1 e 2.

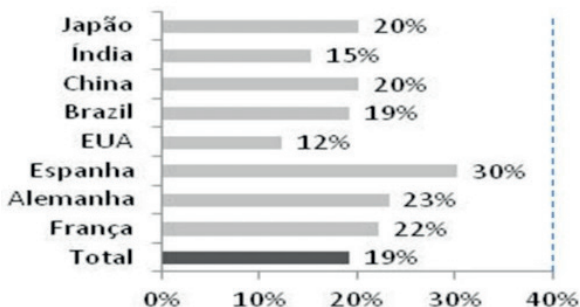


Figura 1 - Contribuição das construções nas emissões totais de CO₂.

Fonte: WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2007

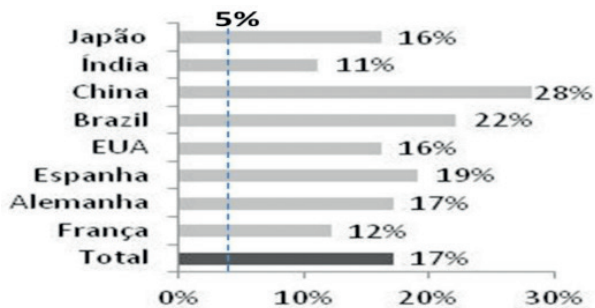


Figura 2 - Acréscimo de custo para construção ambientalmente certificada.

Fonte: WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2007.

A análise destes dados demonstra que os profissionais superestimam o custo adicional de um edifício certificado e ambientalmente sustentável, que é de **cerca de 5%** para os países desenvolvidos, e subestimam a contribuição dos edifícios para as emissões de gases de efeito estufa, que é atualmente **cerca de 40%**. Cabe ressaltar que a cultura, costumes, e situações particulares influenciam obviamente nesta percepção e as diferenças entre opiniões mostram que a influência do ambiente local possivelmente determine

diferentes visões sobre os fatores que influenciam a sustentabilidade. Isso reforça a visão que o grau de educação, informação e conhecimento são fatores cruciais em ações globais e intervenções que podem ser feitas no setor para o desenvolvimento sustentável.

No que tange a consideração de um dado processo na produção de materiais básicos para construção por exemplo, é fundamental a consciência sobre os impactos decorrentes desta atividade para um melhor resultado na busca da prevenção de possíveis danos ambientais, e tal abordagem, através deste conhecimento adquirido, permitirá a realização de processo mais sustentável.

A análise do ciclo de vida de uma construção pode ajudar a compreender estes impactos. Esta análise poderia ser definida como o processo em que o fluxo de materiais e energia circulando em um dado sistema são quantificados e avaliados. Nas metodologias observadas na literatura, esta avaliação é realizada em etapas, muitas vezes considerando todo o ciclo que envolve: a extração, a produção, construção, transporte e, em fases posteriores, a consideração de demolição e disposição final. Numa segunda hipótese de consideração, os impactos globais e/ou regional são calculados com base no consumo de energia, geração de resíduos e outras categorias de impacto (SCHEUER, KEOLEIAN e REPPE, 2003). Em geral, o sector da construção é considerado responsável por 30% a 40% da procura de energia total de uma sociedade, e aproximadamente 44% dos recursos materiais utilizados, assim como parte de quase 1/3 da emissão total de CO₂ na atmosfera (ERLANDSSON, BORG, 2003p. 919-938).

Desta forma, através da consideração destes dados, é possível admitir que, a redução dos encargos ambientais associados ao evento de construção é indispensável para o planejamento e desenvolvimento sustentável. Pesquisas realizadas em todo o mundo atribuem conhecimento sobre a influência nos impactos ambientais para diferentes tipos de materiais e processos na construção.

Uma quantidade considerável de energia é utilizada em processos de fabricação e transporte de materiais utilizados na construção, e a redução no consumo de energia está diretamente relacionada à redução das emissões atmosféricas e outros impactos ambientais. A observação de alguns estudos relacionados mostra a importância da análise de dados e sua participação em qualquer estimativa feita durante o ciclo de vida dos edifícios. A fabricação de materiais de construção contribui de fato para a produção dos gases de efeito estufa, tais como o dióxido de carbono, e há uma grande preocupação na redução das emissões decorrente destes gases a fim de mitigar os impactos ambientais.

Buchanan e Honey (1994, p. 205-217), desenvolveram estudos na Nova Zelândia que envolvem a energia necessária para produção e processamento de diferentes materiais de construção e suas correlações com as emissões de CO₂ e suas implicações ambientais, e também demonstraram que a construção de casas multi-pavimentos feitas em madeira necessitam menor energia por (m²), e geram menos emissões de CO₂ do que as casas feitas de aço ou concreto armado. Trabalhando com a mesma ideologia, Kirk

e Dell'Isola (1995, p. xiii, 262) e Oka et al. (1993, p. 303-311) estimaram e atribuíram o uso de energia para a fabricação e montagem de materiais, associando-os aos impactos ambientais. Ambos estudos objetivaram conhecer as relações energéticas e atribuição de uma metodologia de consideração que possibilitasse a comparação do potencial de impacto ambiental gerado por estes materiais e processos. Outros estudos compararam a energia necessária e as emissões de CO₂ por metro quadrado de área de construção para diferentes tipos de empreendimentos.

Na Índia, país que possui grande dificuldade no suprimento de energia, considerado emergente assim como o Brasil, em Debnath et al. (1995, p. 141-146) desenvolveram um estudo comparativo de energia necessária para diferentes tipos de construção residencial. Três tipos de construções foram avaliados de modo comparativo: individuais, duplos e múltiplos andares, onde o consumo de energia por área construída foi estimado em cerca de 3,05 GJ/m². Vale ressaltar que nesta pesquisa foram consideradas a energia necessária apenas para os materiais e os processos de construção dos edifícios. Por conclusão, foram identificados que os blocos, o cimento e o aço foram os três principais contribuintes para o encargo energético de construção.

De acordo com a linha de pesquisa e consideração de diversos autores, a utilização de materiais alternativos ou a redução na energia para a sua fabricação podem contribuir na consolidação da energia final de um empreendimento realizado, e devem ser contabilizadas objetivando a redução na utilização de energia em um edifício, outros estudos avançaram no aprofundamento do comportamento energético de uma edificação e investigaram sua concepção estrutural.

Eaton e Amato (1998, p. 286-287) realizaram uma análise de ciclo de vida (ACV) em construção, comparando edifícios estruturados em aço e concreto, dando atenção para a influência desses materiais na contribuição total de energia nos edifícios. Há uma variedade de trabalhos relatados na literatura sobre métodos aplicados à análise do ciclo de vida relacionada com a atividade de construção, alguns, em particular, são de fundamental importância para a compreensão e discussão dos resultados e da base do conhecimento das análises de ciclo de vida voltadas para mensuração da energia incorporada em construções. Pode-se citar: o trabalho de Venkatarama Reddy e Jagadish (2003, p. 129-137) realizado na Índia, o estudo de caso realizado por Scheuer et al. (2003, p. 1049-1064) na Universidade de Michigan, nos Estados Unidos da América, o estudo de Li (2006, p. 1414-1422) no Japão, entre tantos outros trabalhos investigados a exemplo de: Martinez (2010), Verrier et al.(2014), e De Carvalho et al.(2017).

O estudo realizado na Índia por Venkatarama Reddy e Jagadish (2003, p. 129-137) que segue a prática da ideologia de Debnath et al. (1995, p. 141-146), considerou a inclusão da parcela de energia referente aos eventos de transporte na quantidade total de energia necessária para a fabricação de diferentes tipos de materiais básicos aplicados na construção. De acordo com estes autores a energia incorporada, e implícita a realização de

um empreendimento poderia ser descrita de maneira seccionada como: a energia utilizada para serviços de manutenção ao longo da sua vida útil; e a energia envolvida na utilização de diferentes materiais utilizados na fase de construção do edifício. Nesta divisão, a fase de construção foi categorizada como: a energia consumida na produção de materiais básicos de construção; energia necessária para o transporte dos materiais até o local de produção; e a energia necessária para a montagem dos vários materiais na construção do edifício.

Diversos autores abordam de maneira mais ou menos completa a questão da influência da energia nos empreendimentos e as relacionam com algum potencial de impacto. Mais comumente, no âmbito da construção civil, o parâmetro de impacto adotado é a emissão de CO₂ e sua relação com o efeito no aquecimento global. Embora não seja consenso a inclusão do consumo de energia relacionado com a fase de demolição como um fator importante no ciclo de vida da construção, estes são inclusos em alguns estudos. Contudo, na maioria destes é apontada a importância da energia contida nos materiais e nos processos de construção como significativo, associados a energia demandada nas fases de serviço e manutenção.

Uma pesquisa de referência para consideração metodológica no levantamento energético para edificações foi realizada no campus da Universidade de Michigan por Scheuer et al. (2003). Nesta, foi realizado um estudo de caso que envolveu o ciclo de vida de um edifício universitário com uma área de 7.300 m² e com um horizonte de vida útil projetada para 75 anos. Foram inventariados os materiais considerando também alguma reposição durante os vários estágios de desenvolvimento do produto. Este inventário incluiu: a estrutura, as fachadas, os acabamentos interiores e sistemas sanitários. Como fases do ciclo foram admitidas: produção de materiais; transporte ao local de construção; fase de serviços de construção e demolição.

A importância deste trabalho reside no fato que questionou estudos anteriores de ciclo de vida para edifícios, realizados com base apenas na identificação parcial dos encargos ambientais, e guiados por informações generalizadas a partir dos estudos de banco de dados históricos do empreendimento. A análise mais abrangente de ciclo de vida considerando a construção de um edifício moderno, no campus da Universidade de Michigan, permitiu não só uma comparação com os resultados obtidos no presente trabalho, como também, contribuiu nas estimativas preliminares energéticas na construção da edificação objeto do estudo de caso, no campus da UFBA. Haja visto que, orientou abordagens na análise parcial para determinação das primeiras intervenções e/ou abordagens na análise de resultados e dos dados gerados preliminares. O resultado estimado de energia primária consumida pelo projeto consolidado e já executado na Universidade de Michigan, considerando todo o ciclo foi de $2,3 \times 10^6$ GJ o que equivaleu à taxa de 316 GJ/m² do empreendimento. A produção e transporte de materiais em conjunto com a construção representaram 2,2% do consumo total de energia primária, enquanto 94,4% foi atribuída ao consumo de eletricidade do conjunto de ventilação artificial e condicionamento de ar ao

longo da sua vida útil.

Destes resultados extraem-se que a climatização representa uma grande demanda energética, principalmente quando considerada a vida útil de funcionamento da edificação. Serviços de água representaram 3,3% da fase total e a etapa de demolição apenas cerca de 0,1% do total. Como conclusão, foi observado que a distribuição do consumo de energia e impactos ambientais foram concentrados na fase de utilização do edifício, e em todas as classificações, exceto na geração de resíduos, a fase de operação foi responsável por mais de 83% dos impactos ambientais inventariados. Esta compreensão remete ao fato que a atenção a concepção arquitetônica das edificações deve ser enfatizada. Melhorias no envelope (fachadas) podem reduzir substancialmente o consumo de energia e os impactos. As especificações de materiais menos energéticos e com menor massa térmica, associados ao aproveitamento dos fluxos de ar naturais, podem trazer grandes benefícios ao conjunto dos resultados energéticos e de impacto. A substituição na geração de energia para abastecimento dos sistemas de ar condicionado, aquecimento e ventilação artificiais por fontes mais limpas, reduzem o impacto ambiental em maior proporção uma vez que estes fatores representaram o maior impacto.

Outro estudo que amplia as considerações de impacto e energia nos levantamentos associados ao ciclo de vida dos edifícios da autoria de Li (2006, p.1414-1422), que propôs a divisão de avaliação de impacto em duas categorias: encargos locais e encargos contidos no edifício. Os encargos locais são aqueles considerados dentro da região onde a construção é realizada, enquanto que encargos contidos no presente caso, refere-se aos impactos da expansão da infra-estrutura necessária para operar o edifício, como estradas e vias de acesso, estacionamento e etc. Este estudo realiza uma crítica as pesquisas anteriores de ACV, destacando que na maioria deles, o dano ou encargo ambiental não é tratado de maneira setorizada. Baseia-se no impacto geral causado ao meio ambiente, no entanto, a parcela de impacto local relacionados com o edifício não é estimado. Consideram a quantificação do impacto ambiental associado ao próprio edifício em si, no entanto, os encargos ambientais associados com a infra-estrutura necessária para a operação do edifício, a exemplo de estradas de acesso e estacionamento, são desprezados. Outro ponto importante de crítica presente neste trabalho de Li, é que o foco nas discussões sobre a redução dos impactos associados com edifícios se concentram principalmente sobre a extensão da vida útil do edifício (durabilidade), o uso de materiais reciclados, e escolha para sistemas com baixo consumo de energia e baixo índice de poluição, deixando de lado a importante consideração dos impactos associados com o local e a forma de construção estrutural.

A questão proposta neste presente trabalho indica a necessidade de uma abordagem ampla, contudo de factível aplicabilidade na consideração de vários aspectos e singularidades relacionadas com a construção de uma edificação. Caso haja uma avaliação metodológica rasa, haverá possivelmente uma subestimação do impacto ambiental

associado com edifícios, e uma falha na informação e na produção de dados úteis no apoio às medidas para proteger o meio ambiente regional e planejamento urbano.

No Brasil, ainda que de modo mais modesto, a preocupação sobre a oferta e o consumo de energia associado com a indústria construtiva pode ser observado em alguns estudos. Alguns trabalhos realizaram comparativos do potencial de aquecimento global, analisando simulações para diferentes cenários de uma edificação, a exemplo de Nakao (2010). Outras pautaram sua análise concentrada na influência das variáveis construtivas e da utilização de equipamentos na ocupação, de acordo com Nascimento (2009). Trabalhos com a concentração na área de desenvolvimento de ferramentas computacionais como auxílio a análise de ciclo de vida também foram desenvolvidos a exemplo de Rodrigues et al. (2008). Este movimento demonstra que ainda que de forma incipiente e embrionária, há de fato uma atenção voltada para as questões de concepção de empreendimentos de construção com foco na sustentabilidade. As questões do setor construtivo sobre o aspecto energético também foram investigadas a exemplo de Lomardo e Rosa (2004, p. 89-95), que discutiram a falta de planejamento energético no país e a importância da legislação específica e práticas para melhorar o setor da construção e, portanto, obter edifícios com maior eficiência energética. Ordenes et al. (207, p. 629-642), analisaram a integração da energia fotovoltaica para uso em projetos de construção comentando sobre a contribuição desta fonte de energia para a preservação dos recursos naturais. Neste referido estudo, os autores demonstraram a viabilidade da aplicação fotovoltaica para países de baixa latitude, como o Brasil, e desta forma, caracterizando a vertente na utilização também de energias renováveis e sua maior representação no setor construtivo.

No entanto, devido principalmente ao fato de que não existe praticamente nenhuma base de dados sobre o consumo de energia e de encargos ambientais relacionados com materiais e com processos dentro da atividade de construção, associados a falta de conhecimento profissional sobre este assunto, há apenas poucas experiências sobre os dados de avaliação que poderiam contribuir para a concepção de construções melhores e mais sustentáveis. Neste contexto, uma melhor compreensão das tecnologias limpas e métodos de ACV pode contribuir para melhoria do cenário energético envolvido na construção civil. A produção de informação qualitativa e quantitativa que embasassem as decisões antes do processo de construção (fase de concepção do produto), ou mesmo durante o processo construtivo, permitindo que houvessem interferências e melhorias. Este conhecimento é primordial para o auxílio na tomada de decisões estratégicas pelos gestores, empresários, e fornecedores de matérias-primas relacionadas com a atividade de construção, proporcionando benefícios para a sociedade como um todo.

3 | METODOLOGIA

Conforme é preconizado nos estudos em ACV, foi definida a unidade funcional

de análise global para o empreendimento levando em consideração os seus fluxos de referência, que incluem, as quantidades necessárias de um produto para satisfazer uma certa função. A unidade funcional adotada foi portanto, o metro quadrado (m²) de área construída do empreendimento em estudo. Foi então delineado o escopo inicial do trabalho e definido primariamente os limites de abordagem que nortearam a condução para esta análise. Cabe ressaltar que uma análise de ACV é dinâmica e portanto, o escopo de aplicação não se comportou estaticamente durante este trabalho. Este escopo foi ajustado para acomodar as diversas variáveis no que diz respeito à estimativas de ACV aplicados ao edifício. Os objetivos foram delineados como etapas de trabalho, e para cada etapa cumprida, nova consideração de avaliação foi produzida em função dos resultados obtidos, que em diversas ocasiões sugeriu uma reavaliação do escopo original. A figura 3 ilustra a concepção do diagrama modelo de pesquisa utilizado. São muitas as interações entre os levantamentos de energia envolvidos na extração de matérias-primas, bem como dos materiais e processos de produção, e a análise de ACV foi utilizada isoladamente para cada fluxo considerado de materiais e também utilizada de forma combinada quando da avaliação dos fluxos de processos, através da utilização de ferramentas desenvolvidas para auxiliar no inventário. Assim, a criação e definição de “pontos de corte” são necessários para avaliar a viabilidade e praticidade nestes levantamentos. Estes pontos são fornecidos e descritos na literatura a fim de adaptar as pesquisas para a realidade de cada trabalho, e permitindo ao descrever os processos de coleta de dados, a clareza quando da comparação com os dados a partir de fontes diferentes. Deste modo, conforme descrito na normatização de estudos de ACV, a confecção das bases de dados foi cuidadosamente documentada.

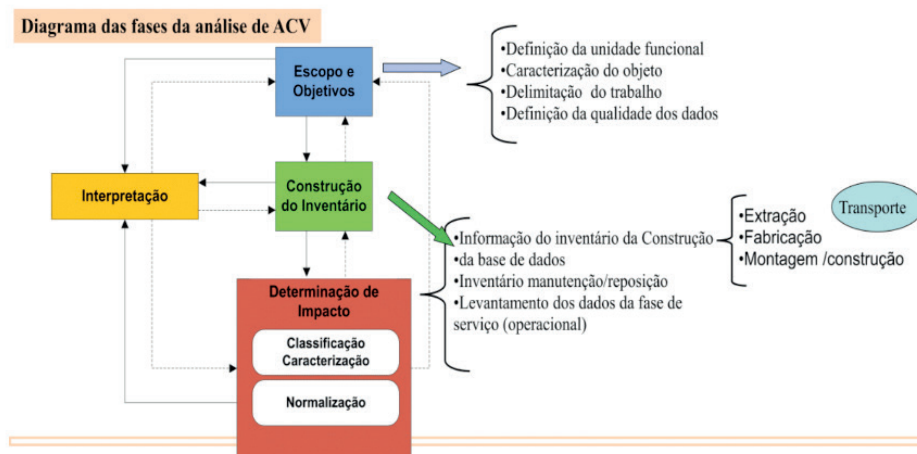


Fig. 3 Diagrama modelo de pesquisa

Fonte: Elaboração própria 2014.

O passo seguinte consistiu na definição do escopo do sistema estrutural para a caracterização do objeto de estudo e do grau de definição e abordagem para o trabalho, seguido da determinação da qualidade dos dados. A base para a realização do inventário foi então moldada, onde a entrada e saída dos fluxos de materiais e de energia foram classificadas pautados no conhecimento das quantidades utilizadas no projeto e da energia incorporada para os vários materiais e processos a serem utilizados na construção. Foram consideradas duas hipóteses de solução construtiva para possibilitar a comparação. O objetivo foi de prover à metodologia, a possibilidade de simulação de diferentes alternativas para a construção de edifícios e também de simular a sua utilização posterior a construção, gerando portanto neste caso, dois inventários diferentes. A intenção principal de efetuar a análise utilizando dois modelos foi observar o comportamento dos dois sistemas construtivos, aumentando assim a sensibilidade na apreciação dos dados. Isso também permitiria a observação das interferências necessárias ao projeto. Os dois modelos de concepção e desenvolvimento dos cenários foram nomeados: Construção Básica (CB) e Construção Energeticamente Eficiente (CEE).

O empreendimento realizado que foi o objeto de estudo de caso, consiste em uma edificação com área total construída de 1.760 m². Dividida em: um pavimento térreo, três pavimentos que serão utilizados como multi-laboratórios, e um pavimento de cobertura também integrado ao conjunto que servirá como área para experimentos com energias renováveis (vide figura 4), este empreendimento encontra-se localizado no campus Ondina da universidade Federal da Bahia.



Fig. 4 Perspectiva da edificação CEE

Fonte: Projeto base CIEnAm 2009

Para a escolha do local da edificação foram levados em consideração alguns fatores que estão diretamente conectados com a aplicação da análise de ciclo de vida visando o menor impacto e a maior integração com o ambiente. A proximidade das unidades de Física, Química, Geociências e PAF, a facilidade de acesso rápido a Politécnica e a unidade de Arquitetura, associada a facilidade de acesso ao exterior do campus. Além destes aspectos, a integração harmônica com as áreas de circulação e praças de acesso, estudadas e planejadas quanto a capacidade de fluxo, contribuíram para a não construção de novas vias de acesso para veículos. Além desta razão, a topografia praticamente plana do terreno favorecia a sua construção, enquanto evitava a necessidade de grandes movimentações de terra, o que implicaria em maior número de horas de máquinas trabalhando e conseqüentemente maior gasto energético e maior impacto ambiental associado. O posicionamento e a volumetria da edificação ao longo da encosta preservaram a vegetação natural e atribuiu à mesma um melhor aproveitamento das correntes de ar, bem como as fachadas principais, orientadas para o sudoeste, permitiram uma menor absorção quando da incidência solar e menor acúmulo de calor sobre a massa térmica do empreendimento. (vide figura 5).

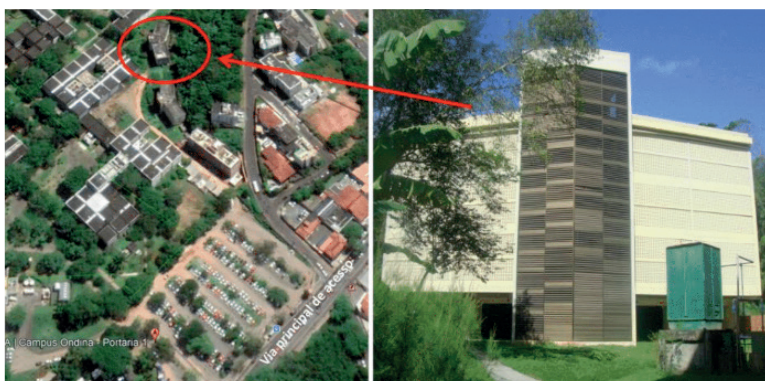


Fig. 5 Edificação concluída

Fonte: Google Earth Inc./ registro próprio 2017.

As expectativas das múltiplas atividades que poderão constituir o edifício exigem em primeiro lugar, a concepção de edificações flexíveis quanto ao uso, cujos espaços internos sejam amplos o suficiente para favorecer adaptações e modificações ao longo do tempo. Em planta, a edificação foi dividida em duas seções com área aproximada de 150 m², interligadas entre si pela escada e área de circulação com sanitários e serviços. O andar térreo foi destinado, em geral, para uso dos estudantes, com possibilidade de eventos e exposições abertas. Os três andares superiores, destinados a atividades diversas,

foram projetados com quatro salões de 75 m² cada, que podem ser subdivididos em salas menores ou anexados por setor de 150 m², se assim for necessário. Vãos livres foram priorizados na confecção da estrutura de forma a transmitir leveza e mobilidade ao projeto. A cobertura, que sofreu isolamento térmico e foi impermeabilizada, seguiu os mesmos princípios dos andares inferiores, permitindo a colocação futura de equipamentos diversos para monitoramento do meio ambiente e auto-sustentabilidade da edificação.

O cenário **CB** reproduz a replica do projeto de sua implementação tal como definido pelo padrão encontrado nos edifícios existentes no campus, que incluem: projeto de fachada, especificações de materiais, sistemas operacionais e bases estruturais, semelhantes ao projeto inicial e similares em suas características. O cenário **CEE** reflete a execução do projeto através da consideração de seu design e características de construção relacionados com a produção mais limpa e análise do ciclo de vida, visando a realização de um edifício energeticamente mais eficiente e, portanto, menos prejudicial ao meio ambiente. Para definir uma linha de base para a realização de comparações entre o **CB** e a **CEE**, ambos os edifícios tiveram que ser semelhantes. É necessário para efeito comparativo coerente que os mesmos objetos de estudo, no caso a construção do edifício laboratório, tenham as mesmas características de funcionalidade e finalidade. Isto significa portanto, que devem ser iguais em área, proporcionando a utilização do mesmo tipo de serviço em termos de qualidade e quantidade.

A concepção arquitetônica escolhida para a CEE também constitui outro fator importante que influencia no resultado final de impacto ambiental. Enquanto mantém a funcionalidade equivalente a CB, provê melhorias no aproveitamento da iluminação e ventilação natural; melhor fluxo de ar quente através do edifício; diminuição no acúmulo de calor através da massa térmica do empreendimento; mudanças nas especificações dos materiais por materiais com menos encargos energéticos e de maior durabilidade; eliminação de processos e de materiais na construção; aproveitamento dos serviços de água através de ferramentas de re-uso e de gestão do recurso; redução no consumo energético do empreendimento através da não utilização de climatização artificial e equipamentos de iluminação mais energeticamente eficientes. Este conjunto de fatores pôde atribuir a CEE uma eficiência energética maior em relação à CB ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

Na fase preliminar foram avaliados os encargos energéticos contidos nos materiais e nos processos construtivos através do uso de alguns softwares específicos e seus respectivos bancos de dados disponíveis, além de consulta a outros bancos de dados de materiais e processos na literatura, a exemplo dos softwares ECOINVENT v 2.1 (2009) e do SIMaPRO v.7.01, (2008). Consideraram-se as etapas de extração, transporte da matéria-prima e fabricação materiais, sua respectiva mobilização e transportes necessários até o local da construção, e sua montagem (processo de construção). Estes encargos foram acessados de acordo com os dados obtidos a partir de empresas de construção e

com a consideração de dados com base na literatura, sendo também incluso os fluxos de materiais e de energia considerando a etapa de manutenção e substituição de materiais durante a vida útil do projeto.

Num segundo passo, foi considerada a energia contida na fase operacional do projeto, levando em conta o consumo de energia primária de acordo com os serviços previstos prestados pela edificação quando da sua operação. A utilização de equipamentos, e dos sistemas básicos de funcionamento e operação da infra-estrutura fizeram parte desta etapa da análise. A última fase da análise dos dados resultou na construção de um novo relatório, incorporando novos dados ao deficitário banco de dados energéticos brasileiro para materiais e processos de construção, e contribuindo para o fomento pela cultura e prática deste tipo de metodologia de análise. Os dados encontrados foram ajustados para os dois modelos de construção propostos e comparados com bases de dados da literatura. Após a análise e purificação destes dados, o passo seguinte foi a consideração e totalização da energia para o evento de avaliação e projeção de impacto construtivo com base apenas no potencial de aquecimento global associado com o consumo de energia. A partir da análise global preliminar, e das considerações dos resultados preliminares relativos aos bancos de dados de energia e inventários da energia contida nos diversos processos, foi realizada uma primeira etapa de intervenções tanto na concepção do projeto, quanto nas diretrizes metodológicas da análise. Estas intervenções foram positivas para a compreensão da importância no conhecimento dos aspectos locais na consideração da energia que envolvem a construção, no sentido de que os bancos de dados existentes muitas vezes não refletem a realidade brasileira, uma vez que são baseados principalmente em dados da literatura estrangeira. Essa percepção foi importante na tomada de decisões e planejamento de construção, bem como na assistência ao processo de fazer os bancos de dados próprios e da metodologia final da pesquisa.

É importante o destaque que, os dados principais para o trabalho de avaliação de impacto consideraram as questões relacionadas com a energia total incorporada no empreendimento. A metodologia de levantamento energético sugerida considerou várias abordagens presentes na literatura. A abordagem geral de todo o ciclo do objeto de estudo de caso foi realizada considerando a extração de recursos, a fabricação, construção e utilização, como descrito em alguns estudos na literatura, e considerou também o transporte de materiais envolvidos nas várias fases do ciclo, o que não é prática na maioria dos estudos considerados e relatados. A peculiaridade desta metodologia de estudo deveu-se ao fato que, como o objeto de estudo encontrava-se precisamente na fase de planejamento executivo, a metodologia de levantamento energético pôde ser validada passo a passo durante a construção do projeto, e pôde também sofrer interferências com o seu próprio curso, proporcionando melhorias para o processo final de construção além de torná-la uma ferramenta útil para orientar o aperfeiçoamento do projeto, de acordo com as avaliações de suas interações com o processo de construção. A escolha do local de implantação do

empreendimento também foi relevante para os resultados obtidos. O posicionamento do edifício, bem como sua orientação visaram o menor impacto e uma melhor integração com o meio ambiente. A proximidade das edificações funcionais existentes, juntamente com a facilidade de acesso para o exterior do campus, proporcionou uma integração harmoniosa. Isso contribuiu para evitar a construção de novas vias de acesso para os veículos, o que causariam maiores impactos relacionados à infra-estrutura local, como relatado por Li (2006). Além destas razões, a escolha pela implantação em local específico evitou a necessidade de grandes obras envolvendo cortes e/ou aterros e reduzindo o impacto ambiental gerado. A disposição e o desenho do projeto proporcionou uma melhoria na utilização de correntes de ar, o que reduziu também a temperatura ambiente interna.

A fachada principal, orientada para o sudoeste, permitiu uma menor absorção da luz solar e acúmulo de menor calor sobre a massa térmica do edifício. O projeto arquitetônico escolhido para o **CEE** também é outro fator importante que influenciou os resultados energéticos. Enquanto se mantém a funcionalidade equivalente a **CB**, proporciona a melhoria na utilização de dispositivos de iluminação natural e de ventilação com um melhor fluxo de saída do ar quente através do edifício. Estas premissas de projeto definidas em função do conhecimento adquirido nos estudos preliminares aplicados através da metodologia inicial proposta, levaram à mudanças nas especificações de materiais proporcionando menores custos de energia e maior durabilidade. A eliminação de processos e materiais na construção, o uso de serviços de água através de ferramentas de reutilização e gestão de recursos naturais, foram também elementos que contribuíram para a obtenção dos resultados. As simulações realizadas indicaram a possibilidade substancial na redução no consumo de energia através da minimização do condicionamento de ar e do uso de equipamentos de iluminação artificial mais eficiente em termos energéticos. Estes fatores atribuíram a **CEE** eficiência energética superior em relação ao **CB** ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Uma comparação das características de ambas as hipóteses de construção pode ser observada na Tabela 1.

Sistema Construtivo	Características específicas (CB)	Características específicas (CEE)
Fundações	Cravação de estacas metálicas	Cravação de estacas protendidas em concreto
Superestrutura	Em concreto armado fck 30 MPa	Em concreto armado fck 30 MPa
Paredes externas	Em bloco cerâmico	Em bloco de cimento e combogos em cimento
Paredes internas	Em bloco cerâmico com trechos em combogo cerâmico	Em bloco de cimento com trechos em combogo de cimento
Janelas	Em alumínio nas fachadas frontal e posterior	Em breze em alumínio no vão de escada e alumínio na fachada posterior
Portas	Em madeira	Em madeira

Cobertura/telhado	Laje de cobertura impermeabilizada com pavimentação em cerâmica	Laje de cobertura impermeabilizada com pavimentação em piso de alta resistência
Pavimentação	Piso cerâmico tipo lajota	Piso em alta resistência e cerâmico nos sanitários
Revestimento Interno	Massa única com acabamento em pintura acrílica sobre massa corrida em todas as paredes; nos sanitários massa única com acabamento em cerâmica colada sobre a massa única.	Cerâmica colada sobre massa única somente com nos sanitários; nas demais paredes azulejo biscoito fino h: 1,50m aplicado direto sobre o bloco e acima de 1,50m pintura texturizada aplicada direto sobre o bloco.
Revestimento Externo	Massa única com acabamento em pintura acrílica sobre massa acrílica	Tinta acrílica sobre os elementos estruturais; textura aplicada diretamente sobre os blocos
Controles elétricos Iluminação /lógica	Controles elétricos manuais; medição de entrada única; luminárias padrão conforme projeto; instalações de lógica cabeadas; utilização de climatização artificial.	Controles elétricos manuais; medição individual por laboratório; luminárias de alta eficiência conforme projeto, instalações de lógica cabeadas, climatização natural.
Controles hidráulico	Controle manual; rede de água fria e de coleta de esgoto e pluvial.	Controle manual com válvulas temporizadas de fluxo, rede de água fria e de coleta de esgoto e pluvial; aproveitamento pluvial através de captação na cobertura.
Eletricidade	100% de fornecimento da concessionária local	Controle manual com válvulas temporizadas de fluxo, rede de água fria e de coleta de esgoto e pluvial; aproveitamento pluvial através de captação na cobertura.
Água potável	100 % de fornecimento da concessionária local	100 % de fornecimento da concessionária local
Rede de coleta	Disposição Oceânica	Disposição Oceânica

Tabela 1: Características de construção para (CB) e (CEE)

Fonte: Construção do Autor 2017.

No que tange aos limites da pesquisa e seu “ponto de corte”, os processos avaliados nas etapas de análise distribuídos foram: extração de matérias-primas e produção de materiais de construção básicos (por exemplo, areia, água, agregado miúdo e graúdo, blocos, madeira, cimento, aço, etc.); fabricação de elementos e componentes para a construção (madeira e estruturas de alumínio, vidro, cerâmica, tintas, concreto, etc.); transporte de matérias-primas para a fabricação e transporte de tais materiais para o local de construção; construção do objeto do estudo; consumo de energia durante a fase de utilização (demanda de serviços) do empreendimento, e a energia contida nos materiais e procedimentos de manutenção.

Os limites de análise de energia foram estabelecidos de acordo com os dados mais

representativos da energia primária no inventário e seguindo a normatização para ACV e muitos elementos de baixa contribuição em energia foram excluídas da pesquisa.

O “ponto de corte” adotado para cada banco de dados foi estabelecido de acordo com a disposição no encontro de dados válidos e de relevância. A pesquisa constatou a necessidade de uma avaliação mais aprofundada dos dados obtidos para possível contribuição qualitativa que poderia oferecer, de acordo com a ISO 14040 (1997) e ISO 14041(1997) para aplicações de ACV para construção civil. A maioria dos dados preliminares foram obtidos do banco de dados DEAM, ECOBILAN (2007), e Ecoinvent v.2.01(2009), SIMaPRO v.7.01, (2008). As quantidades de materiais, que possibilitaram o levantamento de massa e posteriormente o de energia, foram definidas com base nas informações geradas pela planilha de orçamento do projeto. Estas informações geradas por planilha foram posteriormente corrigidas por meio de faturas de materiais fornecidos pelos levantamentos dos fabricantes e de campo, de forma a conferir uma maior precisão ao levantamento. As bases de dados brasileiras de energia foram obtidas a partir de levantamentos de campo e bancos de dados de fabricantes locais.

Após as primeiras análises realizadas seguindo o escopo da metodologia, e da consideração dos materiais especificados inicialmente na construção do projeto, algumas mudanças foram adotadas a fim de não só reduzir custos, mas também objetivando a redução do encargo energético associado ao projeto. Alterações também foram atribuídas à envoltória do edifício e ao sistema operacional de serviço com o mesmo objetivo. As principais alterações relacionadas com a especificação no aspecto da análise do ciclo de vida objetivaram: a eliminação de processos de serviço e a substituição de materiais com maior carga energética contida, por materiais que contribuem para esta redução, e a utilização de materiais com maior durabilidade. Este constituiu fator positivo durante a fase avaliada de manutenção e/ou substituição. No que concerne às interferências providas nas fachadas (envelope) do edifício, foram aumentadas as áreas de iluminação e de ventilação natural, de modo a reduzir a necessidade para o condicionamento de ar e iluminação artificial. Outra interferência na envoltória do edifício foi a eliminação do revestimento de argamassa em toda a fachada e que se estendeu as áreas internas, o que reduziu processos, economizou energia, e conseqüentemente, contribuiu positivamente na redução no impacto ambiental global do empreendimento. Foram realizadas intervenções também na fase de serviço: a eliminação da climatização artificial, e a utilização de equipamentos de iluminação mais eficientes, associado ao aumento da iluminação natural.

4 | RESULTADOS E ANÁLISES

As figuras 6 e 7 ilustram respectivamente os resultados comparativos de consumo de energia de alguns materiais básicos relevantes utilizados durante a fase de construção e os resultados comparativos de consumo total de energia incorporada. Em relação ao

ciclo de vida, pode-se notar que na fase de construção, o cenário **CEE** resultou numa redução significativa no consumo de energia (47,62%), incluindo a extração de matérias-primas. As economias de energia principais durante a fase de construção foram devido a mudanças nos materiais de fundação (economia de 2.068.479 MJ), alterações do material das paredes (economia nos blocos de 576.028 MJ), reduzindo o uso de vidro e alumínio (respectivamente; 9.708.186 MJ e 353.655 MJ); eliminações de revestimento interior e exterior, o que reduziu processos e materiais como: cal, areia, cimento, representando 143.524 MJ; 7.791 MJ e 247.654 MJ, respectivamente.

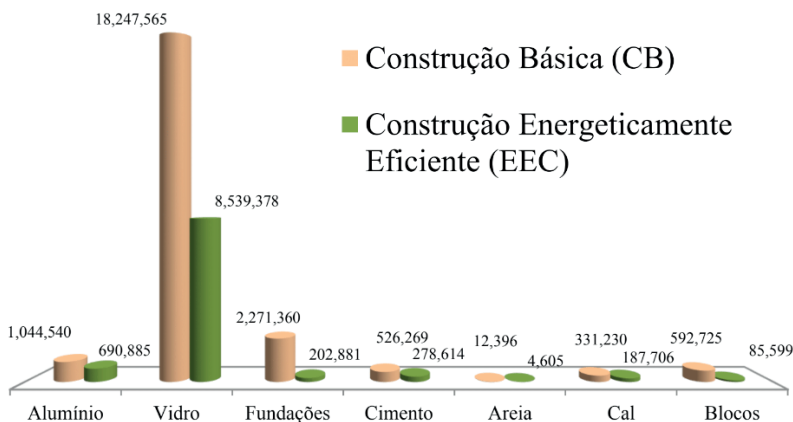


Fig. 6 Comparação energética dos materiais básicos principais

Fonte: Construção do Autor 2017.

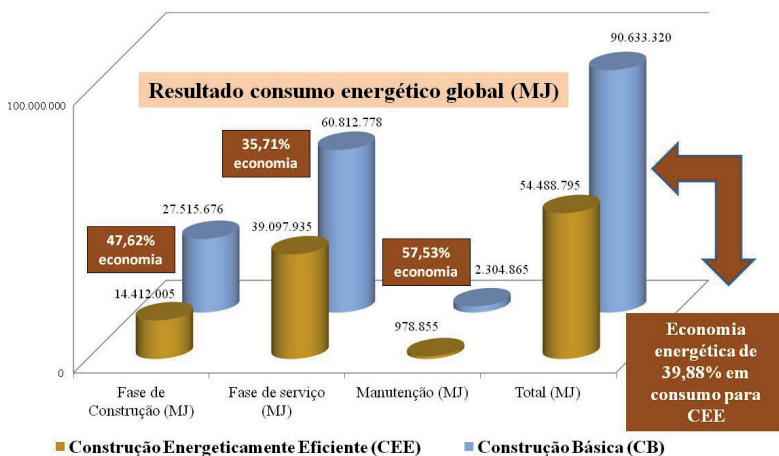


Fig. 7 Resultado do consumo energético Global (MJ)

Fonte: Construção do Autor 2017.

A economia no consumo de energia na fase de serviço calculada para o cenário **CEE** foi de aproximadamente 35,71% da energia total consumida para **CB** ao longo do seu horizonte projetado de vida útil. Os resultados individualizados são mostrados por seção de serviço na tabela 2.

Descrição	Consumo de energia (CB) kWh	% Rel. Total	Consumo de Energia (CEE) kWh	% Rel. Total
Iluminação	1.474.704	8,73	1.179.763	10,86
Climatização	5.736.960	33,96	0	0,00
Informática	3.978.374	23,55	3.978.374	36,63
Equipamentos	5.702.400	33,76	5.702.400	52,51
	16.892.438	100%	10.860.538	100%

Tabela 2. Comparação energética na fase de serviço

Fonte: Construção do Autor 2017

Os resultados do inventário de energia para os procedimentos de manutenção de rotina, conforme estabelecido na base de dados de fabricantes e na literatura, apontam para um consumo de 2.304.865 MJ para **CB**, que é equivalente a cerca de 640.240 kWh, e de 978.854 MJ para **CEE**, o equivalente a 271.904 kWh. Isso significa 57,5% menos energia que seria necessária para a manutenção e reparação da unidade construída como **CEE** em relação ao cenário **CB**. Vale ressaltar que, como afirma o levantamento de dados, se menos energia e materiais mais duráveis são utilizados na construção, maior será a economia de energia ao longo dos anos. Embora num primeiro momento, a ideia geral é que ser sustentável pode resultar em um aumento dos custos de construção em geral, isso não é verdade absoluta. Para verificar a relação custo/sustentabilidade foram calculados os custos do projeto dividido em: custos de construção, custos de manutenção e custo no consumo de energia durante a fase de serviço. Os resultados são apresentados na figura 8 em valores indexados pelo dólar americano.

Resumo Custos (U\$)	Construção	Serviço	Manutenção	Total	Custo/m ²
(CB) Construção Básica	1.347.672,00	3.928.026,50	369.800,93	5.645.499,43	3.207,67
(CEE) Construção Energeticamente Eficiente	1.138.026,66	2.525.418,68	305.041,33	3.968.486,67	2.254,82

Resultado de Custos (U\$)

Portanto, a CEE custou aproximadamente **30% a menos** que a construção Básica.

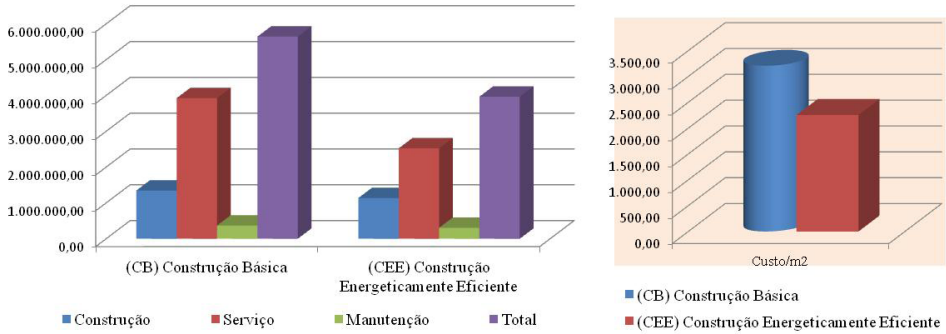


Fig. 8 Resultado de avaliação dos custos (U\$)

Fonte: Construção do Autor 2017

A economia global para **CEE** apresentada foi de 29,71% nos custos Globais. O valor em U\$/m² para as duas hipóteses foram, respectivamente, para o **CB** e **CEE**, U\$ 3.207,67/m² e U\$ 2.254,82/m², constituindo índices de custos para avaliação e comparação, considerando um horizonte de vida útil projetado para 75 anos. Os resultados finais obtidos permitiram a construção de índices de consumo de energia por metro quadrado para o projeto considerado como um estudo de caso. Para a hipótese construtiva básica (**CB**), a taxa de energia contida por metro quadrado foi de 51,5 GJ/m², enquanto que para (**CEE**) foi 30,96 GJ/m². Devido a esta redução no consumo energético e com base na configuração da matriz energética brasileira estimou-se que a construção energeticamente eficiente emitiu aproximadamente **39,88% menos de Carbono**, o que representa menos impacto ambiental relacionado ao potencial de aquecimento global conforme pode ser observado na figura 9.

Avaliação do potencial estimado de aquecimento Global (CO₂)

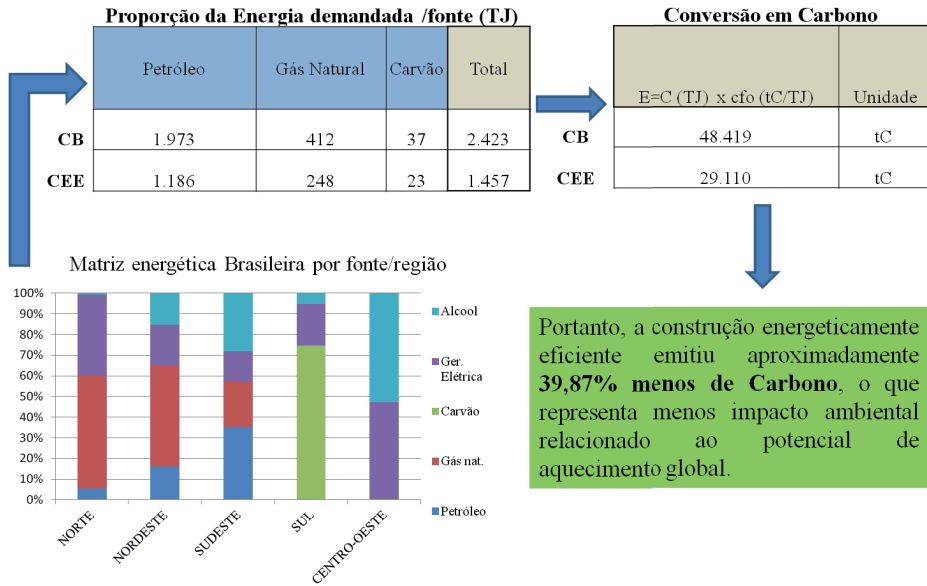


Fig. 9 Resultados de emissão de carbono equivalente

Fonte: Construção do Autor 2017

A geração de um índice de consumo de energia por metro quadrado de área construída é de fundamental importância por vários aspectos, tais como consumo de energia e impacto ambiental. A contabilização dos custos de energia pode ser relacionada com o custo projetado final de construção. Podem ser feitas comparações com outras formas de empreendimento e o resultado pode ser usado como uma ferramenta de gestão. As projeções de consumo de energia em escala podem ser mais precisas a partir desta metodologia. O sector da construção é uma mola mestre da economia e a oferta de energia e uma preocupação constante em qualquer economia. Informações resumidas por índices de consumo de energia podem ser relacionadas a questões socioeconômicas.

No estudo realizado por Scheuer et al. (2003, p. 1049-1064) da Universidade de Michigan campus, a fase que compreende os serviços de água e a substituição de materiais utilizou cerca de 97,7% do total da energia gasta durante a construção. O transporte de materiais representou 2,2%. Neste presente trabalho realizado no campus da UFBA, a fase de serviço representou 73,55% da energia contemplando a substituição dos materiais ao longo da sua vida útil. A fase de construção, produção e transporte de materiais representaram 26,45% do total de energia durante a vida útil do projeto. Este fato pode ser explicado pela maior demanda de energia para aquecimento e arrefecimento do edifício da Universidade de Michigan, que representou os maiores percentuais de impacto ambiental

associado ao consumo de energia, principalmente devido a grandes variações térmicas. Por isso, é provável que, para países localizados em zonas climáticas com estações mais regulares, baixas flutuações na temperatura, e clima mais ameno, as diferenças no consumo de energia entre estas duas fases tendam a ser mais baixas.

A intervenção sobre o resultado da eficiência energética na fase de serviço está diretamente relacionada à concepção do projeto, design e funcionalidade para o fim a que este está designado. Assim, uma boa especificação de materiais e adequadas decisões tomadas na fase de projeto, podem trazer ganhos significativos na redução na demanda de energia durante a vida útil do projeto. Esta condição é também corroborada pelo trabalho de Scheuer et al. (2003, p. 1049-1064).

A escolha de não execução das vias de acesso para atender o edifício construído no laboratório do campus da universidade contribuiu para a redução, local e globalmente, a geração de encargos. A consideração mencionada ainda no planejamento do projeto, possibilitou a escolha do local para implantação do edifício e a integração à estrutura já existente de estradas de acesso no campus. A influência deste fator foi medida na obra de Li (2006, p. 1414-1422), onde esta variável foi quantificada, juntamente com a interferência e as considerações em relação aos impactos locais durante a execução do projeto. Foi também destacado, e refletido neste presente trabalho, que é importante a escolha de materiais de construção e a incorporação na consideração de energia que é usada durante o transporte de materiais e recursos similares.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados da aplicação da metodologia de ACV proposta para este estudo quando comparada à estudos anteriores envolvendo construção civil com a mesma abordagem, mostram que prevaleceu um consumo mais representativo na fase de serviço. Contudo, é possível verificar que principalmente relacionada a fase de serviço da edificação, os valores do consumo energético sofrem grande influência das zonas climáticas e das oscilações nas variações térmicas. Isto porque a curva de demanda energética aumenta significativamente com a utilização da climatização artificial. Quanto maiores as variações térmicas, maior será o encargo energético associado a regulação da temperatura ambiente. Como é na fase de serviço que se dá o maior consumo energético, o foco na eficiência energética deve ser direcionado para a energia consumida durante a utilização do empreendimento, especialmente em edifícios onde o consumo de energia nesta fase referida é alto. A redução da ineficiência energética nesta fase, irá influenciar com maior alcance a contribuição relativa total dos custos de energia e ambientais, do que durante as fases de produção e construção, que são mais relacionados aos impactos locais. Embora esta análise não seja completa, pois excluiu-se a fase de demolição, a peculiaridade de ter sido desenvolvida durante o processo de construção, atribui um diferencial positivo em relação a outros

trabalhos de ACV global. A possibilidade de obtenção de inventário detalhado de materiais e processos com o construtor, inerentes ao controle da aplicação durante o desenvolvimento do trabalho, possibilitou uma maior precisão para os dados. Outro aspecto relevante deste trabalho foi a possibilidade de produção de bases de dados próprias de energia, contida nos materiais e processos, e que refletem a realidade brasileira. Esta contribuição é de fundamental importância no sentido de prover informação qualitativa e de ampliar o ainda deficitário banco de dados energéticos para materiais e processos de construção brasileiro.

O presente trabalho é uma contribuição para a indústria da construção, levantando questões sobre as suposições anteriores relacionadas com o comportamento real do setor no que diz respeito à sustentabilidade, haja visto que provou ser possível obter melhorias ambientais sem necessariamente implicar no aumento de custos. De forma contrária ao padrão de resultados esperados, conseguiu obter redução de custos ao passo que reduziu os impactos, demonstrando assim que é viável economicamente a aplicação de soluções mais sustentáveis para o setor. A sugestão de melhorias no controle e medição de consumo de energia relacionado a produtos e processos, através do desenvolvimento de metodologia de aplicação prática, proporcionou a possibilidade de utilização de ferramenta de análise que pode ser utilizada também como instrumento de gestão por parte do poder público em busca do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

DE CARVALHO, A. C. V.; GRANJA, A. D.; DA SILVA, V. G., **A Systematic Literature Review on Integrative Lean and Sustainability Synergies over a Building's Lifecycle**. Sustainability 2017, 9, 1156.

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN - (AIJ): **Guidelines for LCA of buildings**. Maruzen Publishing Division, 2003. p. 7-33

BUCHANAN, A.; HONEY, B.: **Energy and carbon dioxide implications of buildings constructions**. Energy and Buildings 20 , 1994. p. 205-217

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION: **Energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings**. Sacramento: California Energy Commission, 2001 p. 166

CASALS, X. G. **Analysis of building energy regulations and certification in Europe: Their role, limitations and differences**. In: Energy and Buildings, Oxford: Elsevier, 2006. v. 38, pp. 381-392.

CHAU, C. K.; BURNETT, J.; LEE, W. L. **Assessing the cost effectiveness of an environmental assessment scheme**. In: Building and Environment. Osford: Pergamon, 2000. v. 35, pp. 307-320.

DEBNATH A.; SINGH S. V.; SINGH Y. P. **Comparative assessment of energy requirements for different types of residential buildings in India**. Energy and Buildings 23, 1995. p. 141-146.

DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, Ch. F. **Re-use of construction and demolition waste in the EU**. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.

EATON, K. J.; AMATTO, A. **A comparative life cycle Assessment of steel and concrete framed office buildings**. Journal of Constructions Steel. Research 46 (1-3), 1998 p. 286-287

ECOBILAN,P.;TEAM/DEAM; ECOBILAN. PriceWaterhouseCoopers, Bethesda, MD, 2007.

ECOINVENT v 2.1 Swiss Centre for life Cycle Inventory ISBN 3-905594-38-2, 2009

ERLANDSSON, M.; BORG, M. **Generic LCA-methodology applicable for building, construction and operation services-today practice and development needs**. Build and Environment 38 (7), 2003. p. 919-938

FURTADO, J. S. **Atitude ambiental sustentável na Construção Civil: ecobuilding e produção limpa**.

Disponível em:<<http://www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producaolimpa>>. Acesso Julho, 21, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE- Diretoria de pesquisas, Coordenação de contas nacionais, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. **Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector** - The 2019 Global Status Report for Buildings and Construction, 2019. ISBN No: 978-92-807-3768-4

ISO, ISO 14040. **Environmental management – Life cycle assessment- Principles and framework**. International Organization for Standardization, 1997.

ISO, ISO 14401. **Environment Management-Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis**. International Organization for Standardization, 1997.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES, São Paulo. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>> . Acesso Agosto, 2, 2003.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A.; MEIRA, C.C.; BRADLEY, S. P.; ROSEN, M. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN,2002.

KIRK, S. J.; DELL'ISOLA, A. J. **Life Cycle Costing for Design Professionals, second edition**. McGraw-hill, New York, 1995. p. xiii,262.

LI, Z. **A new life cycle impact assessment approach for buildings**. Building and Environment 41, 2006. p. 1414-1422.

LOMARDO, L. L. B.; Rosa L. P. **The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation**. Energy and Buildings 36, 2004. p. 89-95

MARTINEZ, A. G., **Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de Edificios: Propuesta metodológica para la elaboración de Declaraciones Ambientales de Vivendas en Andalucía**. 2010. 495p. Tese de Doutorado - Universidad de Sevilla/Chalmers University of Technology, Sevilla, 2010.

NAKAO, J. E. H. **Comparação do potencial de aquecimento global de um mesmo edifício em diferentes cenários**. In: 2º congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em produtos e Serviços... Anais. 2010. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: 2010.

NASCIMENTO, L. B. P. DO. **Influência de variáveis construtivas e de uso de equipamentos e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório localizado em Londrina-PR**. 2010

OKA T.; SUZUKI, M. ; KONNYA, T. **The estimation of energy consumption and amount of pollutants due to the construction of buildings**. Energy and buildings 19, 1993. p. 303-311.

ORDENES, M.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RUTHER, R. **The Impact of building-integrated photovoltaic on the energy demand of multi-family dwellings** in Brazil. Energy and Buildings 39, 2007. P. 629-642.

PINTO, T.P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999, São Paulo. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1999, São Paulo.

PRe Consultants; SIMaPRO 7.01v, 2008

RODRIGUES, C. R. B.; ZOLDAN, M. A.; LEITE, M. L. G.; OLIVEIRA, I. L. **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV)**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção... Anais, p. 1-15, 2008.

SCHEUER C.; KEOLEIAN, GREGORY A; REPPE, P. **Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications**. Energy and Buildings 35, 2003. p. 1049-1064.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **International Energy Outlook - IEO 2019**. U.S Energy Information Administration, Washington, DC. September, 2019.

VENKATARAMA REDDY, B.V. ; JAGADISH K. S. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies**. Energy and Buildings 35 (2003) P.129-137. Accepted by 25 November (2001).

VERRIER, B.; ROSE, B.; CAILLAUD, E.; REMITA, H. **Combining organizational performance with sustainable development issues: The Lean and Green project benchmarking repository**. J. Clean. Prod. 2014, 85, 83–93.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT- WBCSD. **Eficiência energética em edifícios - Realidades empresariais e oportunidades**. Relatório síntese, edição portuguesa, WBCSD (2007)

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 33, 238, 239, 251, 332, 350, 351, 352, 357, 359, 361, 362

ATP 156, 157, 158, 159, 170, 171, 173, 176, 177, 179, 189, 191, 192, 195, 196, 198, 255

Autonomia veicular 221

B

Backflashover 157, 163, 169, 170, 171, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 190

C

Cargas Variáveis 76, 92

Célula fotovoltaica 61, 115, 116, 129, 145

Confiabilidade 2, 142, 143, 145, 151, 152

Conversores 8, 58, 59, 85, 86, 207, 208, 214, 216, 219

D

Dados Meteorológicos 38, 42, 44, 54

Descarbonização 14, 16, 17, 18, 23

Descargas Atmosféricas 156, 157, 170, 171, 174, 176, 183, 185, 189, 191, 193, 195, 204

Desempenho 5, 7, 6, 7, 47, 54, 76, 77, 78, 80, 86, 91, 92, 113, 117, 125, 127, 142, 145, 147, 151, 153, 157, 170, 171, 172, 176, 178, 185, 190, 197, 208, 212, 219, 224, 225, 226, 229, 232, 233, 234, 237, 251, 320, 321, 322, 323, 332, 348, 349, 395, 400, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 413

Desenvolvimento 6, 1, 2, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 37, 38, 42, 45, 51, 76, 94, 111, 114, 130, 143, 153, 208, 209, 212, 213, 219, 220, 223, 229, 236, 252, 258, 263, 264, 268, 269, 275, 277, 282, 289, 296, 307, 308, 320, 322, 323, 333, 334, 348, 351, 352, 357, 361, 364, 365, 367, 368, 370, 372, 374, 376, 388, 389, 391, 398, 400, 404

E

Eficiência Energética 6, 16, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 209, 219, 222, 237, 363, 365, 367, 374, 378, 380, 387, 390

Energia fotovoltaica 7, 40, 77, 96, 113, 129, 130, 131, 135, 137, 374

Energia Solar 16, 30, 33, 34, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 55, 56, 77, 78, 95, 130, 133, 138, 140, 141, 143, 152, 208, 219, 287, 294, 297, 298, 301, 308, 320, 335, 336, 337, 341, 344

F

Fontes Renováveis 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 77, 115, 131, 143

Frenagem Regenerativa 8, 221, 222, 223, 236, 237

G

Geração de Trajetória 239

GMPPT 57, 58, 75

I

Inversores 8, 136, 138, 207, 208, 210

Irradiação Incidente 44, 55

M

Manipulador Robótico 238, 239

Módulo fotovoltaico 62, 76, 77, 78, 84, 90, 91, 117, 119, 129, 131, 145, 146, 150, 151, 290

Módulos Fotovoltaicos 7, 33, 34, 61, 62, 63, 76, 77, 79, 83, 92, 99, 107, 110, 117, 122, 124, 130, 131, 135, 142, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153

P

Painéis Fotovoltaicos 7, 44, 47, 51, 55, 76, 77, 83, 97, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 139, 140

Parâmetros elétricos do solo 156, 170, 171, 172, 180, 181, 182, 184, 185, 191, 198, 200, 201, 203

Permissividade do solo 157, 171, 178, 185, 189, 190, 197, 203

Pesquisa 5, 6, 23, 25, 29, 30, 31, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 56, 96, 132, 143, 152, 222, 266, 268, 276, 277, 278, 298, 305, 350, 352, 362, 371, 372, 375, 379, 381, 382, 398, 400, 404

Planejamento de Caminho 239

Prevenção de Colisão 239

Q

Qualidade de Energia 41, 113

R

Reforço 238, 239, 361

Resistividade do solo 156, 157, 170, 171, 172, 173, 177, 181, 182, 183, 184, 185, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 198, 200, 203, 204

Robótica 1, 251

S

Sensores 6, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 39, 40, 58, 59, 66, 80, 104, 105, 119, 208, 287, 288, 289, 290, 300, 396, 403

Setor Elétrico 6, 14, 24, 25, 26, 27, 37

Sinais 1, 2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 28, 105, 213, 215, 216, 254, 256, 259, 266, 267, 271, 275,

279, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 412

Sistemas de aterramento 157, 170, 171, 177, 190, 191, 196, 198, 203

Sistema Solar Fotovoltaico (FV) 113

Sombreamento Parcial 6, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 74, 84

SPPMG 57, 58, 59, 60, 63, 70, 71, 72, 73, 74

T

Topologia de Estágio Único 113, 122, 126

Traçador de curva I-V 6, 76, 77

Transição Energética 6, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29


Trilhas de Caracol 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

V

Veículo Elétrico 8, 207, 208, 209, 210, 212, 217, 219, 221, 222, 223, 224, 236, 237

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br