

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva
Fabrício Higo Monturil de Moraes
Marcos Antônio Tavares Lira



OSVALDO SILVA

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFPI, Especialização em Gestão Ambiental pela Faculdade Internacional Signorelli e Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).

ETIQUETAGEM DO USO DA ENERGIA: UMA NOVA PROPOSTA DE ROTULAGEM AMBIENTAL



FABRÍCIO MORAIS

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), Especialização em Gestão Ambiental pela Faculdade Internacional Signorelli e Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).



EdUESPI

**ETIQUETAGEM DO
USO DA ENERGIA:
UMA NOVA PROPOSTA
DE ROTULAGEM
AMBIENTAL**

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva¹
Fabrício Higo Monturil de Morais²
Marcos Antônio Tavares Lira³

ETIQUETAGEM DO USO DA ENERGIA: UMA NOVA PROPOSTA DE ROTULAGEM AMBIENTAL

- ¹ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).
osvaldo.augusto@ifpi.edu.br
- ² Mestre em Engenharia Elétrica. Professor do IFPI. fabricio@ifpi.edu.br
- ³ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Professor da Universidade Federal do Piauí (UFPI). marcoslira@ufpi.edu.br



EdUESPI
2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ - UESPI

Evandro Alberto de Sousa
Reitor

Jesus Antônio de Carvalho Abreu
Vice-Reitor

Paulo Henrique da Costa Pinheiro
Pró-Reitor de Ensino de Graduação

Mônica Maria Feitosa Braga Gentil
Pró-Reitora Adj. de Ensino de Graduação

Raurys Alencar de Oliveira
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Fábia de Kássia Mendes Viana Buenos Aires
Pró-Reitora de Administração

Rosineide Candeia de Araújo
Pró-Reitora Adj. de Administração

Lucídio Beserra Primo
Pró-Reitor de Planejamento e Finanças

Joseane de Carvalho Leão
Pró-Reitora Adj. de Planejamento e Finanças

Ivoneide Pereira de Alencar
Pró-Reitora de Extensão, Assuntos Estudantis e Comunitários

Marcelo de Sousa Neto
Editor da Universidade Estadual do Piauí

Universidade Estadual do Piauí
Rua João Cabral, 2231 • Bairro Pirajá • Teresina-PI
Todos os Direitos Reservados



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ - UESPI



Maria Regina Sousa **Governadora do Estado**
Evandro Alberto de Sousa **Reitor**
Jesus Antônio de Carvalho Abreu **Vice-Reitor**

Conselho Editorial EdUESPI

Marcelo de Sousa Neto **Presidente**
Algemira de Macedo Mendes **Universidade Estadual do Piauí**
Antonia Valtéria Melo Alvarenga **Academia de Ciências do Piauí**
Antonio Luiz Martins Maia Filho **Universidade Estadual do Piauí**
Artemária Coêlho de Andrade **Universidade Estadual do Piauí**
Cláudia Cristina da Silva Fontineles **Universidade Federal do Piauí**
Fábio José Vieira **Universidade Estadual do Piauí**
Hermógenes Almeida de Santana Junior **Universidade Estadual do Piauí**
Laécio Santos Cavalcante **Universidade Estadual do Piauí**
Maria do Socorro Rios Magalhães **Academia Piauiense de Letras**
Nelson Nery Costa **Conselho Estadual de Cultura do Piauí**
Orlando Maurício de Carvalho Berti **Universidade Estadual do Piauí**
Paula Guerra Tavares **Universidade do Porto - Portugal**
Raimunda Maria da Cunha Ribeiro **Universidade Estadual do Piauí**

Marcelo de Sousa Neto **Editor**
A autora **Revisão**
Wellington Silva **Editoração, Diagramação e Capa**
Editora e Gráfica - UESPI **E-book**

S586e Silva, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da.
Etiquetagem do uso da energia [recurso eletrônico] : uma nova proposta
de rotulagem ambiental / Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes
da Silva, Fabrício Higo Monturil de Moraes, Marcos Antônio Tavares Lira. –
Teresina: EdUESPI, 2022.

E-book.

ISBN: 978-65-88108-61-1

1. Rotulagem ambiental. 2. Eficiência energética. 3. Edificações. 4.
Eletricidade. I. Moraes, Fabrício Higo Monturil de. II. Lira, Marcos Antônio
Tavares. III. Título.

CDD: 621.1

Ficha Catalográfica elaborada pelo Serviço de Catalogação da Universidade Estadual do Piauí - UESPI
Nayla Kedma de Carvalho Santos (Bibliotecária) CRB 3ª Região / 1188

Editora da Universidade Estadual do Piauí - EdUESPI

UESPI (*Campus Poeta Torquato Neto*)

Rua João Cabral, 2231 • Bairro Pirajá • Teresina-PI

Todos os Direitos Reservados

PREFÁCIO

E com grato regozijo que recebo o exemplar para leitura da obra *Etiquetagem do Uso da Energia: uma nova proposta de rotulagem ambiental*. Chega em tempo oportuno, no ajuste de ponteiros em que nunca se falou tanto em energia, esse bem motriz do avanço da sociedade, mas ao passo em que a consciência coletiva se flexiona para o raciocínio de que é necessário usar o bem energético, porém de forma que este nunca falte. É a modernidade que se aprimora para que o que lhe fornece vigor de avanço nunca lhe seja escasso e assim haja fôlego permanente para sempre evoluir mais. Certamente, energia se manterá no centro das discussões sobre avanço da sociedade por muito tempo, tamanha sua importância para nosso mundo.

Dispor de uma abordagem sincera, como encontrada aqui pelas vozes dos autores, consolida o crescente vertiginoso das dialéticas sobre energia, evidenciando a necessária ancoragem com segurança confiada nos preceitos de sua produção e, mais acuradamente, no conceito de seu uso eficiente. É nobre a percepção da responsabilidade e apurada visão técnica com que são tratados os pilares do desenvolvimento que tanto exigem amplidão de oferta energética quanto requisitam que tal desenvolvimento seja sustentável. E como todo excelente trabalho

de engenharia, as definições estão postas às claras, os rigores são respeitados com afinco e os cálculos dos números ilustram a realidade que a teoria transparece.

Metodologicamente, é nítido o empenho na obtenção de uma experiência em que a interação com essa obra significa sentimento de aprendizagem compartilhada e construção de conhecimento que, não obstante ser a eficiência energética e suas variantes um tema profundo, o escrito não o complica e com boa linha didática prepara uma estrada suave para a proposta expressa no título. Dessa forma, cada passo dado nas argumentações é acompanhado da descrição da experiência vivida pelos autores no assunto abordado, o que faz os conceitos serem vivificados e o pilar ensino-aprendizagem ser erguido e ganhar volume para sustentar o edifício do conhecimento.

E se o anteposto já não bastasse para qualificar o trabalho aqui tratado, ainda há uma contribuição engenhosa, inovadora e desafiadora, que aspira elevar a mais um degrau a forma como se trata a análise de ambientes energeticamente eficientes atualmente. E trazendo a reboque a aplicação prática da proposta, com seus resultados promissores, é visível o potencial da extensão de seu uso para alavancar performances otimizadas em frente da problemática da gestão eficiente dos bens energéticos. Há anos atuando na seara da etiquetagem de ambientes energeticamente eficientes considero, de fato, um enorme contributo para o avanço do ponteiro de ajuste do tema diante das necessidades de avanço da modernidade.

Recomendo fortemente este escrito para quem quer firmar conceitos que já conheceu, para consulta de profissionais ou entusiastas, para os empíricos do assunto, para alunos em busca de boas referências ou para inspiração de pesquisadores e professores. Ou ainda, para quem apenas gosta de manter uma biblioteca técnica rica, pois saber discutir propostas sobre uso

eficiente de energia é como saber discutir propostas de riqueza. E é isso que os autores fazem nessa obra.

Fábio Rocha Barbosa

Doutor em Engenharia Elétrica

Professor da Universidade Federal do Piauí – UFPI

APRESENTAÇÃO

Com o foco na energia elétrica, devido à sua linguagem multidisciplinar, este livro intitulado “Etiquetagem do uso de energia: uma nova proposta de rotulagem ambiental” pode ser utilizado por profissionais e estudantes de quaisquer áreas do conhecimento que se interessem pela temática. Esta publicação tem, portanto, um caráter técnico e científico, destacando aspectos relevantes da Rotulagem Ambiental e da Eficiência Energética.

Dividido em cinco capítulos, objetiva apresentar uma nova proposta de etiquetagem do uso de energia como uma autodeclaração ambiental, a partir da desagregação de faturas de energia e indicadores de produtividade. Destacando as edificações não-residenciais, no Capítulo 1 apresenta-se uma linha do tempo com a evolução da etiquetagem do uso da energia no Brasil, com destaque para o Programa Brasileiro de Etiquetagem como paradigma tradicional.

Ainda neste primeiro capítulo, analisou-se a expansão das Instituições de Ensino Superior no Brasil, justificando-se a escolha de uma destas instituições como objeto de estudo, dada a necessidade da atuação de um Sistema de Gestão Energética. No capítulo seguinte (Capítulo 2), destaca-se os aspectos técnicos

referentes à elaboração de uma Matriz de Indicadores Ambientais com base no Modelo Pressão-Estado-Resposta.

Ademais, através de revisão sistemática, evidencia-se a elaboração de Índices de Eficiência Energética, com ênfase na Análise Envoltória de Dados, técnica relevante à pesquisa cienciométrica realizada e à Rotulagem Ambiental proposta nesta publicação. Já no Capítulo 3, utilizando-se um estudo de caso, mostra-se o processo de construção da etiquetagem sugerida, que se inicia com o Diagnóstico Preliminar do uso de energia e é sucedido pela determinação do Indicador de Perdas Gerenciáveis e do Indicador de Custos Gerenciáveis, geral e por agrupamento, sintetizados, posteriormente, no Índice de Eficiência Energética Relativa, também nestas duas perspectivas.

Ainda neste capítulo são apresentadas estratégias para a melhora destes Aspectos Ambientais, além da nova proposta de etiquetagem do uso de energia, considerando-se o paradigma sistêmico do meio ambiente, com a sua complexidade, intersubjetividade e instabilidade. Trata-se, desse modo, de um modelo diverso do paradigma tradicional brasileiro. Ainda como principal contribuição desta publicação, um mapa dinâmico é apresentado, de modo que as etiquetas elaboradas para a instituição objeto de estudo desta publicação possam ser acessadas gratuitamente pela internet. Na sequência, o Capítulo 5 apresentando as principais conclusões do livro. Isto posto, tendo em vista que cada indicador contribui de modo distinto em cada um dos ciclos de medição, aceitam-se o imprevisível e o incontrolável, de modo que não existe uma única resposta para o problema.

SUMÁRIO

ABREVIATURAS E SIGLA	15
ETIQUETAGEM DO USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS	19
A expansão recente das IES federais brasileiras e a necessidade de gestão energética	32
Estrutura do livro	41
INDICADORES, ÍNDICES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	43
Índices de Eficiência Energética e a Análise Envoltória de Dados	51
Análise Envoltória de Dados	61
ETIQUETAGEM DO USO DA ENERGIA EM ORGANIZAÇÕES..	75
Determinação do Indicador de Perdas Evitáveis	79
Desagregação das faturas de energia	79
Cálculo do Indicador de Perdas Evitáveis	91
Determinação do Indicador de Custos Gerenciáveis	93
Análise de Agrupamento e ilustração do modelo	95
Cálculo do Indicador de Custos Gerenciáveis.....	103
Nova Proposta de Rotulagem Ambiental do Uso de Energia	111
Cálculo do Índice de Eficiência Energética Relativa e definição de metas.....	111
Nova Proposta de Rotulagem Ambiental do Uso de Energia	118

CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
REFERÊNCIAS	127

ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	<i>Análise de Componentes Principais</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CAANG	Campus Anginal
CACAM	Campus Campo Maior
CACOC	Campus Cocal
CACOR	Campus Corrente
CAFLO	Campus Floriano
CAOEI	Campus Oeiras
CAPAR	<i>Campus Parnaíba</i>
CAPAU	<i>Campus Paulistana</i>
CAPEII	<i>Campus Pedro II</i>
CAPES	<i>Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior</i>
CAPIC	<i>Campus Picos</i>
CAPIR	Campus Piripiri
CASJP	Campus São João do Piauí
CASRN	Campus São Raimundo Nonato
CATCE	Campus Teresina Central

CAURU	Campus Uruçuí
CAVAL	Campus Valença do Piauí
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CEFET	Centros Federais de Educação Tecnológica
CEFET-PI	Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí
CGIEE	Comitês Gestores de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
COP	Coefficient of Performance
CRS	Constant Return Scale - Retorno constante de Escala
CT-Edificações	Comissão Técnica de Edificações
CTZS	Campus Teresina Zona Sul
DEA	<i>Data Envelopment Analysis - Análise Envoltória de Dados</i>
DMU	<i>Decision Making Units - Unidades Tomadoras de Decisão</i>
EAF	Escolas Agrotécnicas Federais
EEER	Etiqueta de Eficiência Energética Relativa
EER	Energy Efficiency Ratio
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPEI	<i>Energy-pollution Efficiency Index</i>
EPPCI	Energy-pollution Productivity Change Index
FIES	Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior

IEA	International Energy Agency
IEE	Índice de Eficiência Energética
IEER	Índice de Eficiência Energética Relativa
IES	Instituição de Ensino Superior
IFET	Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
IndCG	Índices de Custos Gerenciáveis
IndPE	Indicador de Perdas Evitáveis
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MME	Ministério de Minas e Energia
Modelo PSR	Pressure-Status-Response Model - Modelo Pressão-Estado-Resposta
MSA	Measure of Sampling Adequacy - Medida de Adequação da Amostra
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODEX EEI	ODEX Energy Efficiency Index
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAR	Planos de Aplicação de Recursos

PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
PEE	Projetos de Eficiência Energética
PIB	Produtos Internos Brutos
PNAES	Programa Nacional de Assistência Estudantil
PNE	Plano Nacional de Educação
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROUNI	Programa Universidade para Todos
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
ROL	Receita Operacional Líquida
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SEC	Simulated Energy Consumption
SFA	Stochastic Frontier Analysis
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SIAD	Sistema Integrado de Apoio a Decisão
SISU/ENEM	Sistema de Seleção Unificado, integrado ao Exame Nacional do Ensino Médio
UFF	Universidade Federal Fluminense
VRS	Variable Return Scale - Retorno Variável de Escala

ETIQUETAGEM DO USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS

A pontado como referência para um modelo de desenvolvimento ideal, foi publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1987, o Relatório Brundtland (documento intitulado “*Our Common Future*”) (BRUNDTLAND, 1987) em que o Desenvolvimento Sustentável era concebido como aquele capaz de garantir as necessidades presentes sem o comprometimento da capacidade das gerações futuras suprirem suas próprias necessidades. Desde então esse conceito evoluiu e atualmente pode ser entendido como um modo de ser e viver que concilie as atitudes humanas com as limitações da natureza e com as necessidades das gerações atuais e futuras, sendo, portanto, um conjunto de processos e ações que devem ser pensados em uma perspectiva global, mas executados também em níveis nacionais, regionais e locais, permitindo que todo o planeta possa crescer igualmente sem que uma parcela evolua à custa do prejuízo de outras (BOFF, 2017).

Na Agenda 2030 publicada pela ONU em setembro de 2015, os países membros se comprometeram com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas a serem buscadas nos 15 anos subsequentes (ONU, 2015). Com relação à utilização

de energia, com o sétimo objetivo (Energia acessível e limpa), por exemplo, almeja-se com esse acordo o atendimento das seguintes metas: universalizar o acesso, aumentar a participação das energias renováveis, dobrar a taxa global de eficiência energética, além de reforçar a cooperação internacional em pesquisas e transferência de tecnologia (ONU, 2018).

Desse modo, de acordo com os princípios estabelecidos pela Agenda 2030, todas as organizações devem possuir um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de forma a garantir um desempenho ambiental aceitável. Devem pensar globalmente e agir localmente, uma vez que é em nível local que muitos impactos são apresentados e onde as ações podem ser eficazes, mesmo que a escala dos impactos seja global. O uso de energia é só um dos aspectos ambientais gerenciáveis em uma organização, mas sua demanda vem aumentando devido ao crescimento populacional e, principalmente ao desenvolvimento econômico, causando impactos ambientais que podem ser minimizados com a utilização eficiente da energia que produzimos (EPE, 2021a).

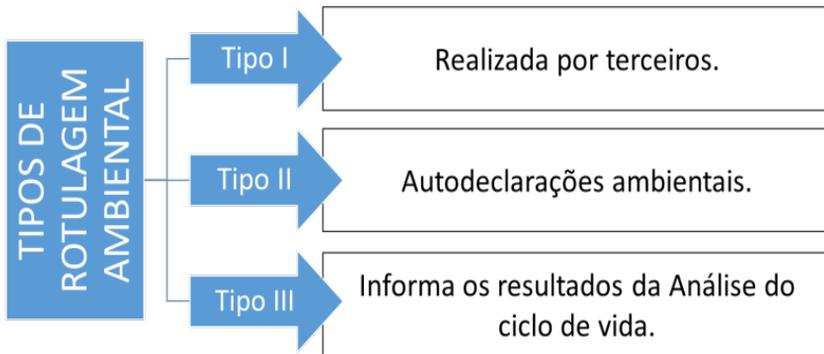
De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2021), na escala mundial foi gerada 26.936 TWh de energia elétrica no ano de 2019, com apenas 26,5% desse valor sendo proveniente de energias renováveis. Já no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), o balanço de geração de energia elétrica é mais favorável, uma vez que no ano de 2020, dos 651,3 TWh de energia elétrica consumidos (diminuição de 0,8% em relação ao ano anterior), houve a participação de 84,8% de fontes renováveis (hidrelétrica, biomassa, eólica e solar), com o setor industrial sendo o principal consumidor (30,6%). Importante destacar, entretanto, que quando se consideram todos os usos energéticos, não apenas o de eletricidade, a participação das energias renováveis no Brasil cai para 48,4%, o que mostra a necessidade da atuação nesse setor para atingir os objetivos da Agenda 2030.

Ademais, no contexto do uso de energia elétrica, a eficiência energética das edificações residências, comerciais e públicas, torna-se relevante uma vez que o consumo de energia elétrica nestes setores correspondeu a 42,7% de todo o país. A Eficiência Energética é o tema desse trabalho e pode ser entendida como um conjunto de medidas que tem como principal benefício a realização das mesmas atividades ou o fornecimento dos mesmos produtos ou serviços com menor consumo de energia (SILVA et al, 2019).

Como pode ser constatado nos diversos Balanços Energéticos, como nos apresentados pela IEA (2021), na esfera global, e pela EPE (2021b), na esfera nacional, estatísticas de energia geralmente são compiladas e apresentadas numa base setorial, onde os consumidores são agrupados de acordo com a atividade econômica, quais sejam: indústria, transportes, serviços, agricultura e residencial. Entretanto, o setor de serviços, o qual ganhará destaque nesta publicação, é o mais heterogêneo e, embora os dados de consumo de energia para o setor como um todo estejam disponíveis, os dados de consumo de energia subsetoriais não são facilmente encontrados. Nesse contexto, a rotulagem ambiental do uso de energia nessas instituições torna-se relevante como um instrumento da gestão ambiental, podendo servir de base para uma estratégia de *benchmarking* e estimular a melhoria contínua deste aspecto ambiental.

Rótulos ambientais são declarações que indicam o desempenho ambiental de um produto ou serviço, de modo geral ou relacionado a aspectos ambientais específicos, dentre os quais o uso da energia está incluso. Podem aparecer na forma de texto, símbolo ou elemento gráfico no rótulo, embalagem, boletins técnicos ou em propagandas e publicidade, de forma a permitir comparações entre produtos ou serviços semelhantes e estimular o consumo consciente (ABNT, 2002). É importante pontuar que essas rotulagens podem ser de três tipos (Figura 1):

Figura 1: Tipos de rotulagem ambiental



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

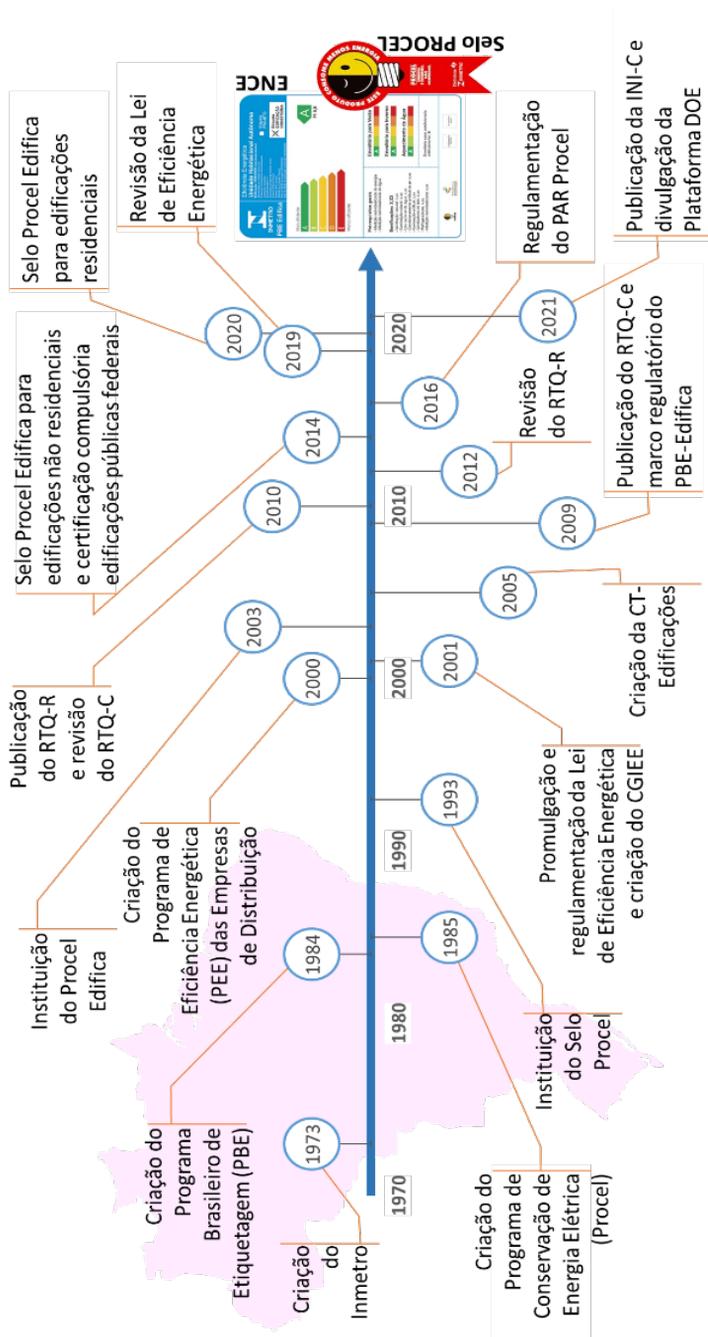
A rotulagem Tipo I se refere à rotulagem feita por terceiros a partir do cumprimento de pré-requisitos (ABNT, 2004), a Tipo II refere-se a autodeclarações ambientais efetuadas pelos responsáveis pelos produtos e serviços (fabricantes, importadores, distribuidores ou varejistas) sem certificação independente (ABNT, 2017), enquanto que a Tipo III refere-se à rotulagem de produtos ou serviços que apresentam informação ambiental quantificada do ciclo de vida de um produto (estágios sucessivos de um sistema de produto que vai desde a aquisição da matéria-prima à disposição final) (ABNT, 2015).

O primeiro marco da rotulagem ambiental ocorreu em 1977, quando a Alemanha lançou o rótulo Blue Angel, o primeiro esquema de rótulo ambiental e desde então essa estratégia se espalhou para vários países do mundo como os Estados Unidos da América com o “Green Seal” e o Japão com o “The EcoMark” em 1989 e União Européia com “The EU Ecolabel” em 1998, por exemplo (PRIETO-SANDOVAL *et al.*, 2019). Ainda em vigor, de acordo com Splenger *et al.* (2019), este primeiro rótulo ambiental é classificado como sendo do tipo I e rotula vários produtos com quase todos os conjuntos de critérios objetivando, principalmente, a redução

dos impactos durante a fase de uso, com outras fases do ciclo de vida (extração e beneficiamento da matéria prima, logística de distribuição e descarte, por exemplo) cobertas em menor grau.

Na Figura 2 é mostrada uma linha do tempo com os marcos regulatórios que levaram ao atual estado da rotulagem do uso de energia em edificações brasileiras. Para o desenvolvimento de índices de referência para uma estratégia de *benchmarking* no Brasil, foi criado em 1984 o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), criado em 1973, e do Ministério de Minas e Energia (MME) este programa busca informar aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente, através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), caracterizada como uma forma de rotulagem ambiental, que podem ser de dois tipos: certificações voluntárias (não-obrigatórias) ou compulsórias (obrigatórias) (EPE, 2020).

Figura 2: Marcos regulatórios da etiquetagem da eficiência energética de edificações no Brasil



Fonte: Adaptado de Silva et al (2021)

Os benefícios sociais com as etiquetas voluntárias aumentam com a elevação da: demanda de mercado do produto certificado, da relevância dos aspectos etiquetados e da capacidade do consumidor de entender, confiar e usar as informações do rótulo (ROE; TEISL; DEANS, 2014). Já os custos sociais e os argumentos contra as rotulagens compulsórias aumentam quando também aumentam: os custos indevidos e rigidez excessiva à produção; o tamanho e a complexidade de cadeia de fornecimento; mudanças repentinas de padrões ou técnicas de produção; as distorções de mercado com a diminuição da concorrência, por exemplo (ROE; TEISL; DEANS, 2014).

O PBE conta ainda com o apoio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), criado em 1985, através do subprograma Procel Selo (instituído em 1993) que rotula os equipamentos com o melhor índice de eficiência em cada categoria com o Selo Procel, podendo também ser atribuído a edificações não residenciais e residenciais, desde 2014 e 2020, respectivamente (PROCEL, 2021). Têm-se, portanto, a ENCE como o Selo de Conformidade do Inmetro que atesta os produtos nos pontos de venda, cuja principal informação é a sua eficiência energética através de índices, classificando os produtos em níveis de eficiência energética, e o Selo Procel que identifica os melhores em cada categoria, ambos caracterizados como um rótulo ambiental Tipo I do uso de energia (Figura 2).

Além do Selo PROCEL, destaca-se também o subprograma Procel Edifica que, instituído em 2003, busca desenvolver atividades para a eficiência energética em edificações e coordena o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), que objetiva a rotulagem ambiental da eficiência energética das edificações no Brasil (EPE, 2021c). É mister destacar ainda a criação do Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição de Energia Elétrica (BRASIL, 2000) que obriga as distribuidoras de energia elétrica aplicarem um percentual

mínimo da Receita Operacional Líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética e no Procel. Cabe ressaltar que a partir de 2016 (BRASIL, 2016), com a regulamentação dos Planos de Aplicação de Recursos (PAR), são condições imperativas para o repasse dos recursos ao programa, a apresentação e aceitação dos PAR anuais, além da aprovação da prestação de contas do ano anterior, por um Comitê Gestor de Eficiência Energética. Trata-se, portanto, de uma importante fonte fixa de recursos para o Procel, de modo que o primeiro ciclo do PAR ocorreu, portanto, em 2017 e, até o ano de 2020, foi responsável pelo investimento de 247,39 milhões de reais (PROCEL, 2021).

Por sua vez, com a Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a) prevê-se o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, além do estabelecimento de um Programa de Metas para sua progressiva evolução. Ela se articula com o PBE e o Procel, uma vez que esses três mecanismos de estímulo ao consumo de produtos eficientes são complementares e os seus resultados são atribuídos ao Procel.

Assim, de 1986 a 2020, o Procel acumulou uma economia de energia da ordem de 195,2 bilhões de kWh e, neste último ano, o programa pôde computar uma economia energética de 22,2 bilhões de kWh (correspondente a 4,64% de todo o consumo nacional de eletricidade naquele ano, equivalente ao consumo anual de 11,13 milhões de residências brasileiras), evitando a emissão de 1,36 milhão de toneladas de CO₂ na atmosfera, equivalente a 467 mil automóveis durante um ano (PROCEL, 2021). Entretanto, para o aumento de sua efetividade, Nogueira et al. (2015) já destacava a necessidade de: campanhas de *marketing* para informar ao público geral sobre os benefícios da regulamentação; constante revisão dos limites de eficiência; expansão da quantidade de equipamentos regulados; aumento do número de equipamentos retirados do mercado compulsoriamente devido à sua baixa

eficiência energética, semelhante ao que já acontece com as lâmpadas incandescentes.

As iniciativas do PBE têm contribuído com a eficiência na utilização de energia no país. Entretanto, desde 2009 essa certificação também pode ser atribuída a edificações no Brasil através da ENCE no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), resultado da interação do PBE com o Procel Edifica. Os Comitês Gestores de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), criados pela Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a), passaram a integrar em 2005, juntamente com o Inmetro, a Comissão Técnica de Edificações (CT-Edificações) que instituiu os marcos regulatórios da etiquetagem do uso de energia em edificações no Brasil. Foram publicados, portanto, em 2009 os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), alterado no ano seguinte (INMETRO, 2010) de Serviços e Públicos (RTQ-C, e também em 2010 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), alterado dois anos depois (INMETRO, 2012), bem como seus documentos complementares.

Esses dois regulamentos utilizam cálculos de engenharia e simulações computacionais a partir de três sistemas individuais das edificações (envoltória, climatização e iluminação) para a determinação do desempenho energético de parte ou de toda a edificação, na fase de projeto ou obra concluída, considerando ainda um conjunto de pré-requisitos (isolação de tubulações de sistemas de condicionamento de ar, por exemplo) e bonificações (presença de sistema de geração fotovoltaica correspondente a pelo menos 10% do consumo de energia, por exemplo). Entretanto, vale destacar que esta regulamentação para edificações não-residenciais (INMETRO, 2010) de Serviços e Públicos (RTQ-C) está sendo substituída pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais,

de Serviços e Públicas (INI-C) (INMETRO, 2021) de Serviços e Públicas (INI-C que visa aperfeiçoar o RTQ-C.

Essa nova regulamentação prevê um período de transição de dois anos, de modo que, a partir de 24 de fevereiro de 2023, a ENCE de Projeto para edificações não-residenciais e a ENCE de Edificação Construída para edificações existentes, no âmbito do PBE, que não tenham sido submetidas à inspeção de projeto com base no RTQ-C, deverão ser emitidas somente com base na INI-C ora aprovada. Para Leite e Hackenberg (2020), mesmo sendo menos exigente, esta nova regulamentação apresenta uma evolução em relação à anterior ao considerar um número maior de parâmetros, entretanto, esta mesma característica torna o processo de obtenção da etiqueta mais demorado, podendo servir ainda para verificar a influência de cada um deles na eficiência da edificação. Já Wong et al. (2020), também reconhecem a evolução da regulamentação e o empenho do Brasil em tornar seus instrumentos de certificação cada vez mais eficazes, entretanto, diferentemente dos autores anteriores, consideram que a INI-C é mais rigorosa que o RTQ-C, elencando algumas evoluções, quais sejam: inserção de valores de referência para diferentes tipos de edifícios, o que torna a certificação mais precisa; remoção do sistema de pontuação com bônus e pré-requisitos que podem mascarar os resultados; inclusão de cálculos de consumo de energia em unidades físicas (kWh) que podem ser utilizados em uma estratégia de *benchmarking*. Trata-se, portanto, de uma nova metodologia, ainda com poucos estudos publicados, que ainda precisa ser melhor estudada.

Os sistemas de avaliação pública para o desempenho energético de edificações podem ser utilizados em novas construções e nas construções existentes para: cumprimento obrigatório de padrões mínimos; políticas para penalizar o baixo desempenho energético ou recompensar o bom desempenho energético; rotulagem obrigatória ou voluntária do desempenho

energético do edifício; programas de transparência e divulgação; *benchmarking* interno voluntário; avaliação de oportunidades de melhoria (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016). O PBE caracteriza-se como um desses sistemas de avaliação sendo um instrumento importante para garantir a eficiência energética dos edifícios no país, entretanto, existe a necessidade de um modelo simplificado, mais preciso e eficiente para o processo de etiquetagem.

Wong et al. (2020) afirmam que, para se conseguir uma implantação completa desse programa, dever-se-ia: desenvolver metodologias para calcular valores realistas; criar campanhas para a conscientização entre o público em geral, treinamento e apoio para aumentar o número de avaliadores de energia; aplicação de sanções em caso de descumprimento; aplicação de medidas de monitoramento e avaliação pós-certificação; estabelecimento e manutenção de um sistema de registro central para coleta de dados relevantes dos certificados. Em comparação com o modelo de etiquetagem de outros países como os Estados Unidos da América e Portugal, seria importante ainda: valorizar edifícios com o consumo nulo de energia (totalmente autossuficientes); informar as reduções de gás carbônico; ampliar a sua atuação no setor industrial; tornar a certificação obrigatória (LOPES et al., 2016). Nesta perspectiva, a regulamentação da rotulagem ambiental do uso da energia no país ainda tem muito a evoluir.

No Brasil, para a maioria das edificações a etiquetagem é voluntária. Entretanto, desde junho de 2014 é obrigatória a observância da ENCE na aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia bem como nos projetos de edificações públicas federais brasileiras novas ou que forem objeto de *retrofit* de responsabilidade da Administração Pública Federal (BRASIL, 2014). Importante destacar que se consideram imóveis públicos federais, quaisquer imóveis construídos ou adaptados com recursos públicos federais para exercício de atividade

administrativa ou para a prestação de serviços públicos e, mesmo com essa obrigatoriedade, o PBE Edifica mostra-se ineficaz na rotulagem da eficiência energética de edificações.

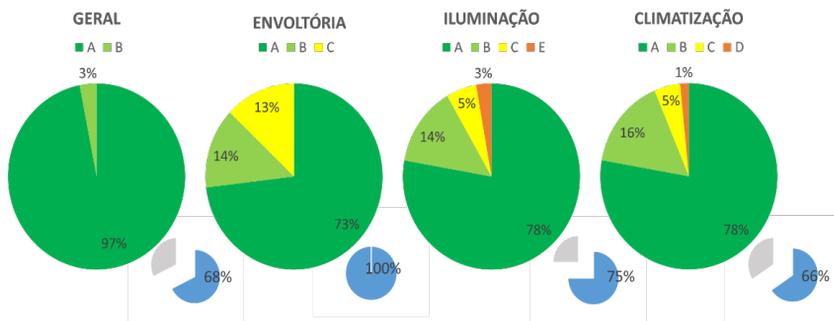
Analisando-se os dados do Inmetro (2019), pôde-se identificar em todo o país apenas 96 edificações não residenciais com a eficiência energética de suas edificações rotuladas no âmbito do PBE até 10 de junho de 2019, 18 a mais que Wong e Krüger (2017), não contemplando, portanto, o período de vigência da INI-C. Destacam-se as regiões sudeste e nordeste com o maior percentual de etiquetas emitidas (50,0% e 24,0%, respectivamente), principalmente devido à São Paulo e à Bahia que foram os estados com o maior número de ENCE emitidas (27,1% e 20,8%, respectivamente), além de 12 estados com nenhuma certificação da eficiência energética de edificações não residenciais (Acre, Alagoas, Amapá, Goiás, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima e Tocantins).

O percentual de cada um dos níveis de eficiência energética nos sistemas das edificações analisados pelo PBE Edifica foi identificado (Figura 3), destacando-se que a maioria dos sistemas apresenta bons níveis. O percentual de cada um dos sistemas analisados com relação ao total de edificações etiquetadas (gráfico em azul) variou de 66% a 100% devido a possibilidade de certificações parciais das edificações. Entretanto, destaca-se que a análise da envoltória foi efetuada em todas as edificações por ser um item obrigatório a todas as ENCE, seja ela geral ou parcial.

Esse resultado comprova, portanto, que mesmo com a obrigatoriedade da ENCE para a administração pública federal (BRASIL, 2014), o PBE Edifica na certificação das edificações é ineficaz, conforme também comprovado por Silva et al. (2015) e Wong e Krüger (2017). Entretanto, vale destacar que não se levou em consideração as implicações da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a) e da obrigatoriedade da compra de produtos

com o índice A de eficiência energética (BRASIL, 2014), que podem ser objeto de estudo de trabalhos futuros.

Figura 3: Percentual de Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia emitidas para edificações não residenciais no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações até junho de 2019



Fonte: Silva, Moita Neto e Lira (2020a)

Tanto o RTQ-C quanto a INI-C avaliam a eficiência energética das edificações apenas a partir de sua infraestrutura, não sendo capazes de detectar por exemplo a influência do uso dos ambientes na determinação da eficiência. Em função desta necessidade, em março de 2021, foi divulgado o lançamento de uma plataforma que será disponibilizada pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para o público em geral, de forma on-line e gratuita, a fim de permitir a avaliação do desempenho energético de edificações semelhantes às 15 tipologias analisadas no projeto, que foram reunidas em seis grupos, quais sejam: meios de hospedagem, educação, saúde, sistema financeiro, comércio e informática (PROCEL, 2021). Entretanto, mesmo essa plataforma estando disponível, ainda haverá lacunas a serem preenchidas, uma vez que as equações desenvolvidas somente serão aplicáveis às tipologias estudadas.

Constata-se, portanto, a ineficácia dos Índices de Eficiência Energética oficialmente regulamentados no Brasil para

edificações, bem como sua caracterização como um paradigma tradicional de casualidade linear que avalia a Eficiência Energética das edificações somente a partir de sua infraestrutura, que não reconhece, portanto, a sua natureza cíclica. Assim, esse livro propõe a avaliação da eficiência através do paradigma sistêmico do meio ambiente, reconhecendo-se, portanto, a causalidade circular, de modo que cada indicador contribui de modo distinto em cada um dos ciclos de medição (complexidade), aceita-se o imprevisível e o incontrolável (instabilidade) e considera-se que não existe uma única resposta para o problema (intersubjetividade). Neste aspecto, tem-se como principal contribuição científica a proposição de um novo modelo de rotulagem ambiental para as organizações. A metodologia proposta prevê a criação de uma matriz de indicadores ambientais, para o desenvolvimento de índices, níveis e etiquetas de eficiência energética a serviço de uma estratégia de *benchmarking*, próprios de um sistema de gestão energética, tendo como objeto de estudo o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), caracterizado neste estudo como uma Instituição de Ensino Superior (IES) Federal e apresentada no Tópico 3.1.

A expansão recente das IES federais brasileiras e a necessidade de gestão energética

Em 1932 foi publicado por 25 intelectuais brasileiros o “Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova” (MANIFESTO..., 1932) que propunha a reconstrução educacional do Brasil. Este documento teve grande repercussão e culminou na obrigatoriedade constitucional da União fixar, coordenar e fiscalizar um Plano Nacional de Educação (PNE) em todo o território do País (BRASIL, 1934), obrigação esta que foi incorporada em todas as constituições seguintes, com exceção da Carta de 37 (BRASIL, 2001b). O manifesto era um instrumento político que apontava,

portanto, a necessidade de instrumentos de orientação e fiscalização das ações educacionais para a modernização do país através da educação, uma vez que a estrutura existente não correspondia às necessidades da época (MACHADO; CARVALHO, 2015). Para Kang (2017), as políticas educacionais conduzidas pelo governo federal no período de 1930 a 1964 foram importantes para determinar os resultados em todos os níveis de ensino com alguma melhoria na redução dos índices de analfabetismo, entretanto, sobretudo os governos mais comprometidos com a Industrialização por Substituição de Importações (Getúlio Vargas e Juscelino Kubitschek). Essas políticas foram elitistas, privilegiando o ensino superior em detrimento do ensino primário para as massas.

Darius e Darius (2018) também destacam que o século XX, a partir deste primeiro marco do desenvolvimento da educação no país e suas consequências, trouxe um legado positivo com o aumento do número de escolas e do acesso da população ao ensino público, entretanto, afirma que ainda resta para os dias atuais o desafio da organização de um Sistema Nacional de Educação coerente, unificado, democrático e de qualidade. O primeiro Plano Nacional de Educação surgiu apenas em 1962 (TEIXEIRA, 1962), e foi proposto pelo Ministério da Educação e Cultura com um plano de metas quantitativas e qualitativas a serem alcançadas num prazo de oito anos, tendo sido alterado nos dois anos seguintes. Não havia, portanto, a obrigação legal, muito embora, essa característica não seja imperativa para o seu cumprimento, uma vez que de acordo com (MOREIRA, 2019), nunca foi possível no Brasil realizar a política educacional tal como prevê a lei.

Nos anos seguintes, houve duas revisões desse plano (1965 e 1966) e uma nova tentativa sem sucesso de instituir um PNE na forma de lei em 1967 até que a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) previu em seu artigo 214 a obrigatoriedade

de fixação por lei de um PNE de duração plurianual que, posteriormente, teve sua vigência alterada para dez anos (BRASIL, 2001b). Somente em 2001, já no segundo governo de Fernando Henrique Cardoso, foi publicado o primeiro Plano Nacional de Educação com força de lei que priorizava:

1. Garantia de ensino fundamental obrigatório de oito anos a todas as crianças de sete a 14 anos, assegurando o seu ingresso e permanência na escola e a conclusão desse ensino e a todos os que a ele não tiveram acesso na idade própria ou que não o concluíram;
2. Ampliação do atendimento nos demais níveis de ensino (a educação infantil, o ensino médio e a educação superior);
3. Valorização dos profissionais da educação;
4. Desenvolvimento de sistemas de informação e de avaliação em todos os níveis e modalidades de ensino, inclusive educação profissional. (BRASIL, 2001)

Na aprovação deste PNE, elaborado pelo poder executivo, a democracia atuou apenas na sua forma representativa, uma vez que a sociedade civil organizada, sobretudo as entidades sindicais e estudantis juntamente com as associações acadêmicas, universitárias e científicas não tiveram papel relevante na aprovação ou modificação das diretrizes e metas educacionais no ambiente restrito do Congresso Nacional (HERMIDA, 2006). Configurou-se, portanto, como uma formalidade, sem mecanismo de financiamento, uma vez que os artigos que garantiam o financiamento do programa foram vetados pelo então presidente e, com pouca articulação com políticas mais amplas, não era capaz de nortear o desenvolvimento da educação do país (DOURADO, 2010; FERREIRA, 2019; MELO; MOURA, 2017).

Entretanto, mesmo com clara ênfase no ensino fundamental, durante a vigência do PNE (2001-2010) houve grande expansão do

ensino superior com o aumento do orçamento das universidades (Tabela 1), especialmente a partir de 2003 (Expansão I). Este ano marca o início do governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva, com o aumento do número de vagas na graduação presencial, do número total de matrículas, do orçamento e do número de servidores (aumento de 28%, 13%, 48% e 7%, respectivamente) até o ano de 2007. A partir de então tem-se o início de um segundo e maior período de expansão através da criação do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) (BRASIL, 2007b), com estes indicadores aumentando novamente em 66%, 53%, 63% e 16%, respectivamente, até o ano de 2011, período de vigência do programa.

Tabela 1: Expansão das Universidade Federais de 2003 a 2011

Indicadores	Ano base			Variação %		
	2003	2007	2011	2003-07	2007-11	Total
Vagas ofertadas na graduação presencial	109.184	139.875	231.530	28%	66%	112%
Número total de matrículas	596.219	672.136	1.029.141	13%	53%	73%
Orçamento (R\$ bilhões) corrigido pelo IPCA	10,30	15,20	24,80	48%	63%	141%
Número de docentes	49.851	56.440	70.710	13%	25%	42%
Número de Técnicos administrativos	85.343	88.801	98.364	4%	11%	15%

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados de Brasil (2012)

Diferentemente do anterior, a atuação deste novo governo favoreceu a agenda da educação superior com a democratização de acesso, contemplando questões econômicas e raciais, aperfeiçoamento dos instrumentos de avaliação e incremento da educação à distância, muito embora tenha sido criticado pelo estímulo à privatização e mercantilização da educação com a reestruturação do Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior (FIES) e criação do Programa Universidade para Todos (PROUNI) que financiavam o ingresso e a permanência

de estudantes em universidades privadas com recursos do governo federal (AGUIAR, 2016), questões essas que não serão aprofundadas neste livro. Entretanto, analisando este e os outros três governos que seguiram, constata-se que não existe um sistema articulado de educação nacional consistente e exequível, denunciando que ainda existem no país dois projetos antagônicos de educação que continuam a colocar frente a frente os interesses público e privado, com clara predileção do governo atual para a agenda ultraliberal, com o contingenciamento do orçamento das universidades, negação à ciência e fundamentalismo religioso, por exemplo (FERREIRA, 2019; MELO; MOURA, 2017).

Com duração de cinco anos, o Programa REUNI tinha como objetivo criar condições para a ampliação do acesso e permanência na educação superior, no nível de graduação, para melhor aproveitamento da estrutura física e de recursos humanos existentes nas universidades federais, muito embora tenha fomentado a conclusão de 1588 obras e um incremento de 3.065.735,17 m² na infraestrutura das universidades (BRASIL, 2012), condição preponderante para atingir as metas do programa (BITTENCOURT; FERREIRA; DE BRITO, 2017). Destaca-se ainda que, assim como neste programa, a criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET) (BRASIL, 2008) também contribuiu para a expansão do ensino superior neste período, através da criação de novos campi com a reestruturação dos Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET), Escolas Agrotécnicas Federais (EAF) e Escolas Técnicas vinculadas às Universidades Federais que passariam a se equiparar às universidades na oferta de cursos superiores e em sua estrutura organizacional multicampi. (PEREIRA; CRUZ, 2019; ROSINKE et al., 2020). Essa estrutura é composta de subunidades com personalidade jurídica e unidade de gestão próprias vinculadas a uma reitoria, que criava uma organização multifacetada e híbrida (FERNANDES, 2016; NEZ, 2016).

No ano da criação dos IFET pode-se constatar a criação de 405 cursos presenciais de graduação nessas instituições (14%

do total de cursos em universidades no ano de 2008) com uma expansão de 249,63% no número de cursos até o ano de 2017 (expansão quase três vezes maior que nas universidades e 6,5 vezes maior se consideramos apenas os *campi* do interior), perfazendo um total de 1416 cursos e 168.956 matrículas ao final do período (23% do total de vagas em 2017 e aumento de 312,74% ao final do período), demonstrando que a expansão do ensino superior nos IFET foi ainda maior que nas universidades a partir de sua criação, contribuindo em maior parcela para a sua interiorização (Tabela 2). Importante destacar que não se discutirá neste trabalho o aumento dos outros níveis de ensino a partir da criação dos IFET, que também sofreram grande expansão, sobretudo se considerarmos, por exemplo, que 50% das ações destas novas instituições deveriam ser voltadas para a educação técnica profissional de nível médio (BRASIL, 2008).

Tabela 2: Expansão da educação superior nos IFET em comparação com as universidades de 2008 a 2017

		2008	2017	Δ% 2008-2017
Número de cursos de graduação presencial em universidades	Capital	1.241	1.976	59,23%
	Interior	1.581	2.635	66,67%
	Total	2.822	4.611	63,39%
Número de cursos de graduação presencial em IFET	Capital	223	323	44,84%
	Interior	182	1.093	500,55%
	Total	405	1.416	249,63%
Número de matrículas em cursos de graduação presencial em IFET		40.935	168.956	312,74%

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados de (ROSINKE et al., 2020)

Estas duas iniciativas do governo federal (o Programa REUNI e a criação dos IFET) se confundem ainda mais, devido ao fato que no mesmo dia em que foi publicado o decreto federal que instituiu

o REUNI (BRASIL, 2007b), o governo publicou outro decreto que estabelecia diretrizes para o processo de integração dos IFET (BRASIL, 2007a), com ambas as iniciativas exigindo o atendimento de metas para o aumento da produtividade no ensino, pesquisa e extensão. Entretanto, mesmo alinhadas por considerarem o quadro docente ocioso e mal aproveitado, essas duas políticas diferenciavam-se na estratégia, uma vez que para as universidades com o REUNI almejava-se a elevação da relação aluno/professor e o aumento do número de ingressantes por semestre, enquanto que nos IFET obrigava-se que os *campi* recém-criados abrissem cursos superiores nos limites mínimos dos percentuais estabelecidos pela legislação (FLORO; RI, 2017), o que pode inclusive explicar a maior expansão do ensino superior nos IFET percebida por Rosinke et al. (2020). Devido às suas similaridades no ensino superior, trataremos as universidades federais e os IFET como Instituições de Ensino Superior (IES) federais.

As IES federais podem ser consideradas um dinamizador para as economias locais, não só pela formação de mão-de-obra qualificada, mas também como estímulo ao desenvolvimento das economias locais e regionais, sobretudo em municípios do interior (BRUNE; BIDARRA, 2015; PEREIRA; CRUZ, 2019; SOUZA, 2019). Entretanto, mesmo reconhecendo estes benefícios, a ampliação das oportunidades educacionais não tem ocorrido de modo homogêneo no país, não decorrendo muitas vezes de planejamento qualitativo, mas sim de pressões sociais e barganhas políticas, devendo estar alinhadas a vocação regional e às demandas trazidas pela comunidade local (CAMARGO; ARAUJO, 2018; MACEDO, 2017), embora também se deseje um planejamento para a transformação em escala nacional (GOUVEIA, 2017).

Ainda com relação ao planejamento da expansão, a comissão do Ministério da Educação e Cultura (MEC) que avaliou a expansão das universidades destaca que mesmo com todas as IES argumentando que houve discussão com a Comunidade

Interna e aprovação dos conselhos superiores, exigência do próprio REUNI, apenas 50% delas afirmaram que houve consulta com a sociedade civil organizada e poucas delas afirmaram que seguiu o seu próprio Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), muito embora devessem criar o seu Plano de Reestruturação, conforme as diretrizes do programa (BRASIL, 2012). Ainda de acordo com esta comissão, tais problemas refletem-se na inadequada localização geográfica dos campi e na baixa infraestrutura disponível (internet, transporte e infraestrutura de apoio para professores e alunos), no aparecimento de problemas administrativos e pedagógicos, uma vez que muitas obras não ficaram prontas em tempo hábil, além da inadequação dos cursos às necessidades locais, tanto no que diz respeito à consolidação de áreas de conhecimento já existentes ou quanto às novas áreas prioritárias, problemas estes que também foram sentidos na expansão dos IFET, constatados por Silva e Melo (2018), Bittencourt et al. (2017) e Santos e Santos (2019).

A ampliação do número de vagas em IES, aliada a adoção do Sistema de Seleção Unificado, integrado ao Exame Nacional do Ensino Médio (SISU/ENEM) e ao sistema de cotas, trouxe para as instituições novos públicos estudantis, pertencentes a grupos sociais, econômicos, étnicos e geracionais historicamente excluídos (jovens das camadas populares, trabalhadores e estudantes da escola pública), mesmo que ainda exista grande desigualdade quando considerados aspectos de renda e raciais, sobretudo nos estratos mais altos das faixas de renda (MANCIBO; SILVA JUNIOR; OLIVEIRA, 2018; PICANÇO, 2016; TREVISOL, 2016). Ademais, o aumento da presença desses grupos minoritários explicita a necessidade do aumento de políticas de assistência estudantil e estímulo à criação do Programa Nacional de Assistência Estudantil (PNAES) (BRASIL, 2010).

O PNAES, juntamente com a política de cotas e o sistema ENEM/SISU representam inegáveis avanços nas Políticas de Ações

Afirmativas, justificando a sua implantação e efetivação (JESUS; MAYER; CAMARGO, 2016). Focado no auxílio a estudantes em situação de vulnerabilidade social, este programa aumentou em quatro vezes os investimentos nesta área, considerando apenas as universidades, muito embora tenha sido detectada sua necessidade de ampliação para o aumento ou melhora na oferta de: auxílio financeiro, alimentação, moradia, espaços de convivência e serviços de apoio (serviço social, psicologia, saúde, lazer, esporte e reforço escolar) (BRASIL, 2012).

É inegável o incremento do número de servidores, em especial o de docentes, entretanto, é imperativa a necessidade de se ajustar o número de servidores a fim de atender às demandas acadêmicas e administrativas sobretudo em aspectos qualitativos (BRASIL, 2012; LIMA; MACHADO, 2016). Estes mesmos autores argumentam ainda que a expansão das IES federais é imperativa para avanços nas concepções de gestão universitária por apresentar características especiais e possuir potencialidade de conflitos e tensões. Espera-se dos gestores competências que muitas vezes estão além de suas habilidades, entretanto as suas competências fazem referência principalmente e, quase que exclusivamente, às ações e vivências com seus pares no espaço organizacional, destacando a necessidade de treinamento (BARBOSA; MENDONÇA; CASSUNDE, 2016).

Além da sua configuração *multicampi* que dificulta a criação de uma unidade orgânica e traz consigo problemas administrativos e acadêmicos (FERNANDES, 2016; NEZ, 2016) e dos desafios da expansão impostos para a gestão das instituições, destaca-se o momento de restrição orçamentária para as IES federais, contraponto o cenário do início da expansão das IES (SILVA; MELO, 2018), que enseja o aumento da eficiência operacional. De acordo com Oliveira et al. (2014), não foi sentido esse avanço de capacidade operacional no processo de expansão das IES. Ademais, o uso da energia possui grande peso nas contas das IES

e possui o maior Índice de Risco Ambiental nestas instituições (SENNÁ et al., 2014), sendo imperativa a consolidação da institucionalização da Gestão Energética como parte integrante de um Sistema de Gestão Ambiental (SILVA et al., 2016). Dessa forma, diante de tudo que foi exposto, mais uma vez se justifica a escolha do Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Piauí como objeto de estudo.

Estrutura do livro

Com o foco na energia elétrica, o presente livro é estruturado em cinco capítulos. No capítulo seguinte serão apresentados os aspectos relevantes à construção de uma matriz de indicadores e ao desenvolvimento de Índices de Eficiência Energética (IEE), destacando a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), técnica importante para a elaboração da rotulagem ambiental proposta neste livro e que possui grande relevância para a determinação de IEE. A seguir, no Capítulo 3, conjuntamente com a caracterização do objeto de estudo, será proposta uma metodologia para o desenvolvimento de uma Etiqueta de Eficiência Energética Relativa (EEER), além de serem apresentados os resultados práticos da aplicação da metodologia para a instituição escolhida como objeto de estudo. Por fim, no Capítulo 4 serão apresentadas as principais conclusões do estudo, com o último capítulo (Capítulo 5) apresentando as referências utilizadas.

INDICADORES, ÍNDICES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Borgstein et al. (2016) pôde identificaram 17 exemplos de sistemas e esquemas de classificação de desempenho de energia em edifícios não residenciais existentes em cinco países (Brasil, Estados Unidos da América, Reino Unido, China e Austrália). Neste estudo, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) foi caracterizado como um sistema de rotulagem com a classificações de ativos, aplicável a novos edifícios e grandes renovações que utiliza o método prescritivo ou simulação com comparação com edifícios nacionais. Com o foco na comparação do consumo de energia dos edifícios, essas técnicas de avaliação são aplicadas para classificar, taxar e ranquear o desempenho energético de edifícios de maneira compulsória ou voluntária e objetivam, na maioria dos casos, a garantia de níveis de desempenho e reduções de consumo de energia em edifícios, além de diferenciar-se de acordo com o tipo (etiquetagem ou *benchmarking* simples, por exemplo), aplicação, e metodologia de *benchmarking*.

Existem várias metodologias de avaliação do desempenho energético de edificações podendo ser classificadas de várias maneiras com base nas técnicas utilizadas. Para Hong et al. (2013)

e Burman et al. (2014) elas podem ser do tipo *top-down* ou *bottom-up* (de cima para baixo ou de baixo para cima, respectivamente, na tradução literal), de modo que na primeira abordagem os *benchmarks* são obtidos com base nos valores de desempenho energético do edifício, enquanto que em uma segunda abordagem esses índices são obtidos através da análise teórica de um edifício. Já para Li et al. (2014), de acordo com o nível de controle do pesquisador nos processos de determinação, as metodologias podem ser do tipo caixa preta, cinza ou branca, de modo que: no primeiro modelo as técnicas são puramente estatísticas, com poucas informações exigidas em cada edifício; no segundo modelo misturam-se uma análise física limitada da edificação com metodologias estatísticas; no último modelo baseia-se fortemente na estrutura física dos edifícios e são altamente dependentes de entradas do usuário. A escolha da metodologia deve-se adequar ao objetivo do estudo sendo bastante limitada pela disponibilidade de dados e da relação custo-benefício de sua obtenção.

Existe uma discrepância entre o consumo projetado e o consumo real de energia elétrica, com seis fatores afetando fortemente o consumo de energia em edificações: Clima; Envoltória do edifício; Sistemas de construção; Operações e manutenção; Comportamento dos ocupantes; Condições ambientais internas (IEA, 2013). Percebe-se, portanto, que esses fatores se relacionam claramente com as condições ambientais, infraestrutura física da edificação e o comportamento dos usuários, podendo ensejar um novo modelo de classificação das metodologias de determinação do desempenho energético de edificações. Assim, baseado nas variáveis utilizadas, sugere-se ainda uma reflexão sobre a elaboração de uma matriz de indicadores confiáveis para cada um destes últimos aspectos ambientais e posterior determinação de índices que pode ser objeto de trabalhos futuros. Ademais, pôde-se identificar e classificar as metodologias comumente utilizadas para a determinação do desempenho energético de edificações

não residenciais (Tabela 3). Importante destacar ainda que, de acordo com o propósito da determinação do desempenho energético das edificações não-residenciais, as metodologias podem ser independentes ou complementares.

Tabela 3: Metodologias para a determinação do desempenho de edificações não-residenciais

METODOLOGIA	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
Cálculos de Engenharia (<i>Bottom-up</i> e caixa branca)	Totalmente baseados na física do edifício e em cálculos de engenharia.	(DUA et al., 2016; FUCCI et al., 2016; HUOVILA; TUOMINEN; AIRAKSINEN, 2017; MORAIS et al., 2017; SILVA; SANTOS; BARBOSA, 2016)
Métodos estatísticos (<i>Top-down</i> e caixa cinza ou preta)	Usam técnicas estatísticas para prever e avaliar o desempenho energético com base em conjuntos de dados existentes de construções múltiplas.	(BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014; LI; TAO, 2017; SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a)
Simulações (<i>Bottom-up</i> e caixa cinza ou preta)	Envolvem o uso <i>softwares</i> para simular o desempenho de um edifício.	(PLANAS; CUERVA; ALAVEDRA, 2018; RUIZA et al., 2016; ZHAOA et al., 2017)
Aprendizagem de máquina (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Utilização de algoritmos que podem prever informações.	(CHENG et al., 2019; GHAHRAMANI et al., 2018; GLESK; ROPER, 2018; WANG; CHEN; HONG, 2018)
Métodos dinâmicos e Análises em tempo real (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Realizados através de sistemas de controle e técnicas de modelagem computacional.	(AHMADI-KARVIGH et al., 2018; LEE et al., 2018; SCHIBUOLA; SCARPA; TAMBANI, 2018)
Análise de curva de carga e desagregação de faturas de energia (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Avaliação do desempenho do edifício usando informações facilmente disponíveis a partir de contas de energia.	(KETCHMAN et al., 2018; MORAIS et al., 2017; NIEDERBERGER; CHAMPNISS, 2018; SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a)

Auditoria energética <i>(Bottom-up e caixa-branca)</i>	Técnica para avaliar o desempenho energético de um edifício e identificar seu potencial de melhoria analisando os principais sistemas de construção.	(MATHIOULAKIS et al., 2017; MORAIS et al., 2017; ROUSSEAUX et al., 2017; SILVA; SANTOS; BARBOSA, 2016)
Análise pós-ocupação, conforto e qualidade ambiental <i>(Bottom-up e caixa-cinza ou preta)</i>	Avaliação do desempenho energético de edificações que considera fatores relacionados às pessoas	(FRIDGEN et al., 2018; GHAHRAMANI et al., 2018; WANG; CHEN; HONG, 2018)

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Ademais, define-se indicador como um parâmetro (propriedade que é medida ou observada), ou um valor derivado de parâmetros, que fornece informações sobre ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado que se estende além do diretamente associado ao valor do próprio parâmetro (NARDO et al., 2008). Existem vários indicadores específicos, comprovados por estudos científicos e metodologicamente avançados, para medir os aspectos relevantes ao desempenho ambiental esperado, sobretudo os objetivos definidos na Agenda 2030. Destaca-se ainda a necessidade de considerar os conhecimentos científicos ainda na formulação das políticas ambientais de cada uma das organizações (HÁK; JANOUSKOVÁ; MOLDAN, 2016). Entretanto, deve-se ajustá-los às necessidades das organizações, limitando o máximo possível o número de indicadores para minimizar o trabalho desnecessário (SUDIN; NASSLANDER; LELAR, 2015).

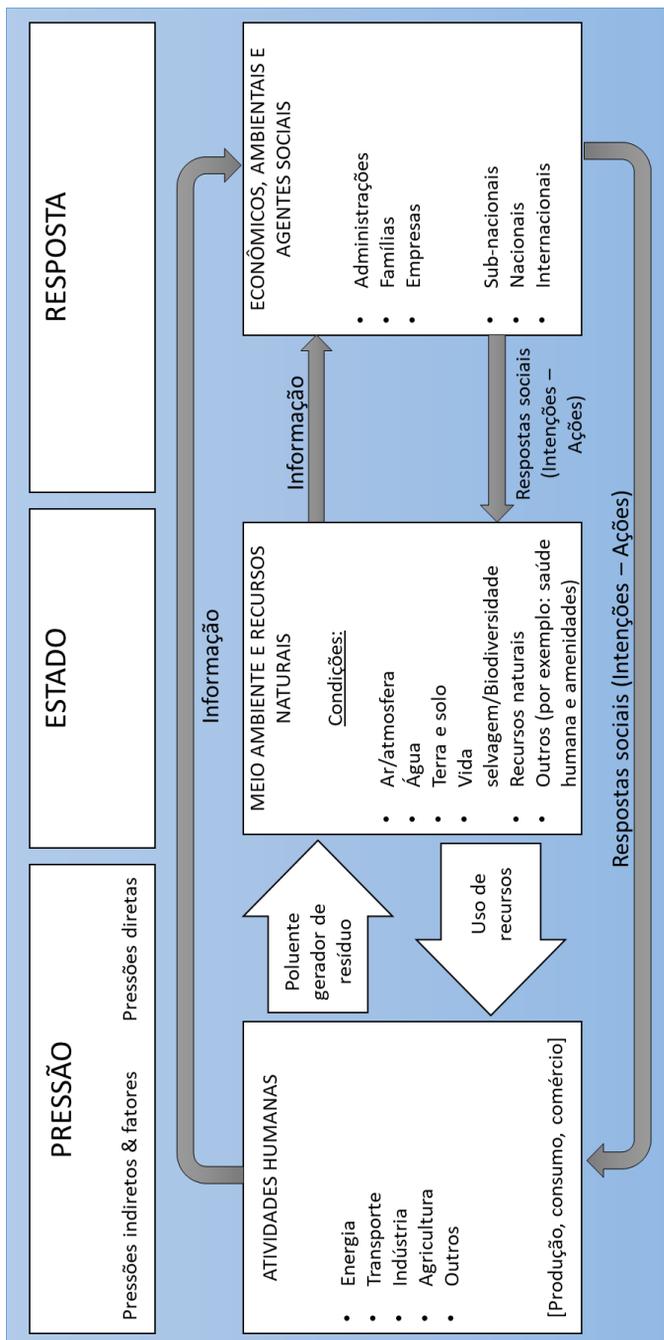
Pôde-se identificar 706 indicadores ambientais em um conjunto de 14 pacotes desenvolvidos por organizações internacionais, governamentais e não governamentais, escolhidos em função do seu sucesso de implementação. Tais indicadores foram divididos em função do tipo e da área de aplicação,

com uma distribuição aproximada de 50%, 30% e 20% dos indicadores, podendo ser caracterizados como indicadores de Estado, Pressão e Resposta, respectivamente. Nessa caracterização, a maioria deles sendo referentes ao Ambiente Biótico, Qualidade e Uso dos Recursos Naturais e Contaminação Física e Química (BRAMBILA; FLOMBAUM, 2017). Existe, portanto, uma série de indicadores padronizados por diferentes organizações e relatórios, diferenciando-se por tipo e área de aplicação.

Daremos destaque nesta publicação ao Modelo PSR (Modelo Pressão-Estado-Resposta – *Pressure-Status-Response Model*) (Figura 4) definido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2003), organização internacional composta por 35 países, que em sua maioria são desenvolvidos. Desde 1994 a OCDE relaciona-se com o Brasil, entretanto, apenas em maio de 2017 recebeu um pedido de integração oficial que ainda não vingou (G1, 2021).

A OCDE fornece uma plataforma para comparar políticas econômicas de países, particularmente nas avaliações de desempenho ambiental e objetiva o desenvolvimento de indicadores ambientais internacionais que são utilizados na tomada de decisões nacionais, internacionais e globais. Esta plataforma enfatiza sua cooperação contínua e influencia em atividades similares desenvolvidas por vários países e organizações internacionais como por exemplo: a Organização das Nações Unidas; o Banco Mundial, a União Europeia e vários institutos internacionais (OCDE, 2021).

Figura 4: Modelo Pressão-Estado-Resposta de indicadores ambientais



Fonte: Traduzido de OCDE (2003)

Vale destacar, entretanto, que essa abordagem também pode ser usada para desenvolver indicadores em níveis subnacionais ou ecossistêmicos, reconhecendo que não existe um conjunto universal de indicadores, uma vez que esses parâmetros devem ser regularmente refinados e podem mudar com a evolução do conhecimento científico, do cenário político e da disponibilidade de dados. De acordo com o Modelo PSR os indicadores ambientais podem ser de três tipos (Figura 4):

- Indicadores de Pressões Ambientais: representam as pressões diretas e indiretas que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente;
- Indicadores de Condições Ambientais: refletem a qualidade do meio ambiente e do recursos naturais;
- Indicadores de Respostas Sociais: refletem as ações individuais ou coletivas detinadas a mitigar os efeitos negativos das ações antrópicas no meio ambiente (OCDE, 2003).

Pôde-se identificar a utilização dessa metodologia em vários artigos recentemente publicados com aplicabilidade em várias áreas como: indústria marinha (HAN et al., 2018; LIU et al., 2018), avaliação de ecossistemas (LIAO et al., 2018), ambiente urbano (HUANG et al., 2018; WANG et al., 2018), indicadores ambientais (CABELLO et al., 2018), sustentabilidade ambiental (AVELAR et al., 2018) e gestão energética (SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a), por exemplo. Apreende-se ainda da Figura 4 que esses três tipos de indicadores ambientais relacionam-se em um ciclo, de modo que as pressões ambientais influenciam no meio ambiente com a utilização de recursos e impactos ambientais, ao mesmo tempo em que as condições do meio ambiente devem incentivar decisões e ações que impactem positivamente no ciclo.

A OCDE (2003) também fornece uma metodologia de seleção e validação de indicadores ambientais definida e tem duas funções principais: reduzir o número de medidas e parâmetros investigados e simplificar o processo de comunicação dos resultados, devendo ser selecionados com base em três critérios:

- Relevância e utilidade: devem apresentar relevância nacional e servir de base para comparações internacionais, com um limite ou valor de referência que possibilite avaliar o significado dos valores associados a ele, demonstrando tendências cronológicas;
- Solidez e Analiticidade: devem ser bem fundamentados técnica e cientificamente, validados por padrões e consensos internacionais, além de estarem ligados a modelos econômicos;
- Mensurabilidade: devem estar disponíveis e poder ser obtidos com um relação custo-benefício aceitável, com atualizações regulares e qualidade, sendo documentados adequadamente (OCDE, 2003).

É importante destacar que algumas questões ou tópicos não podem ser avaliadas corretamente por medidas quantitativas ou indicadores. Entretanto, mesmo quando isso é possível, os indicadores sozinhos não são capazes de fazer uma correta avaliação do desempenho ambiental, devendo sempre que possível serem agregados ou ponderados e comporem índices, sendo necessária ainda a sua complementação com análise e interpretação, além de informações e dados adicionais (SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a).

Índices de Eficiência Energética e a Análise Envoltória de Dados

Existem várias formas de se determinar Índices de Eficiência Energética (IEE), com esses parâmetros sendo capazes de fornecer soluções para edificações, e apoiar sistemas de gestão energética através da previsão do consumo de energia, coleta de dados para determinação da performance energética, fornecendo referências de *benchmarking* e verificação de economia e desperdícios de energia (BAKAR et al., 2015; NARDO et al., 2008). É objetivo da gestão energética a melhoria contínua do uso da energia, dessa forma, como não se pode gerenciar o que não se pode medir, analisaram-se as técnicas de determinação dos IEE em Edificações publicadas recentemente em periódicos internacionais.

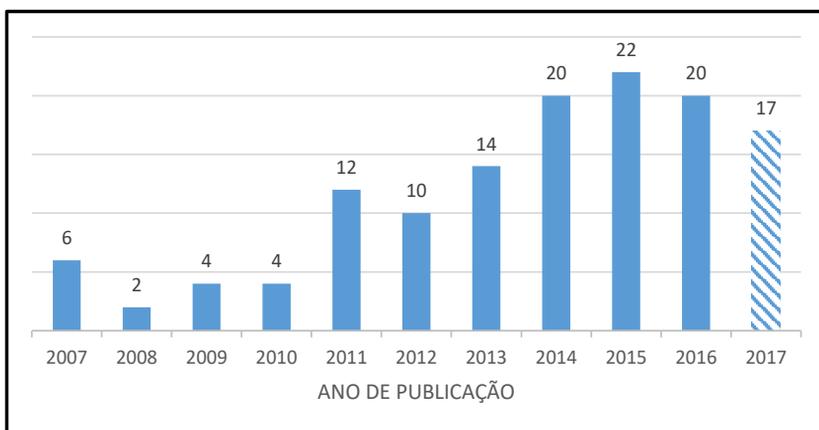
Em recente pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sistema de busca de artigos acadêmicos (CAPES, 2021), pesquisaram-se os artigos que continham as expressões em inglês “*energy efficiency index*” e “*building*”, com o objetivo de selecionar o maior número de publicações, unidas pelo operador booleano “AND”, publicados no período de 01 de janeiro de 2007 a 30 de maio de 2017. Para o refinamento da pesquisa, utilizaram-se os filtros “Tipo de material” e “Idioma” para selecionar apenas os artigos em inglês, além da opção “Periódicos revisados por pares” para garantir uma maior relevância do material encontrado. Após essa filtragem, fez-se o refinamento da amostra e excluíram-se os artigos repetidos, os “não científicos” e os de autoria desconhecida. A pesquisa cienciométrica foi realizada para avaliar a toda a produção científica relevante à determinação de Índices de Eficiência Energética no período analisado.

A quantidade de filtros do Portal de Periódicos da CAPES era limitada, não sendo possível, por exemplo, restringir as buscas ao “título”, ao “resumo” ou às “palavras-chave” por exemplo, razão pela qual se optou por utilizar um termo de busca mais restritivo (“*Energy Efficiency Index*”) ao invés de outros mais genéricos como: “*Energy*” ou “*Energy Efficiency*”. A Pesquisa Cienciométrica com

os termos e filtros utilizados retornou um total de 143 artigos publicados nestes dez anos. Após o refinamento da amostra, excluiu-se cinco artigos repetidos, cinco artigos “não científicos” (quatro deles do periódico: *World Pumps*) e dois artigos de autoria desconhecida ou não informada, restando na amostra um total de 131 artigos. Destaca-se um aumento no número de artigos publicados a partir de 2011 e o ano de 2017 com 17 publicações sobre a temática, seis artigos a mais que a média do período estudado, apenas nos cinco primeiros meses do ano (Figura 5).

Os artigos identificados foram publicados em 46 periódicos diferentes e, destacam-se positivamente o periódico “*Energy*”, com o maior número de publicações (16 publicações). A busca por termos na Língua Inglesa possibilitou que se encontrasse artigos originários de 34 países diferentes, com uma média de 3,85 artigos por país, destacando-se a China com o maior número de publicações (24 publicações, mais que o dobro da Espanha, segundo colocado) e o Brasil com apenas cinco publicações (3,8% do total), número que talvez pudesse ser maior caso os termos fossem buscados em Língua Portuguesa.

Figura 5: Frequência da publicação sobre os Indicadores de Eficiência Energética de 2007 a 2017



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Com relação aos artigos publicados por pesquisadores de instituições brasileiras, ressalta-se o fato de dois dos cinco artigos (FOSSATI et al., 2016; OLIVEIRA; REBELATTO, 2015) estudarem a eficiência energética em edificações residenciais, com os autores destacando a necessidade de alterações no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (Tabela 4). Além disso, destaca-se o artigo de Agostinho e Siche (2014), que mesmo pesquisando as Usinas Produtoras de Etanol de Cana-de-açúcar, objeto de estudo diferente do investigado por esta publicação, traz uma conclusão importante sobre os Índices de Eficiência Energética em edificações, objeto de estudo desse trabalho (Tabela 4).

Tabela 4: Relação de artigos sobre a Índices de Eficiência Energética publicados por pesquisadores brasileiros

ARTIGO	OBJETIVO GERAL	TÉCNICAS UTILIZADAS	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
<i>Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme</i> (FOSSATI et al., 2016)	Revisa os códigos e sistemas de etiquetagem da eficiência energética de edifícios em todo o mundo, apresenta uma visão geral das normas brasileiras sobre eficiência energética e discute o esquema de rotulagem para edifícios residenciais adotados no Brasil.	<i>Energy Labelling</i>	Indica que é necessária uma revisão para conseguir um processo mais flexível e economicamente viável que permita que o programa seja estabelecido como obrigatório.

<p><i>The evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: A technological improvement proposal in order to increase its efficiency</i></p> <p>(OLIVEIRA; REBELATTO, 2015)</p>	<p>Avaliar o impacto econômico e financeiro das medidas governamentais para reduzir o consumo de energia de refrigeradores, congeladores, aparelhos de ar condicionado e chuveiro elétrico através de tecnologias mais eficientes.</p>	<p><i>Regression Analysis; Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) Method.</i></p> <p>Se o governo estabelecesse novas metas de redução e incentivasse o uso de tecnologias mais eficientes, haveria uma redução significativa do consumo, mantendo níveis de preços atuais para a compra dos aparelhos mais eficazes, ao mesmo tempo em que trazem retornos financeiros significativos ao estado.</p>
<p><i>Influence of natural and artificial light on structured steel buildings</i></p> <p>(CASTANHEIRA; SOUZA; FORTES, 2015)</p>	<p>Compila diversas variáveis que interferem diretamente no desenvolvimento de projetos arquitetônicos para projetos de iluminação em construções estruturadas em aço.</p>	<p>Apenas cita Stroker (2003) por apresentar uma análise de Índices de Eficiência Energética e de Iluminação sem dar maiores detalhes.</p> <p>O uso de iluminação natural em edifícios e, em particular, aqueles com predominância de ocupação diurna, podem contribuir significativamente para a eficiência energética, o conforto visual e o bem-estar de seus ocupantes.</p>

<p>Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugarcane ethanol as a case study</p> <p>(AGOSTINHO; SICHE, 2014)</p>	<p>Discute pontos teóricos, dentro de uma análise de energia incorporada para responder questões relacionadas ao conceito de renovabilidade na produção de etanol de cana-de-açúcar.</p>	<p><i>Embodied Energy Analysis; Energy Accounting</i></p> <p>As metodologias científicas utilizadas respondem negativamente o seu problema de pesquisa, mas ressalta que as metodologias disponíveis fornecem diferentes indicadores com diferentes significados e devem ser usadas adequadamente, evitando conclusões mais amplas que não são realmente representadas pelos índices calculados.</p>
<p>ECO-ALOC: Energy-efficient resource allocation for cluster-based software routers</p> <p>(FRAGNI; COSTA, 2012)</p>	<p>Explora o uso de roteadores de <i>software</i> baseados em <i>cluster</i> como forma de compartilhar recursos de hardware, reduzir custos e economizar energia.</p>	<p><i>Server Energy Efficiency Index</i></p> <p>Mostrou que o sistema proposto fornece economias de energia de até 93% dependendo dos computadores que estão na rede.</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Analisou-se ainda o conteúdo de todos os artigos publicados em 2016 e 2017 (41 artigos), que foram selecionados com a metodologia proposta com o objetivo de identificar qual a técnica utilizada para a determinação dos Índices de Eficiência Energética. Foram identificadas 41 técnicas diferentes e, das técnicas que foram

utilizadas por pesquisadores brasileiros, apenas a Etiquetagem de Energia (*Energy Labelling*) ganhou destaque (Tabela 5).

Tabela 5: Técnicas mais utilizadas atualmente na elaboração de Índices de Eficiência Energética

ÍNDICES E TÉCNICAS	REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA
DEA (<i>Data Envelopment Analysis</i>)	(CHANG, 2016; CHEN et al., 2016; JEBALI; ESSID; KHRAIEF, 2017; LI; TAO, 2017; LIAO et al., 2016; MAKRIDOU et al., 2016; MOLINOS-SENANTE; ENCINAS; URETA, 2016; WANGA et al., 2017)	Metodologia de análise de eficiência relativa que compara uma eficiência otimizada com a eficiência das unidades analisadas estabelecendo um índice de avaliação da eficiência da relação insumos/produtos dessas unidades quando existem várias entradas e saídas.	8
<i>Coefficient of Performance (COP); Energy Efficiency Ratio (EER); Energy Efficiency of Water Transportation; Energy Consumption Proportions of Heat Pump; Potential Energy Efficiency Index</i>	(DUA et al., 2016; FUCCI et al., 2016)	Razão entre a energia útil fornecida para o sistema e a energia consumida no processo.	7

<i>Multiple Linear Regression</i>	(MORRIS et al., 2016; RAMOS; LABANDEIRA; LÖSCHEL, 2016; WANGA et al., 2016)	Abordagem para modelar a relação entre uma variável escalar dependente e mais de uma variável explicativa.	3
<i>Regression Analysis</i>	(OLIVEIRA; REBELATTO, 2015; SEKKIA et al., 2016; ZHAOA et al., 2017)	Técnica que permite explorar e inferir a relação de uma variável dependente com variáveis independentes específicas (variáveis explicativas).	3
<i>Decision Tree</i>	(ROUSSEAU et al., 2017; WANGA et al., 2017)	Ferramenta de suporte à decisão que usa um gráfico ou modelo de decisões em árvore e suas possíveis consequências, incluindo resultados de evento casual, custos de recursos e utilidade, sendo amplamente utilizado para relacionamentos ocultos entre múltiplas entidades.	2
<i>Ecodesign Tool</i>	(MATHIOULAKIS et al., 2017; ROUSSEAU et al., 2017)	Ferramentas para integrar o design ecológico nos processos, considerando os impactos ambientais do produto durante todo o ciclo de vida, que podem ser normativas ou não-normativas, genéricas ou setoriais, bem como “ambientais” ou “de melhoria”.	2

<i>Energy Labelling</i>	(FOSSATI et al., 2016; MATHIOULAKIS et al., 2017)	Etiquetagem de produtos, processos e sistemas para informar sua eficiência energética, podendo conter índices e indicadores.	2
<i>Energy-pollution Efficiency Index (EPEI); Energy-pollution Productivity Change Index (EPPCI)</i>	(LI; HU; XIA, 2016)	Média aritmética de um índice específico com um Índice de Eficiência Energética.	2
<i>ODEX Energy Efficiency Index (ODEX EEI)</i>	(COPIELLO, 2017; RINGEL et al., 2016)	Utilizado para fornecer um monitoramento abrangente das tendências de consumo de energia e eficiência, bem como uma avaliação das medidas políticas de eficiência energética por setor para países da União Europeia, calculado como uma média ponderada de índices sub-setoriais de progresso da eficiência energética, com metodologia específica.	2
<i>Simulated Energy Consumption (SEC)</i>	(RUIZA et al., 2016; ZHAOA et al., 2017)	Simulação do consumo de energia com a utilização de software.	2

<p><i>Stochastic Frontier Analysis</i></p>	<p>(LI; TAO, 2017; LUNDGRENA; MARKLUNDA; ZHANGA, 2016)</p>	<p>Metodologia de análise de eficiência relativa que compara uma eficiência otimizada com a eficiência das unidades analisadas estabelecendo um índice de avaliação da eficiência da relação insumos/produtos dessas unidades quando existem várias entradas e uma única saída.</p>	<p>2</p>
--	--	---	----------

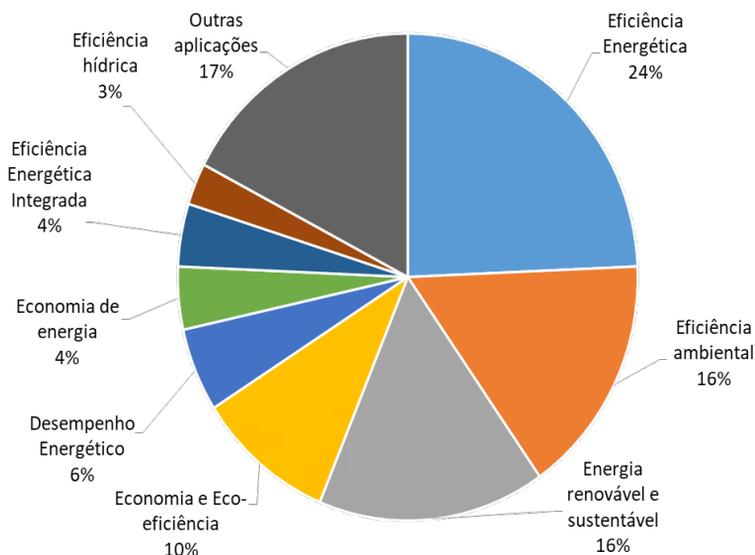
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A técnica que apareceu com maior frequência foi a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), entretanto, a simples “Razão” entre dois indicadores ou índices consolidados, com pelo menos um deles relacionado a energia, ainda é muito utilizada. Conforme será visto posteriormente, a DEA serve para avaliar o grau de eficiência de unidades produtivas, considerando os insumos disponíveis (*inputs*) e os resultados alcançados (*outputs*). Utilizando-se as medições desses parâmetros em cada uma das unidades produtivas analisadas, essa metodologia é capaz de determinar a Eficiência Relativa através de Programação Linear (JI; LEE, 2010).

Nesse levantamento, destaca-se ainda a utilização da DEA em dois estágios (*DEA Two-stage Procedure*) e em três estágios (*DEA Three-stage Procedure*), utilizadas por Jebali et al. (2017) e Chen et al. (2016), respectivamente, que são variações da DEA, caracterizadas como DEA em Múltiplos Estágios (*Multi-stage DEA*), que visam minimizar os efeitos de influências secundária nos índices utilizados, além da técnica *DEA-Discriminant Analysis*, também utilizada por Chen et al. (2016) para realizar outras comparações entre as unidades com o máximo de eficiência determinados pela DEA convencional, haja vista que todas essas unidades recebem o mesmo índice (índice igual a 1).

Mesmo com os poucos filtros disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES a pesquisa com termos restritivos retornou 131 artigos adequados (91,6% dos artigos selecionados pelo portal) e a opção por pesquisar os termos na Língua Inglesa mostrou-se acertada por retornar artigos de 34 países diferentes, mas pode ter sido a razão de não encontrar muitos artigos produzidos por pesquisadores de instituições brasileiras. A DEA também foi o objeto de estudo da pesquisa cienciométrica de Mardani et al. (2016) que tinha com o objetivo revisar os documentos que utilizaram essa técnica para avaliar a eficiência energética em nove diferentes áreas de aplicação que foram publicados de 2006 a 2015 em 45 revistas internacionais da base de dados da *Web of Science*, identificando 144 publicações, com a distribuição conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Distribuição percentual de artigos sobre Análise Envoltória de Dados por área de aplicação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de Mardani *et al.* (2016)

Com a seleção de modelos de análise apropriados, a DEA pode ser útil para pesquisadores interessados em estudar questões de energia e meio ambiente, dada a importância das técnicas de modelagem nessas áreas com o crescente interesse em comparações de desempenho (MARDANI et al., 2016). No tópico seguinte, devido a sua relevância, essa a DEA será apresentada com destaque os seus modelos clássicos, uma vez que ela será utilizada na metodologia de pesquisa por considerar análises cíclicas e o paradigma sistêmico do meio ambiente.

Análise Envoltória de Dados

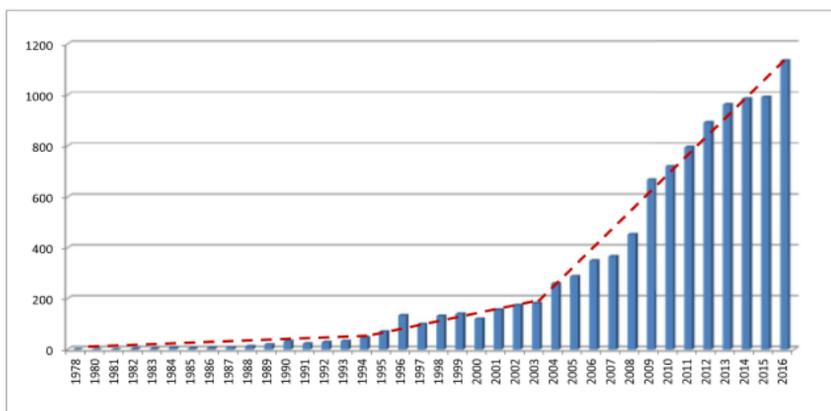
Desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) com o objetivo de desenvolver medidas de eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units* – DMU) para avaliação de programas públicos (utilizada inicialmente em um programa educacional para a avaliação de escolas), a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma técnica não-paramétrica utilizada para avaliar o grau de eficiência de unidades produtivas semelhantes, considerando os insumos disponíveis (*inputs*) e os produtos alcançados (*outputs*). Utilizando-se as medições desses parâmetros em cada uma dessas DMU analisadas (unidades produtivas que se deseja avaliar e comparar com outras de mesma natureza e responsáveis por transformar os *inputs* em *outputs*), essa metodologia é capaz de determinar a Eficiência Relativa (parâmetro que varia de zero a um) em relação aos que obtiveram desempenho máximo dentre os cenários analisados (índice um de Eficiência Relativa) através de Programação Linear (JL; LEE, 2010).

Desde a sua criação, pôde-se identificar um total de 10.300 artigos publicados por 11.975 autores diferentes com um crescente aumento no número de publicações nos últimos anos, destacando-se a eficiência ambiental e a agricultura como a palavra-chave

e área de estudo mais popular nas publicações de 2016 e 2017, respectivamente (EMROUZNEJAD; YANG, 2018). Na Figura 7 é mostrado o número de artigos publicados por ano, com destaque ao grande número de artigos publicados sobre essa temática a partir de 2004 (média de 680 por ano até 2016):

A DEA utiliza dados multivariados e cria fronteiras de eficiência objetivando a maior relação entre maior razão entre as combinações lineares dos *outputs* e *inputs*, classificando-se de acordo com os tipos de retorno de escala em dois modelos clássicos: CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) ou BCC (Banker, Charnes e Cooper), sendo o primeiro mais adequado quando não existem diferenças de escala entre as amostras e o segundo mais adequado quando essa diferença existe (CHEN et al., 2016). Importante destacar que, de acordo com Banker et al. (1989), deve-se respeitar a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA que afirma o número de DMUs deve atender a dois critérios: ser maior ou igual a três vezes a soma total do número de variáveis (*inputs* e *outputs*) utilizadas e ser maior ou igual ao produto do número de *inputs* e *outputs*.

Figura 7: Distribuição dos artigos publicados sobre a Análise Envoltória de Dados por ano (1978-2016)



Fonte: EMROUZNEJAD; YANG. (2018)

O modelo CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), também é conhecido por *Constant Return Scale* (CRS) e considera que um aumento na utilização de insumos deve promover um aumento proporcional nos resultados. Já o modelo BCC, desenvolvido por Banker *et al.* (1989), é conhecido por *Variable Return Scale* (VRS) e considera que o aumento da utilização de *inputs* também deve provocar um aumento nos *outputs*, entretanto esse aumento pode ser proporcionalmente maior, menor ou igual. Como consequência, o modelo CCR cria uma fronteira de eficiência que tem a forma de uma reta (linear) enquanto que a fronteira criada pelo modelo BCC é côncava, contornando as DMU com maior eficiência, sendo, portanto, menos exigente e mais flexível que a primeira.

A DEA pode ser facilmente visualizada num plano cartesiano de dados bivariados em que as entradas e as saídas são representadas por uma única variável ou por uma única combinação linear das variáveis. Dessa forma, para ilustrar essas técnicas, passaremos a determinar a Eficiência Energética Relativa de todos os setores industriais do Brasil no ano de 2016, utilizando como dados de entrada o consumo de energia medido em toneladas equivalentes de petróleo (tep) de cada um dos setores da indústria no Brasil. E, por sua vez, como dados de saída, os Produtos Internos Brutos (PIB) que também foram produzidos por cada um deles, medido em dólares americanos, de acordo com os dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), excluindo-se para fins didáticos o setor identificado no documento como “Outras indústrias” (Tabela 6).

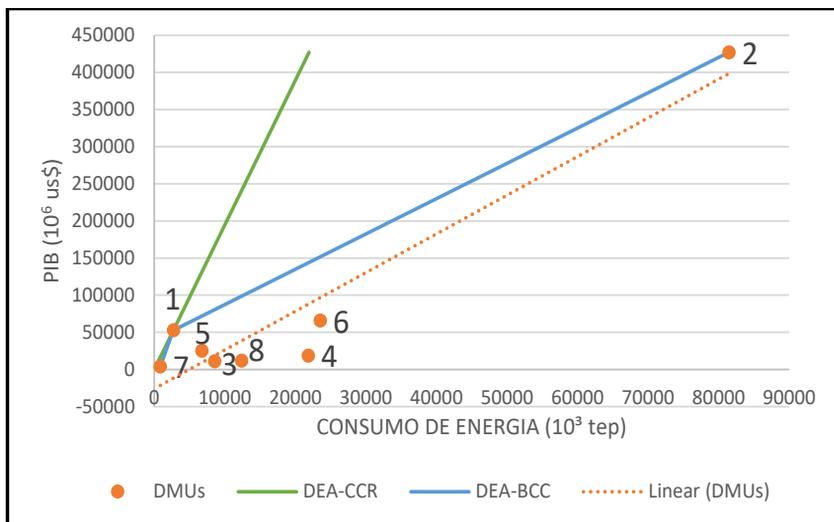
Tabela 6: Consumo de energia e Produto Interno Bruto dos setores das indústrias do Brasil em 2016

DMU	SETORES	INPUT	OUTPUT
		Consumo energético (10 ³ tep)	PIB (10 ⁶ US\$)
1	Extrativista mineral	2714	52826
2	Transformação	81469	427157
3	Não metálicos	8543	10981
4	Metalúrgica	21836	18689
5	Química	6743	25335
6	Alimentos e bebidas	23531	65933
7	Têxtil	842	3969
8	Papel e Celulose	12382	11920

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de EPE (2017)

As fronteiras de eficiência criadas pela DEA como os modelos CCR e BBC foram determinadas (Figura 8) e contrastam com os modelos de regressão tradicionais, como de regressão linear também mostrada no gráfico, evidenciando que essa última técnica não é eficaz para modelar matematicamente a eficiência por não representar o potencial máximo da utilização de insumos. Podemos definir a produtividade de uma DMU como sendo a razão entre os insumos e produtos. Através da DEA, definidas as fronteiras de eficiência, pode-se estabelecer valores alvo ou metas para a redução dos insumos ou para o aumento dos produtos de cada uma das DMU para que elas possam tornar-se eficientes, de acordo com o tipo de orientação (orientados a *inputs* ou *outputs*, respectivamente), dessa forma os índices de eficiência definidos por essa análise variam de zero a um e representam a razão entre a produtividade dessa unidade e a produtividade da DMU eficiente, de acordo com o modelo e a orientação escolhida para a DEA.

Figura 8: Fronteiras de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016



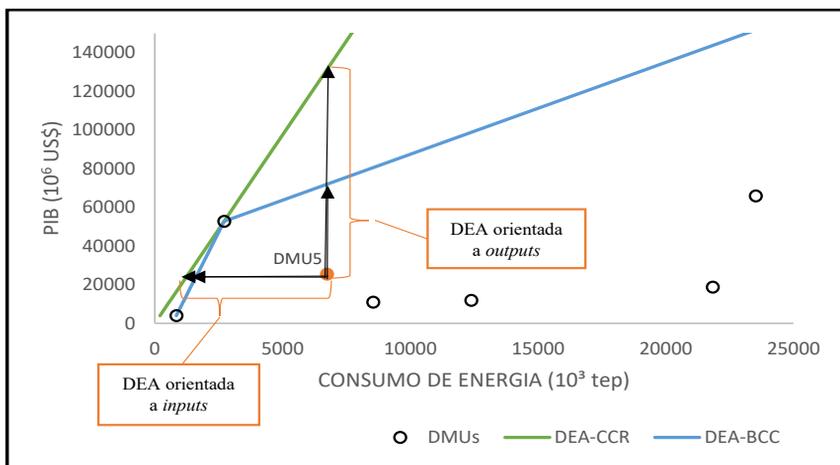
Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de EPE (2017)

Independentemente do modelo utilizado, os índices criados pela DEA representam a distância de cada uma das DMU à respectiva curva de eficiência, de modo que para atingir essa fronteira de eficiência, três soluções são possíveis (Figura 9): manter constante as entradas e aumentar as saídas (DEA orientada a *outputs*) ou manter constante as saídas e diminuir as entradas (DEA orientada a *inputs*), ou, simultaneamente, diminuir as entradas e aumentar as saídas (melhor opção), permitindo o contínuo processo de aprimoramento (WANGA et al., 2017). A DEA fornece, portanto, indicações do que melhorar para atingir melhor grau de eficiência em uma análise cíclica porque pode ser repetida em ciclos de medição subsequentes.

Esses índices são facilmente determinados para dados bivariados. Utilizando a Figura 9, podemos definir, por exemplo, que o índice de eficiência da DMU5 com o modelo CCR ou

BCC orientado a *inputs* é a razão entre a sua produtividade e a produtividade de uma DMU fictícia, definida pela projeção horizontal dessa unidade na respectiva curva de eficiência, enquanto que esse mesmo índice orientado a *outputs* é a razão entre a produtividade dessa unidade e a produtividade da projeção vertical dela sobre a curva do respectivo modelo. O modelo CCR retorna o mesmo valor para o índice, independentemente da orientação, o que não acontece com o modelo BCC por causa de um fator que na sua determinação para adequar a técnica às diferenças de escala das DMU. A Tabela 7 apresenta os índices de eficiência dos setores da indústria brasileira no ano de 2016 determinados por cada um dos métodos:

Figura 9: Análises Envoltórias de Dados orientadas a *inputs* ou *outputs*



Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de EPE (2017).

Tabela 7: Índices de Eficiência Energética e metas para os *inputs* e *outputs* com base na Análise Envoltória de Dados para as indústrias do Brasil em 2016

DMU	CCR			BCC			
	IEE	Orientação <i>input</i>	Orientação <i>output</i>	Orientação <i>input</i>		Orientação <i>output</i>	
		ALVO <i>Input</i>	ALVO <i>Output</i>	IEE	ALVO <i>Input</i>	IEE	ALVO <i>Output</i>
1	1,00	203,91	16388,91	1,00	842,00	1,00	3969,00
2	0,27	564,16	52826,00	1,00	1110,67	1,00	52826,00
3	0,07	612,40	131247,50	0,13	1146,65	0,14	71976,27
4	0,04	960,17	166283,17	0,06	1406,01	0,13	80531,87
5	0,19	1301,62	241006,46	0,25	1660,66	0,35	98779,05
6	0,14	2714,00	425021,57	0,23	2714,00	0,43	143714,93
7	0,24	3387,39	458013,49	1,00	5471,56	1,00	151771,44
8	0,05	21945,71	1585733,75	0,09	81469,00	0,12	427157,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de EPE (2017).

As Equações 1 e 2 definem as técnicas de CCR orientadas a *inputs* e *outputs*, respectivamente, e as Equações 3 e 4 definem as técnicas de BCC orientadas a *inputs* e *outputs*, na forma de programação linear que pode ser facilmente implementada em uma planilha eletrônica e devem ser desenvolvidas para cada uma das DMU analisadas:

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^r u_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (1)$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j$$

$$\text{Min } h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

$$Eff_o = \frac{1}{h_o}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^r u_i x_{io} &= 1 \\
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + u_o &\leq 0, \forall k \\
 v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j \\
 u_o &\in \mathcal{R}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } h_o &= \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_o \\
 \text{Eff}_o &= \frac{1}{h_o}
 \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - v_o &\leq 0, \forall k \\
 u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \\
 u_o &\in \mathcal{R} \\
 v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } h_o &= \sum_{i=1}^r v_i x_{io} \\
 \text{Eff}_o &= \frac{1}{h_o}
 \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - v_o &\leq 0, \forall k \\
 u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \\
 u_o &\in \mathcal{R}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Onde: Eff_o – Eficiência da DMU analisada;

v_i e u_j – pesos de *inputs* i , $i = 1, \dots, r$, e *outputs* j , $j = 1, \dots, s$, respectivamente, e variáveis de decisão das programações lineares

x_{ik} e y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$

x_{io} e y_{jo} – *inputs* i e *outputs* j da DMU analisada

h_o – inverso da eficiência da DMU analisada

u_o e v_o – variáveis duais associadas ao alvo da DMU analisada (ANGULO MEZA et al., 2004)

Desse modo, definindo-se o consumo e a demanda de energia como entradas de um processo produtivo e utilizando-se o modelo orientado a *inputs* em uma Análise Envoltória de Dados, pode-se estabelecer metas para a redução desse insumo; de outro modo, utilizando-se o modelo orientado a *outputs* pode-se estabelecer metas para o aumento da produção, determinados em função dos pesos determinados para cada uma das DMU analisadas e variáveis de decisão das programações lineares. Ambas as estratégias levam ao aumento da eficiência energética das DMU devendo ser estimuladas, simultaneamente, através de uma estratégia de *Benchmarking*, sendo monitoradas com o estímulo à melhoria contínua, objetivo de todo sistema de gestão. Essa estratégia de gestão visa atingir e ultrapassar o que é considerado o melhor nível e, como a DEA determina índices de eficiência energética relativa, pode-se dividir os índices de eficiência em vários níveis com largura igual, com o seu comprimento definido conforme a Equação 5.

$$\text{Comprimento do nível} = \frac{\text{maior índice} - \text{menor índice}}{\text{número de níveis}} \quad (5)$$

Conforme pôde ser visto na Tabela 7, em uma mesma DEA, diversas unidades produtivas podem receber o índice de Eficiência Energética igual a 1, entretanto, em alguns casos faz-se necessária a criação de um ranking das DMU ordenando as unidades com base na sua eficiência. Além da técnica da análise discriminante, utilizada por Chen et al. (2016) e evidenciada no Tópico 2.1, pode ser aplicada a técnica da Fronteira Invertida, destacada nesta publicação em função do *software* que será utilizado. Introduzida por Yamada, Matui e Sugiyama (1994) e Entani, Maeda e Tanaka (2002), essa técnica determina uma curva de eficiência utilizando como parâmetro as DMU com as piores produtividades. Na prática, para a determinação dessa curva de ineficiência deve-se utilizar as mesmas equações da Análise Envoltória de Dados

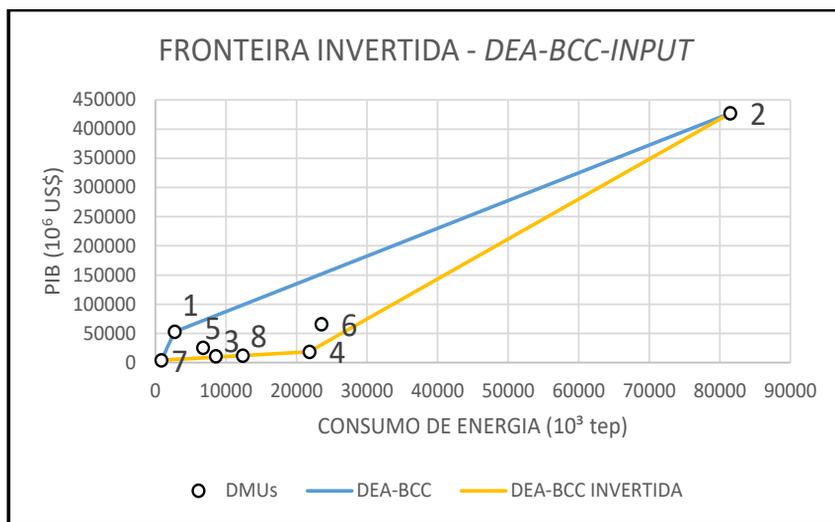
tradicional, invertendo-se os *inputs* e *outputs*. A Fronteira Invertida da DEA com o modelo BCC orientado a *inputs* dos dados da Tabela 6 é mostrada na Figura 10:

Dessa forma, pode-se determinar um novo índice de eficiência composto pela DEA convencional e invertida para ranquear as DMU que obtiveram índices de eficiência iguais a 1 utilizando-se a Equação 6, que deve ainda ser normalizado, ou seja, dividido pelo maior índice calculado para a série de dados, conforme a Equação 7.

$$Eficiência\ composta = \frac{Eficiência\ padrão - Eficiência\ invertida + 1}{2} \quad (6)$$

$$Eficiência\ composta\ normalizada = \frac{Eficiência\ composta\ da\ DMU}{Maior\ valor\ encontrado} \quad (7)$$

Figura 10: Fronteira Invertida do modelo Banker, Charnes e Cooper da Análise Envoltória de Dados orientada a *inputs* dos setores industriais do Brasil em 2016



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os Índices de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016, bem como o seu ranking determinado pela DEA com o modelo BCC orientado a *inputs* utilizando os dados da EPE (2017) são mostrados na Tabela 8:

Tabela 8: Índices e ranking de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016

DMU	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				RANKING
	Padrão	Invertida	Composta	Composta normalizada	
1	1,00	0,10	0,95	1,00	1º
2	1,00	1,00	0,50	0,53	2º
3	0,13	0,78	0,18	0,19	6º
4	0,06	1,00	0,03	0,03	8º
5	0,25	0,30	0,48	0,50	4º
6	0,23	0,82	0,21	0,22	5º
7	1,00	1,00	0,50	0,53	2º
8	0,09	1,00	0,05	0,05	7º

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados de EPE (2017)

Importante destacar que as técnicas utilizadas para ranquear as DMU após a DEA podem dar resultados diferentes ou ainda não serem suficientes para distinguir todas elas, como nesse exemplo em que ambas as DMU 2 e 7 obtiveram índices iguais nas DEA padrão e invertida, ficando no segundo lugar do *ranking*. A DEA caracteriza-se, portanto, como uma técnica para a avaliação do desempenho de unidades semelhantes *top-down* e caixa preta, sendo relevante na determinação de índices, níveis e rankings adequados para uma estratégia de gestão ambiental e *benchmarking*.

Daraio et al. (2017) realizaram uma pesquisa nas bases de dados dos portais Scopus e Google Scholar com o objetivo de determinar quantos e quais softwares existem para a análise da produtividade e eficiência. Incluíram apenas os programas ou softwares que são difundidos como um pacote ou uma caixa de ferramentas e para os quais há documentação suficiente em inglês para o usuário, destacando a crescente disponibilidade de ferramentas para a implementação de eficiência. Identificaram, portanto, sete softwares de propósitos gerais que têm essa capacidade e 21 programas dedicados, além de três programas *online* (Tabela 9).

Tabela 9: *Softwares* disponíveis para a Análise de Produtividade e Eficiência

Softwares	Tipos	Técnica utilizada
AMPL; GAMS; Mathematica; Matlab	Generalista	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)
R; SAS; STATA	Generalista	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) & <i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
BSFM; DEA-Excel; DEAFrontier; DEAQual; DEA-Solver-Pro; DPIN; SEM; Frontier Analyst; Inverse DEA; MaxDEA; OnFront; Open Source DEA; PIM-DEAsoft; ISYDS (SIAD); SmartDEA; TFPIP	Dedicado	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)
Frontier; WinBUGS	Dedicado	<i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
LIMDEP; NLOGIT	Dedicado	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) & <i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
DEAOS; DEA Solver online; WebdeA	<i>Online</i>	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados de Daraio et al. (2017)

Muitos dos softwares generalistas são bastante conhecidos no meio científico (R, SAS, STATA, Matlab). Entretanto, para facilitar os cálculos dos Índices de Eficiência Energética, optou-se por utilizar um software dedicado à DEA, técnica utilizada pela maioria dos softwares encontrados (87,1%). Conforme visto nas Equações 1, 2, 3 e 4, nos cálculos da Análise Envoltória de Dados deve-se resolver um problema de programação linear para cada uma das DMU estudadas. Dessa forma, por ser de fácil acesso e de uso gratuito, utilizou-se o Sistema Integrado de Apoio a Decisão (SIAD) (ANGULO MEZA et al., 2004), ferramenta dedicada à análise de produtividade e eficiência, também citada na pesquisa de Daraio et al. (2017), que foi desenvolvida na Universidade Federal Fluminense (UFF) e que utiliza técnicas de DEA convencionais ou alternativas para determinar índices de eficiência, pesos, alvos e *benchmarks*.

No capítulo seguinte será proposta uma metodologia para o desenvolvimento de uma Etiqueta de Eficiência Energética Relativa, como uma Rotulagem Ambiental tipo II, além de apresentados os resultados práticos da aplicação da metodologia para a instituição escolhida como objeto de estudo.

ETIQUETAGEM DO USO DA ENERGIA EM ORGANIZAÇÕES

Conforme dito anteriormente, rótulos ambientais são declarações que indicam o desempenho ambiental de um produto ou serviço de modo geral ou relacionado a aspectos ambientais específicos, podendo aparecer em vários formatos, para comparações entre produtos ou serviços semelhantes e estimular o consumo consciente (ABNT, 2002), podendo ser de três tipos:

- Rotulagem tipo I: refere-se à rotulagem feita por terceiros a partir do cumprimento de pré-requisitos (ABNT, 2004);
- Rotulagem tipo II: refere-se a autodeclarações ambientais efetuadas pelos responsáveis pelos produtos e serviços, sem certificação independente (ABNT, 2017);
- Rotulagem tipo III: refere-se à rotulagem de produtos ou serviços que apresentam informação ambiental quantificada do ciclo de vida de um produto (ABNT, 2015).

Na Figura 11 é apresentado o fluxograma com a metodologia proposta para a Etiqueta de uso da energia proposta neste livro. Trata-se, portanto, do modelo de rotulagem ambiental tipo

Il para o uso de energia em organizações, conforme desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), que pode ser replicado em outras organizações. O IFPI que inicialmente era o Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (CEFET-PI), sofreu grande expansão, principalmente a partir do ano de 2008, e ampliou sua representatividade no estado com a construção de 12 novos *campi* até o ano de 2015, resultado de uma política de expansão e interiorização do acesso à Educação Tecnológica (RÊGO, 2015), consolidando-se com uma estrutura organizacional *multicampi*. A partir do ano de 2008, com a criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia ampliou-se o número de municípios atendidos pelas Instituições de Ensino Superior Federais (PEREIRA; CRUZ, 2019; ROSINKE et al., 2020), não sendo diferente no estado do Piauí.

Todos os *campi* do IFPI são objeto de estudo desta publicação, sendo, portanto, censitária e de caráter dedutivo. Em 2021, a IES conta com 17 *campi* universitários (excluindo-se os *campi* avançados e a sede da reitoria que conta com edificação própria), distribuídos em todas as regiões do estado (Figura 12). Além disso, tem como visão “Consolidar-se se como centro de excelência em Educação Profissional, Científica e Tecnológica, mantendo-se entre as melhores instituições de ensino do País” (IFPI, 2020).

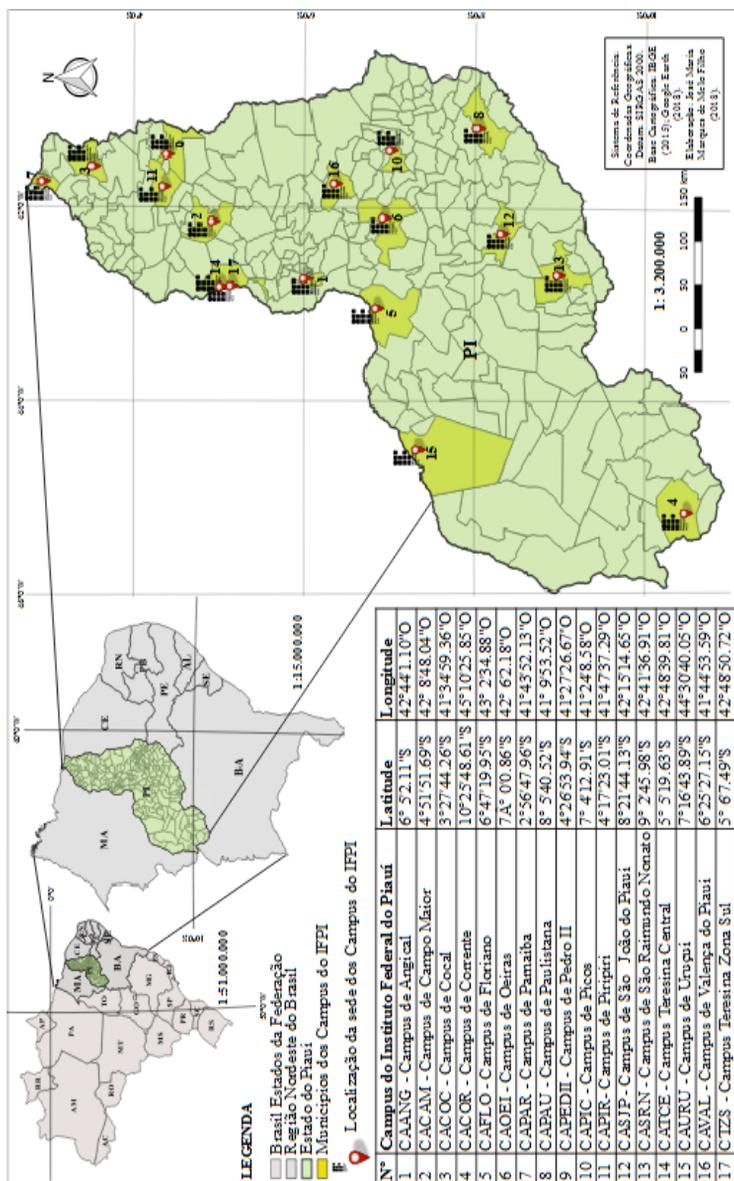
Figura 11: Fluxograma para a etiquetagem do uso de energia



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Cabe destacar que o apoio da administração é imperativo para a realização de estudos de Eficiência Energética em IES e evidencia o reconhecimento da comunidade acadêmica como peça importante para a consolidação da Educação e da Gestão Ambiental nessas instituições. Assim, o vínculo dos autores com a IES e a experiência anterior de estudos realizados na própria instituição que contaram com o seu apoio (MORAIS et al., 2021; MORAIS; MORAES; BARBOSA, 2019; SILVA et al., 2021) motivaram a sua escolha como objeto de estudo, o qual possui, ainda, grande representatividade no estado, de modo que os resultados podem ser aplicáveis a outras organizações. Para mais, evidencia-se a necessidade da melhora da sua gestão no uso de energia elétrica, com necessidade da atuação de um Sistema de Gestão Energética (MORAIS et al., 2017; SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a).

Figura 12: Espacialização dos campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

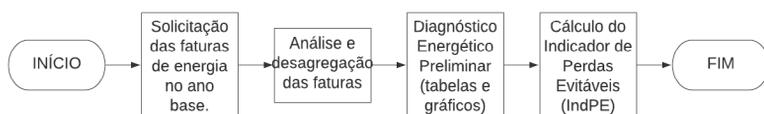


Fonte: Silva, Moita Neto e Lira (2018)

Determinação do Indicador de Perdas Evitáveis

Após a caracterização geral do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), iniciou-se o Diagnóstico Energético Preliminar, a partir da desagregação das faturas de energia, e a determinação do Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE) (Figura 13).

Figura 13: Diagnóstico Energético Preliminar e determinação do Indicador de Perdas Evitáveis.

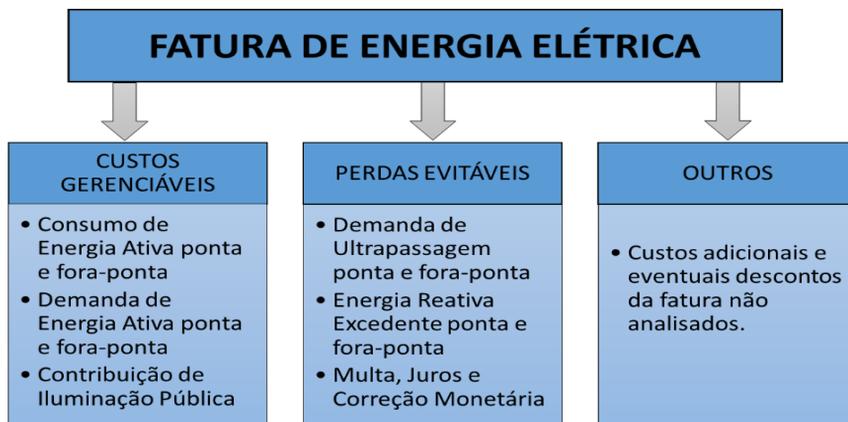


Fonte: Silva, Moita Neto e Lira (2020)

Desagregação das faturas de energia

Conforme a metodologia definida por Silva et al. (2016) Silva, Moita Neto e Lira (2020a; 2018) e Silva *et al.* (2017), fez-se uma pesquisa censitária e, considerando-se a sua estrutura organizacional *multicampi*, solicitou-se a cópia digitalizada das faturas de energia de todos os *campi* do IFPI dos anos de 2016 a 2019 para, através da sua desagregação, fazer o diagnóstico energético preliminar, identificando-se três centros de custo (Figura 14):

Figura 14: Centros de custo das faturas de Energia Elétrica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Considerando a estrutura organizacional *multicampi* do IFPI, após a análise das Faturas de Energia Elétrica identificaram-se os custos com Energia Elétrica em todos os *campi* da instituição nos anos de 2016 a 2019 (Tabela 10), com a sua composição percentual mostrada na (Figura 15a). Pôde-se constatar uma média anual de R\$ 230.021,76 (4,38% do total), que mais do que foi gasto individualmente com energia elétrica em quatro dos 17 *campi* do IFPI no ano de 2019 (CACOC, CAOEI, CAPEII e CAVAL), constituindo-se de perdas que devem ser eliminadas imediatamente. Além disso, pôde-se constatar uma média anual de R\$ 5.374.360,44 referente a Custos Gerenciáveis que devem ser reduzidos com a execução de Projetos de Eficiência Energética (PEE) ou com a utilização de Fontes Alternativas de Energia.

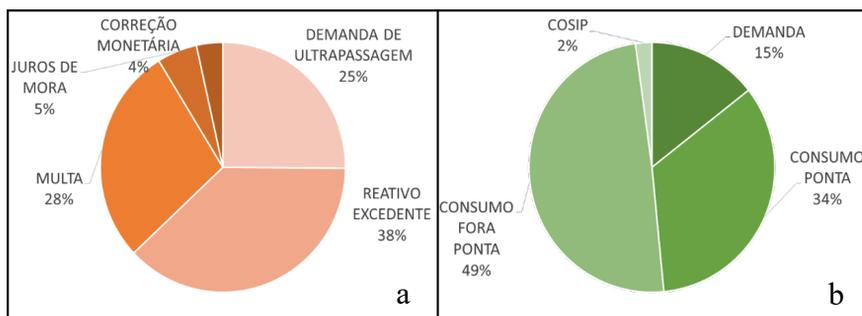
Tabela 10: Custos com energia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos anos de 2016 a 2019

INSUMOS	2016	2017	2018	2019	MÉDIA ANUAL	
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	%
TOTAL DA FATURA	4.330.125,85	4.624.818,04	5.921.169,26	6.108.722,90	5.246.209,01	100,00%
TOTAL CUSTOS GERENCIÁVEIS	4.360.863,56	4.762.192,47	6.059.927,94	6.314.457,80	5.374.360,44	102,44%
DEMANDA	708.753,53	648.530,82	779.652,78	961.356,15	774.573,32	14,76%
CONSUMO PONTA	1.279.736,25	1.650.506,04	2.099.384,28	2.288.752,03	1.829.594,65	34,87%
CONSUMO FORA PONTA	2.289.969,22	2.348.814,02	3.045.944,65	2.933.507,82	2.654.558,93	50,60%
COSIP	82.404,56	114.341,58	134.946,23	130.841,80	115.633,54	2,20%
TOTAL PERDAS EVITÁVEIS	267.387,55	171.042,54	259.575,67	222.081,30	230.021,76	4,38%
DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM	121.474,48	27.761,74	44.475,81	37.535,54	57.811,89	1,10%
REATIVO EXCEDENTE	69.234,70	76.354,14	102.183,25	100.335,54	87.026,91	1,66%
MULTA	58.466,57	54.879,87	81.991,74	64.856,91	65.048,77	1,24%
JUROS DE MORA	9.951,10	10.721,37	15.447,24	12.496,26	12.153,99	0,23%
CORREÇÃO MONETÁRIA	8.260,70	1.325,42	15.477,63	6.857,05	7.980,20	0,15%
OUTROS*	-297.319,94	-307.920,60	-397.816,24	-427.816,20	-357.718,25	-6,82%

* Custos adicionais e eventuais descontos da fatura não analisados pelo projeto

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 15: Composição percentual da média anual das Perdas evitáveis (a) e dos Custos Gerenciáveis (b) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



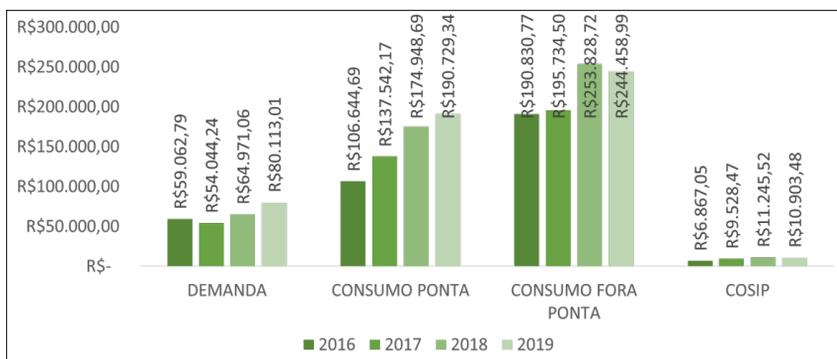
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tais ações devem objetivar, prioritariamente, a redução do consumo de energia no horário em que ela é mais cara (17:30h às 20:30h) (ANEEL, 2010), uma vez que o que foi gasto com o consumo de energia nesse horário (apenas três horas durante o dia) correspondeu a 34% desse centro de custo conforme mostra a Figura 15b. Podem ser desenvolvidos, por exemplo, PEE direcionados a sistemas de iluminação e climatização de salas de aula, objetivando o índice A de Eficiência Energética (INMETRO, 2010, 2021) de Serviços e Públicos (RTQ-C, sendo vistos, portanto, como Projetos de Investimento de Aderência Estratégica, viável técnico-economicamente, destacando a fase inicial do Ciclo de Vida das edificações como decisiva para o seu potencial de economia de energia e a viabilidade econômica dos projetos (MORAIS et al., 2017; SILVA; SANTOS; BARBOSA, 2016). Tais projetos podem objetivar por exemplo: utilização de equipamentos mais eficientes, educação ambiental, maior aproveitamento da luz natural e automação predial.

Analisaram-se as variações dos custos gerenciáveis (Figura 16), assim como a das perdas evitáveis (Figura 17), e nos quatro

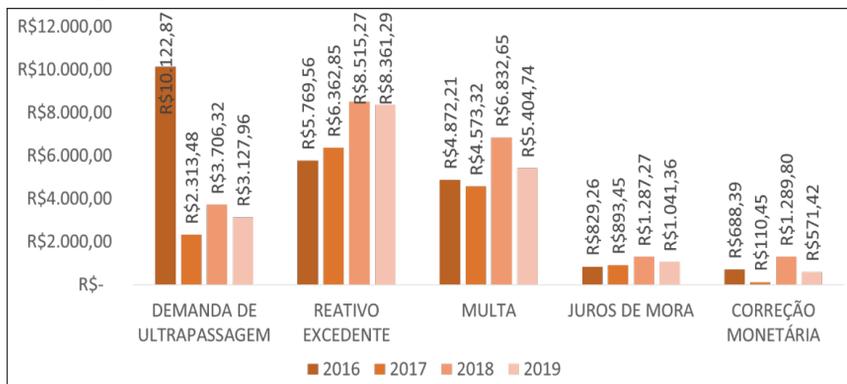
anos analisados percebe-se uma tendência de crescimento de todos os componentes desse primeiro centro de custo, exceto no custo com a demanda medida no segundo ano e dos custos com o consumo fora ponta no último ano, que obtiveram pequenos decréscimos. Já com relação ao último centro do custo as variações não foram constantes, com destaque aos custos com a demanda de ultrapassagem, componente que apresentou uma grande queda de 2016 para 2017, mas voltou a subir de 2017 para 2018, refletindo uma ação pontual por parte da administração da IES que será discutida posteriormente. Importante notar ainda que o aumento nos gastos com energia elétrica também sofre o reflexo do reajuste tarifário anual que varia bastante, com um reajuste médio anual de 8,98%. Assim, a gestão energética, sobretudo a eficiência energética, deve considerar a variação no consumo e na demanda em suas unidades físicas. Entretanto, essa análise em termos monetários é relevante devido à linguagem multidisciplinar, própria das ciências ambientais e do impacto desses custos na gestão das organizações.

Figura 16: Variação dos custos gerenciáveis de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

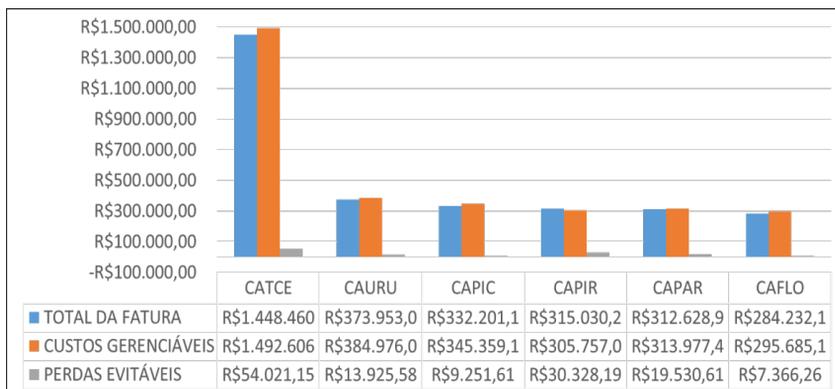
Figura 17: Variação das perdas evitáveis de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

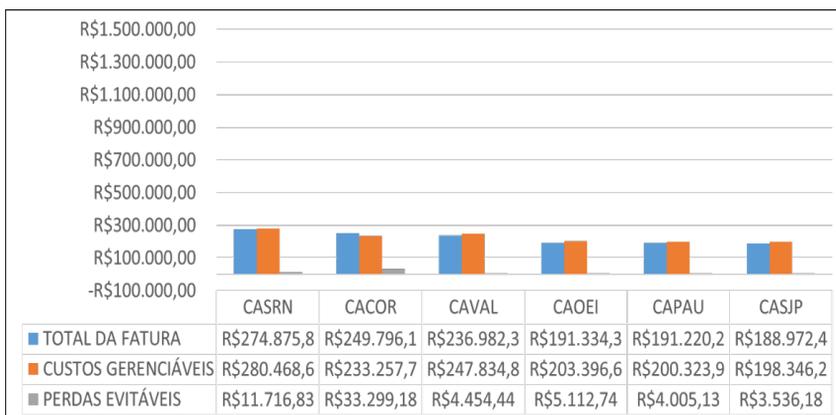
A média dos custos mensais por *campi* em cada um dos Centros de Custos de 2016 a 2019 foram determinados (Figura 18) (Figura 19) (Figura 20), destacando-se o *Campus* Teresina Central (CATCE) como o que possui os maiores gastos com Energia Elétrica e também as maiores perdas em termos absolutos (R\$ 4.501,76 / mês), o que já era esperado por ser o maior da instituição. Além deste *campus* pôde-se destacar os *Campi* de Corrente (CACOR) e de São João do Piauí (CASJP) com as maiores (13,33%) e menores (1,87%) perdas em relação ao valor da fatura, respectivamente.

Figura 18: Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



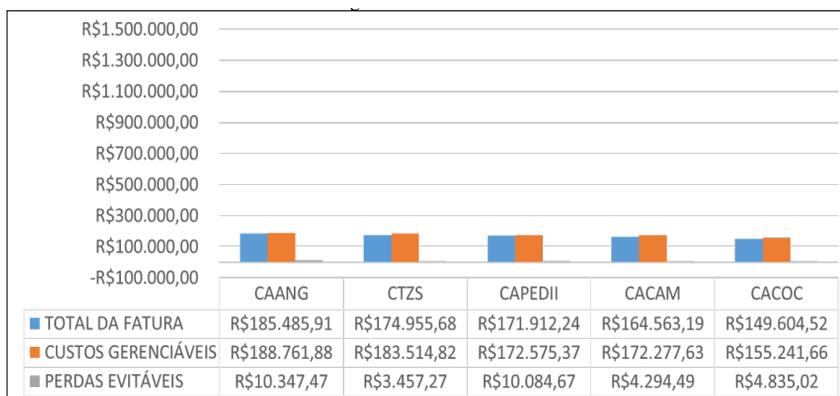
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 19: Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 20: Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019

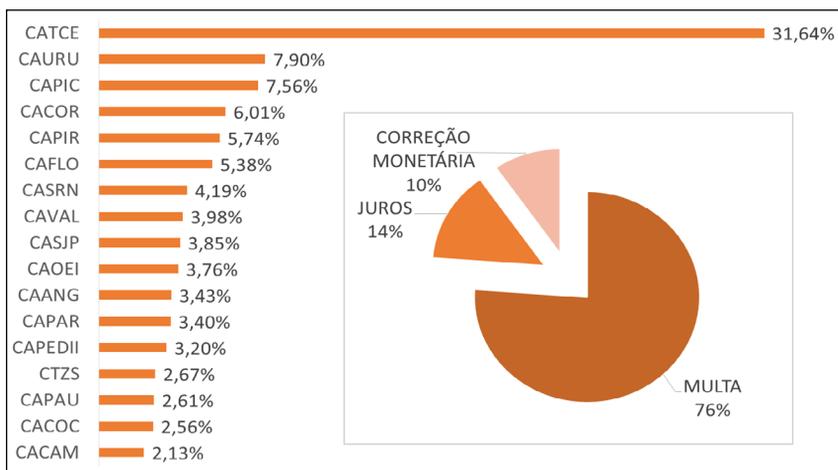


Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nesse diagnóstico preliminar sugeriram-se, ainda, estratégias para a eliminação das perdas evitáveis e para o monitoramento dos custos gerenciáveis que foram apresentados à administração superior da IES como resultados parciais a fim de estabelecer um fluxo contínuo de informações nos meses subsequentes e viabilizar a continuidade dos estudos. Importante destacar que essa metodologia também é usada nos estudos de Ketchman et al. (2018) e Niederberger e Champniss (2018). A composição percentual dos Centros de Custos foi realizada (Figura 15) com o objetivo de direcionar as ações Eficiência Energética e, conseqüentemente, reduzir os custos com Energia Elétrica. Conforme mostrado na Tabela 10, as multas, juros e correção monetária por causa do atraso no pagamento das faturas totalizaram R\$ 85.734,63 em perdas anuais (37% das Perdas Evitáveis de acordo com a Figura 15a) que poderiam ser facilmente evitadas com o pagamento em dia das faturas de energia uma vez que são cobrados 2% de multas e 1% ao mês *pro rata die*, além da correção monetária pelo atraso (ANEEL, 2010). Já na Figura 21 pode ser vista a participação percentual de cada um dos *campi* nesse total de encargos. É

mostrado que todos os *campi* foram penalizados, destacando que o CATCE foi o *campus* mais penalizado e que peso maior é referente às multas (76%) que são cobradas mesmo que o atraso no pagamento seja de poucos dias.

Figura 21: Percentual dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos encargos de 2016 a 2019 e composição percentual dos encargos

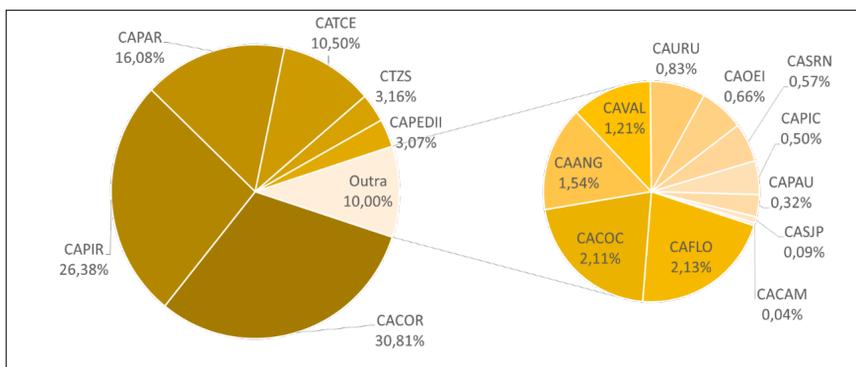


Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Parte da Energia Elétrica fornecida pelas Concessionárias, definida como Energia Reativa, é utilizada para garantir o funcionamento de algumas máquinas e equipamentos, sendo o restante definido como Energia Ativa e retorna Trabalho Útil. Para uma melhor Eficiência Energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), agência reguladora do setor elétrico, define em 0,92 (Fator de Potência) a razão mínima entre essa energia útil e o total fornecido pela rede (Energia Aparente) (ANEEL, 2010). O consumo excessivo de Energia Reativa fez com que o IFPI pagasse uma média de R\$ 87.026,91 por ano (38% das Perdas Evitáveis conforme a Figura 15a) e para que isso não ocorra novamente, faz-

se necessária a execução de obras de engenharia para a Correção do Fator de Potência, geralmente com a instalação de Bancos de Capacitores. Essas obras requerem investimento financeiro e por isso elaborou-se uma distribuição percentual dos gastos com Energia Reativa para direcionar os recursos, priorizando os *campi* que mais foram penalizados e, conseqüentemente, possuem um maior potencial de economia. Conforme mostrado na Figura 22, diferentemente do que se presumia, o *Campus* Teresina Central mesmo sendo o maior, mais antigo e sede de instituição, deve ser apenas a quarta opção de investimento ficando atrás de outros três *campi* (CACOR, CAPIR e CAPAR).

Figura 22: Percentual de energia reativa excedente no *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



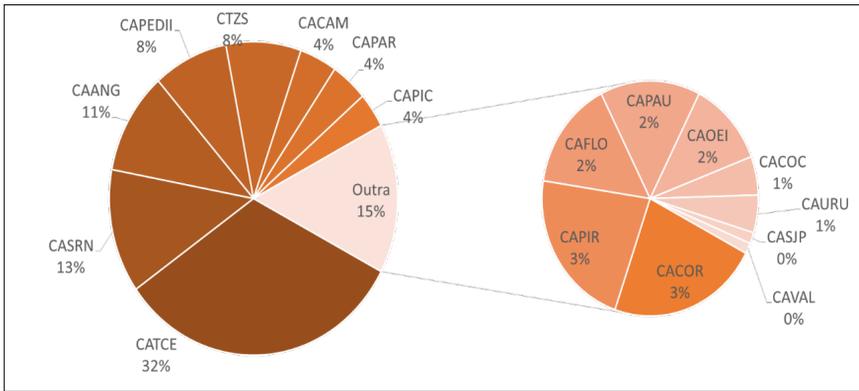
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O último percentual das Perdas Evitáveis que deve ser evitado de acordo com a Figura 15a, é o pagamento da Demanda de Ultrapassagem que corresponde a 25%, ou seja, uma média anual de R\$ 57.811,89 nos anos de 2016 a 2019 pago pelo IFPI que ocorre quando as unidades consumidoras solicitam da rede elétrica uma Potência Elétrica superior a 5% do valor contratado junto à concessionária (ANEEL, 2010). Dessa forma, deve-se

analisar as Demandas Medidas nos Horários Ponta e Fora-ponta em cada um dos *campi* nos últimos três anos ou a partir de uma mudança significativa no consumo (reforma, ampliação, mudança no padrão de consumo), e revisar os contratos de fornecimento sobretudo nos *Campi* Teresina Central, São Raimundo Nonato, Angical, Pedro II e Teresina Zona Sul, que juntos correspondem a 72% dos encargos pagos pela IES referente a este indicador (Figura 23).

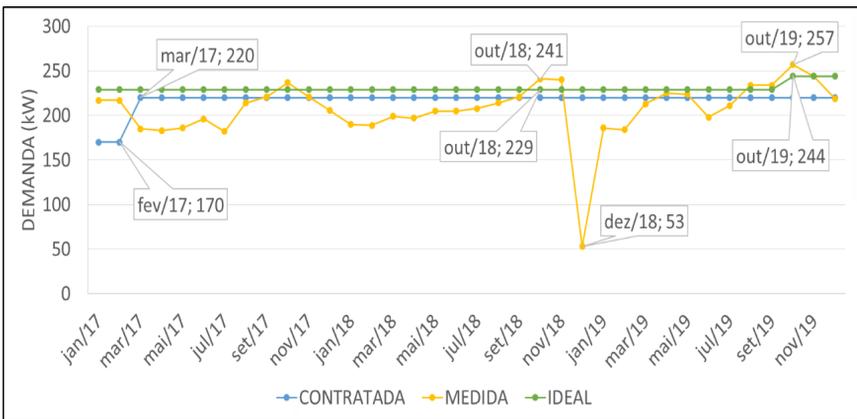
Na Figura 24 é apresentada a Análise de Demanda de uma das unidades consumidoras do CATCE de 2017 a 2019. Destaca-se nessa análise a revisão do contrato de demanda a partir do mês de março de 2017 (mudança de 170 para 220 kW), resultado da pesquisa desenvolvida por Moraes *et al.* (2017b), o mês de dezembro de 2018 com a mínima Demanda Medida (53 kW) e os meses de outubro de 2018 e outubro de 2019 cujas demandas medidas ensejavam a duas revisões nos contratos de demanda que não ocorreram (aumentos de 220kW para 229kW e 244kW, respectivamente). A análise da Figura 17 juntamente com a Figura 24, sugere que de 2016 para 2017 houve uma redução nos valores pagos com demanda de ultrapassagem resultado da revisão do contrato de fornecimento de energia em todas as unidades consumidoras no IFPI no início do ano de 2017, entretanto, o aumento desse custo no ano seguinte sugere que, mesmo sendo uma ação concreta de eficiência, essa foi uma ação pontual que deve ter uma continuidade para a garantia dos bons resultados.

Figura 23: Percentual de demanda de ultrapassagem nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 24: Análise de demanda do Prédio A do *Campus* Teresina Central do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Cálculo do Indicador de Perdas Evitáveis

Com base no percentual desses centros de custos no total da fatura de energia, definiu-se o Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE), conforme a Equação 8, e classificou-se os *campi* em cinco níveis com a larguras iguais a partir da diferença entre o maior e o menor indicador, conforme a Equação 5.

$$IndPE = \frac{\% \text{ de Custos Gerenciáveis}}{\% \text{ de Perdas Evitáveis} + \% \text{ de Custos Gerenciáveis}} \quad (8)$$

A desagregação das faturas de energia ainda foi determinante para o cálculo do Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE), definido na Equação 8, que mede o percentual de perdas evitáveis nos valores pagos à concessionária de energia e influencia com a metade do peso na ponderação do Índice de Eficiência Energética proposto neste livro. Os IndPE nos anos de 2016 a 2019, bem como os níveis de eficiência relativa dos *campi* com relação a esses indicadores foram determinados conforme Equação 5 (Tabela 11):

Tabela 11: Indicadores de Perdas Evitáveis e níveis de eficiência de 2016 a 2019

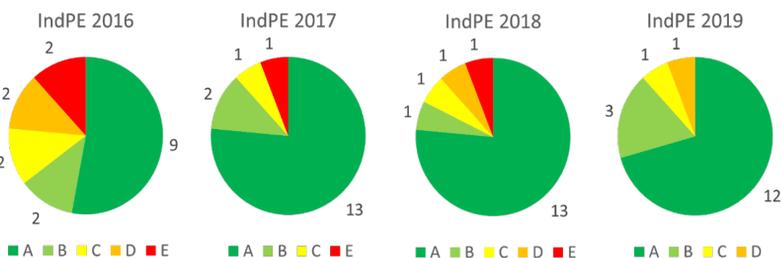
Campus	IndPE							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	0,98	A	0,98	A	0,92	C	0,95	B
CACAM	0,98	A	0,98	A	0,97	A	0,98	A
CACOC	0,99	A	0,97	A	0,96	A	0,96	B
CACOR	0,87	E	0,85	E	0,86	E	0,91	C
CAFLO	0,97	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CAOEI	0,98	A	0,98	A	0,97	A	0,97	A
CAPAR	0,91	D	0,95	B	0,95	B	0,96	B
CAPAU	0,97	A	0,99	A	0,97	A	0,98	A
CAPEDII	0,87	E	0,94	B	0,96	A	0,97	A
CAPIC	0,96	B	0,98	A	0,98	A	0,98	A

CAPIR	0,92	C	0,93	C	0,90	D	0,89	D
CASJP	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CASRN	0,90	D	0,99	A	0,97	A	0,98	A
CATCE	0,95	B	0,97	A	0,97	A	0,97	A
CTZS	0,92	C	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CAURU	0,98	A	0,98	A	0,98	A	0,99	A
CAVAL	0,99	A	0,97	A	0,98	A	0,98	A

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A contagem dos *campi* em cada um dos anos analisados com base no seu nível de eficiência relativa relacionado às perdas evitáveis (Figura 25) sugere, de modo geral, que a gestão energética da IES com relação a esse indicador teve uma grande melhora de 2016 para 2017, entretanto, sofreu uma pequena piora de 2017 para 2018, voltando a melhorar no ano seguinte.

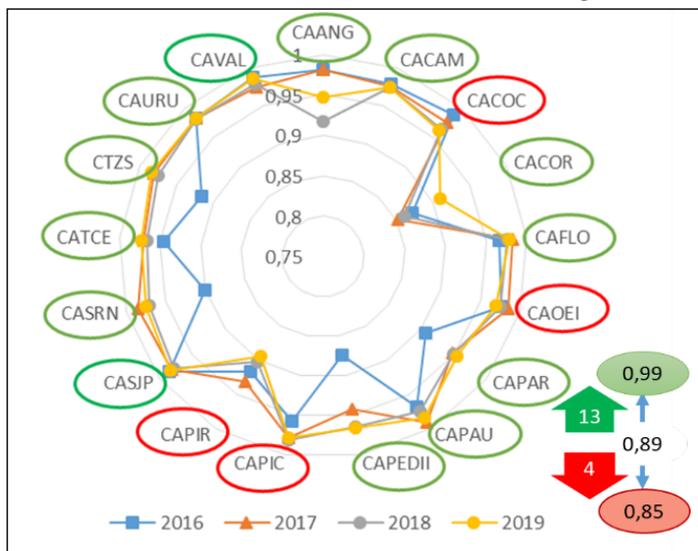
Figura 25: Contagem dos *campi* por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Perdas Evitáveis de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O IndPE nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019 variou de 0,85 a 0,99, com um valor médio de 0,89, com destaque em verde e vermelho, respectivamente, para os *campi* que melhoraram e pioraram de 2018 a 2019 (Figura 26).

Figura 26: Variação do Indicador de Perdas Evitáveis nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

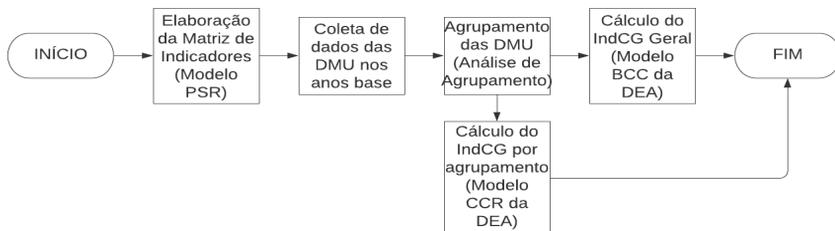
Aprende-se, portanto, que 13 dos 17 *campi* tiveram uma melhora neste indicador no último ano, ou seja, uma melhoria na gestão energética por parte da IES, sobretudo com relação aos custos com energia elétrica. Porém deve ser buscada a melhoria contínua deste aspecto ambiental em todos os *campi* da IES, buscando atingir o melhor nível, sobretudo nos *campi* com os menores indicadores com o pagamento das faturas em dia, revisão nos contratos de fornecimento e correção do fator de potência.

Determinação do Indicador de Custos Gerenciáveis

Para o estabelecimento dos Índices de Custos Gerenciáveis (IndCG) para os *campi* da IES (Figura 27), inicialmente elaborou-se uma Matriz de Indicadores Ambientais, com base no Modelo PSR (OCDE, 2003), com as variáveis de pressão (uso da energia)

e de estado (número de servidores, aspectos de infraestrutura e ensino). Conforme mostrado na Tabela 12, são variáveis escolhidas com base na atividade fim da instituição, uma vez que a instituição claramente prioriza o ensino em detrimento da pesquisa e da extensão (IFPI, 2010, 2018), e em critérios qualitativos e quantitativos: confiabilidade dos dados, relação com problema, utilidade para o usuário, disponibilidade dos dados, relevância, redundância e mensurabilidade (OCDE, 2003). Utilizaram-se, portanto, dados primários referentes a esses indicadores em todos os *campi* da IES correspondentes aos anos de 2016 a 2019, através de uma solicitação formal encaminhada à administração da instituição, além de dados secundários coletados na Plataforma Nilo Peçanha (MEC, 2019).

Figura 27: Determinação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral e por agrupamento



Fonte: Silva, Moita Neto e Lira (2020a)

Tabela 12: Matriz de Indicadores ambientais

TIPO	ASPECTO	INDIC.	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
PRESSÃO	CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA	X1	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa ponta (kWh)	(CEPEL, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; LEITE et al., 2015; MORAIS et al., 2017; SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2018, 2020a)
		X2	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa fora-ponta (kWh)	
		X3	Média mensal da demanda máxima de energia ativa ponta (kW)	
		X4	Média mensal da demanda máxima de energia ativa fora-ponta (kW)	
ESTADO	NÚMERO DE SERVIDORES	Y1	Número total de servidores técnicos administrativos	(COTTAFAVA et al., 2018; HUOVILA; TUOMINEN; AIRAKSINEN, 2017; JAMALUDIN; MAHMOOD; ILHAM, 2017; OLSTHOORN; SCHLEICH; HIRZEL, 2017)
		Y2	Número total de professores efetivos	
	ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA	Y3	Área total da edificação (m ²)	
		Y4	Número de salas de aula	
		Y5	Área total das salas de aula (m ²)	
		Y6	Número de laboratórios	
		Y7	Bombas d'água e elevadores (CV)	
	ENSINO	Y8	Número de alunos em Cursos Técnicos Concomitantes e Subsequentes	(COSTA; BARBOSA, 2018; KAVESKI; MARTINS; SCARPIN, 2015; PEIXINHO, 2013; SILVA FILHO et al., 2016)
		Y9	Número de alunos em Cursos Técnicos Integrados	
		Y10	Número de alunos em Cursos Técnicos Superiores	
		Y11	Número de alunos em Cursos de Pós-graduação	

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Análise de Agrupamento e ilustração do modelo

De posse desses dados, para o agrupamento dos *campi* em diferentes categorias de escala, utilizando-se o software estatístico SPSS, fez-se uma análise multivariada desses dados e plotou-se um dendrograma, gráfico construído através da Análise de Agrupamento que permite agrupar diferentes observações. Utilizou-se como critério a Distância Euclidiana, conforme a Equação 9, e considerou-se os centroides de cada grupo de observações em que o valor de cada uma das observações nesse

centroide é a média aritmética dos valores desse indicador em cada uma das observações (MANLY, 2008), utilizando-se como referência os indicadores no ano de 2017 em todos os *campi* do IFPI. Dividiram-se então os *campi* entre os dois grupos que possuíam a maior distância entre si.

$$D = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (9)$$

Onde: D – Distância Euclidiana entre os objetos i e j

x_{ik} – valor da variável x_k para o objeto i

x_{jk} – valor da variável x_k para o objeto j

p – número de indicadores

Vale ressaltar ainda que para evitar que uma variável dominasse a análise, previamente, normalizaram-se esses dados com base na diferença entre os valores mínimos e máximos, conforme a Equação 10 para os indicadores em que são desejáveis os valores máximos e conforme a Equação 11 para os indicadores em que o desejável são os valores mínimos (KILKS, 2015):

$$X(n) = \frac{i(n) - \min(i)}{\max(i) - \min(i)} \quad (10)$$

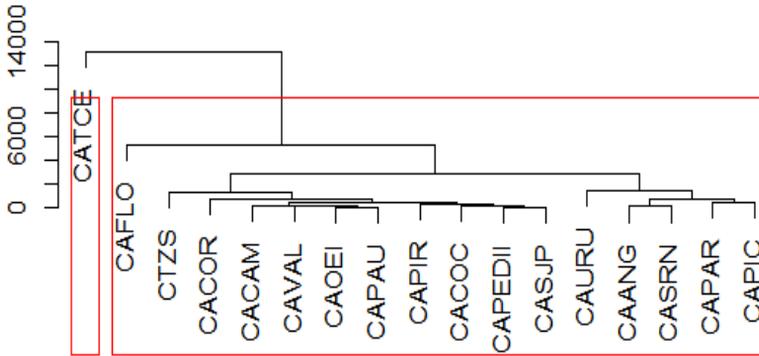
$$X(n) = \frac{i(n) - \max(i)}{\min(i) - \max(i)} \quad (11)$$

onde: X(n) – valor normalizado do indicador;
n – observações, com n variando de 0 ao tamanho da amostra;
i – valor real calculado para o indicador;
max (i) – valor máximo que o indicador pode assumir; e
min (i) – valor mínimo que o indicador pode assumir.

Todas as ações propostas para a eliminação das Perdas Evitáveis preveem a economia média mensal de R\$ 19.168,48 que devem ser vistas em uma Análise Econômica como Benefícios das Intervenções propostas. Entretanto, os Custos Gerenciáveis representam a maior parcela das despesas com energia elétrica, 22 vezes maior, e requerem a atuação de um Sistema de Gestão Energética. Para tanto, coletaram-se dados para a elaboração de uma Matriz de Indicadores definida na Tabela 12 nos anos de 2016 a 2019 e, utilizando-se os indicadores de estado do ano de 2017, previamente normalizados conforme as Equações 10 e 11, realizou-se uma Análise de Agrupamento e plotou-se o dendrograma mostrado na Figura 28 e pôde-se formar dois agrupamentos com base na distância multivariada dos *campi*, destacando que todos eles são semelhantes, exceto o CATCE. Esse resultado foi importante porque direcionou os agrupamentos para o cálculo do Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) e do Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) que puderam ser determinados para cada um dos grupos e também de modo geral.

As técnicas utilizadas para os agrupamentos, assim como a escolha do número de grupos é discricionária do pesquisador, uma vez que poderiam ser utilizados, inclusive, critérios subjetivos como: localização geográfica, ano de fundação ou estrutura organizacional, por exemplo. Entretanto, com a utilização de técnicas hierárquicas e a prévia normalização dos indicadores, buscou-se a similaridade das amostras nos agrupamentos, com base nos indicadores selecionados, e o número de grupos foi determinado, considerando-se que, neste caso particular, caso fossem utilizados mais agrupamentos, o *Campus* de Floriano, assim como *Campus* Teresina Central, ficariam sozinhos em um terceiro agrupamento, não contribuindo para as discussões dos resultados.

Figura 28: Agrupamento dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A seguir, com o auxílio do *software* Excel, elaborou-se uma matriz de correlação (Tabela 13), calculando-se o Coeficiente de Correlação de Pearson para avaliar dois a dois o grau de correlação entre os indicadores de ensino com o uso de energia (Equação 12). Com os coeficientes calculados, o grau de correção foi então avaliado conforme orienta Devore (2013): Se $r > 0,7$, existe uma correlação aceitável entre as variáveis; Se $0,5 < r < 0,7$, existe uma correlação moderada entre as variáveis; Se $r < 0,5$, não existe uma correlação aceitável entre as variáveis.

$$R = \frac{n \times \sum(x_i \times y_i) - (\sum x_i) \times (\sum y_i)}{\sqrt{[n \times \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (12)$$

Sendo: R = Coeficiente de Correlação de Pearson;

n = número de observações;

x_i = cada uma das medições de um dos indicadores;

y_i = cada uma das medições do outro indicador.

Utilizou-se uma graduação que vai do vermelho ao verde, conforme aumenta a correlação entre os indicadores e pôde-se

perceber que todos os indicadores são fortemente correlacionados, com exceção do indicador Y11 (Número de alunos em Cursos de Pós-graduação), sugerindo que a variação deste indicador não explica fortemente a variação no uso da energia, entretanto, optou-se por mantê-lo na análise por se tratar de um indicador importante para caracterização da atividade fim da instituição.

Tabela 13: Coeficiente de Correlação de Pearson da Matriz de Indicadores

	X1	X2	X3	X4	Y8	Y9	Y10	Y11
X1	1,00							
X2	0,99	1,00						
X3	1,00	0,98	1,00					
X4	0,98	0,99	0,99	1,00				
Y8	0,91	0,92	0,91	0,92	1,00			
Y9	0,77	0,76	0,75	0,75	0,60	1,00		
Y10	0,98	0,97	0,98	0,97	0,90	0,74	1,00	
Y11	0,62	0,59	0,64	0,63	0,66	0,34	0,67	1,00

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Ademais, a grande correlação entre os indicadores sugere a possibilidade de realização da Análise de Componentes Principais (ACP), que poderia substituir a matriz de indicadores por um número relativamente menor de fatores que guardariam a sua variância, com uma precisão que também poderia ser determinada (MANLY, 2008). Entretanto, esta técnica não foi utilizada com este objetivo, uma vez que se possui um número suficiente de observações para o atendimento à Regra de Ouro da DEA (BANKER et al., 1989), e a substituição dos indicadores pelos fatores poderia deixar o entendimento dos resultados mais complexo e dificultar a gestão energética, sobretudo com relação aos *benchmarks*, que são um dos resultados da DEA.

Objetivando uma melhor visualização do modelo proposto, também se utilizando o pacote estatístico do SPSS, sobretudo nas análises de dados multivariados, foram feitas duas ACP, uma para o consumo de energia elétrica (*input*) e outra para atividade fim da instituição (*output*) com os dados referentes aos anos de 2016 e 2017, com a intenção de escolher os indicadores mais importantes da amostra. Utilizou-se o método Varimax na rotação dos fatores para minimizar o número de variáveis com altas cargas em um fator, e para verificar a adequabilidade dessa técnica, utilizou-se o teste de esfericidade de Bartlett e a estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), além da Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy*-MSA) para cada variável. São desejáveis um *p-value* menor que 0,05 no teste de esfericidade, KMO maior que 0,6 e MSA maior que 0,5 (KHAN; LIMA; LIMA, 2018).

Como resultado, os Testes de Esfericidade de Bartlett rejeitaram a hipótese nula (significativos a 1%), os Índices KMO foram iguais a 0,667 para os indicadores de energia e 0,790 para os indicadores de ensino e a MSA de todos os indicadores obteve valores superiores a 0,5. Assim, dada a alta correlação entre todas as variáveis, as duas análises retornaram um único fator que explicam a variância do uso de energia e o ensino de cada um dos *campi* (o que torna inviável a rotação dos fatores), com 99,13% e 82,25% de precisão, respectivamente. A relevância de cada um dos indicadores nesses fatores é mostrada na Tabela 14 e, de acordo com Khan, Lima e Lima (2018), pode ser determinada pela razão entre o seu coeficiente e soma de todos os coeficientes, após a normalização. Desta análise podemos destacar que todos os indicadores são igualmente relevantes para os fatores, com a “Média mensal da demanda máxima de energia ativa ponta” (X3) e o “Número de alunos em Cursos Técnicos Superiores” (Y10) (Tabela 12) com uma leve vantagem sobre os outros, sendo escolhidos, portanto, para ilustrar o modelo. Importante destacar, porém, que nesta e nas análises que se seguem não foram

utilizadas as medições referentes ao *Campus* de Florianópolis no ano de 2016, porque o medidor de energia da concessionária previamente instalado não media o consumo de energia ponta e fora-ponta separadamente, indicadores analisados na matriz (Indicadores X1 e X2 da Tabela 12).

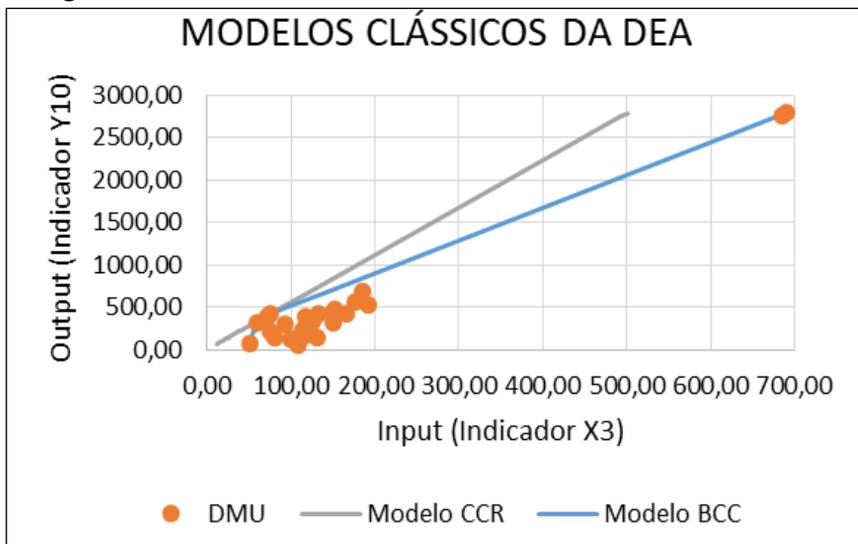
Tabela 14: Coeficientes e relevância dos indicadores no ensino e no uso de energia dos *campi*

INDICADOR	USO DE ENERGIA				ENSINO			
	X1	X2	X3	X4	Y8	Y9	Y10	Y11
COEFICIENTE	0,251039	0,251228	0,251231	0,250864	0,288290	0,280245	0,296287	0,233497
RELEVÂNCIA	24,99%	25,01%	25,01%	24,98%	26,25%	25,52%	26,98%	21,26%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

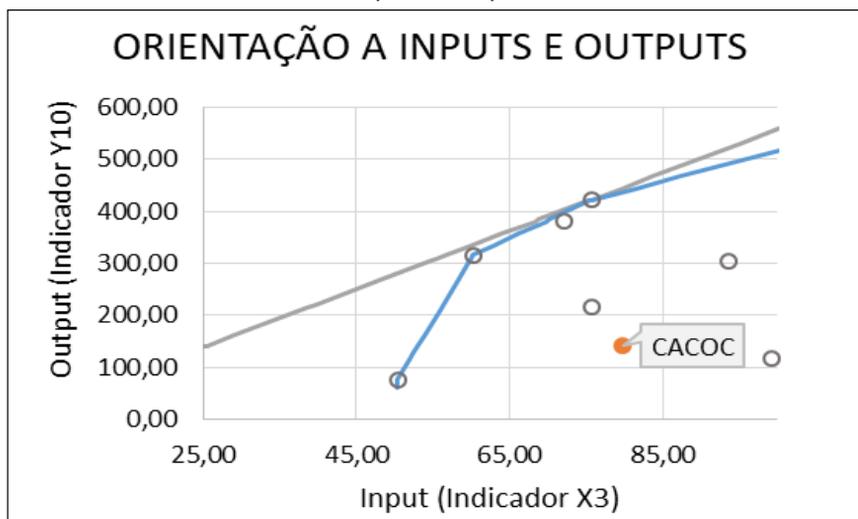
A escolha dos indicadores de maior relevância às análises foi necessária, uma vez que os próprios fatores não puderam ser utilizados porque, após a normalização necessária para evitar erros na ACP, os insumos e os produtos apresentaram valores negativos não suportados pela Análise Envoltória de Dados (DEA), técnica utilizada na determinação do IndCG. Assim, pôde-se ilustrar as curvas de eficiência determinadas pela DEA nos modelos CCR (retorno constante de escala) e BCC (retorno variável de escala) orientados a insumos utilizando-se as Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) com valores não-nulos, conforme mostrado na Figura 29. Além disso, pôde-se salientar como a redução dos insumos (modelo orientado a *inputs*) e o aumento dos produtos (modelo orientado a *outputs*), destacados em verde e vermelho na Figura 30, respectivamente, podem levar as DMU ineficientes ao índice A de Eficiência Energética Relativa e a atingir a curva de eficiência.

Figura 29: Modelos clássicos da Análise Envoltória de Dados



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 30: Orientação da Análise Envoltória de Dados a *inputs* e *outputs*



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Conforme pode ser visto nesta última figura, a escolha do modelo e a orientação da DEA também são determinantes para o índice de Eficiência Relativa, uma vez que ele é resultado da razão entre a produtividade da DMU analisada, e da sua projeção em uma das curvas de eficiências de acordo com a orientação escolhida. Vale destacar que essa metodologia também foi utilizada nos estudos de Blum e Okwelum (2018), Borgstein e Lamberts (2014) e Galindro et al. (2019) na análise da eficiência de eletrodoméstico, edificações e produtos de panificação, respectivamente.

Cálculo do Indicador de Custos Gerenciáveis

Em seguida, utilizou-se novamente a DEA, com o modelo de análise (BCC ou CCR) definido com base na homogeneidade das amostras, e determinaram-se os Indicadores de Custos Gerenciáveis (IndCG) gerais e por agrupamento, que foram posteriormente classificados de modo igual ao IndPE (conforme a Equação 5), em função do tamanho dos *campi*. Destaca-se ainda que se respeitou a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA, definida por Banker et al. (1989) e que se utilizou nestas e nas DEA seguintes o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) (ANGULO MEZA et al., 2004), ferramenta dedicada à análise de produtividade e eficiência.

Com base nos conceitos de produtividade, pôde-se determinar o IndCG utilizando-se as medições de uso de energia e ensino nos anos de 2016 a 2019, como uma medida da eficiência relativa na demanda e no uso de energia ativa (energia que retorna trabalho útil). Utilizou-se o modelo BCC da DEA na determinação desse indicador para o índice geral, uma vez que esse modelo considera que pode haver retornos diferentes em função da escala da DMU, enquanto que o Modelo CCR da DEA foi utilizado para a determinação deste indicador nos agrupamentos, pelo fato de este último modelo considerar retornos constantes, independentemente da escala da DMU. São mostrados, então, os

IndCG geral e os níveis de eficiência relativa com relação a esse indicador em todos os *campi* do IFPI com exceção do *Campus* de Floriano do ano de 2016 (Tabela 15).

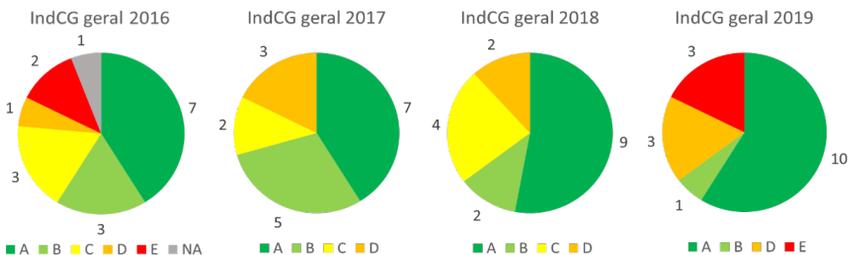
Além disso, na Figura 31 é mostrada a contagem dos *campi* do IFPI de 2016 a 2019 com base no IndCG geral e na Figura 32 é mostrada a variação desse indicador ano a ano. Com uma média de 0,89, este indicador variou 0,65 a 1,00, destacando que não houve uma consistência em sua variação em todos os *campi* no decorrer do período estudado, com seis *campi* melhorando e seis *campi* piorando a eficiência no uso da energia neste último ano.

Tabela 15: Indicadores de Custos Gerenciáveis geral e níveis de eficiência de 2016 a 2019

<i>Campus</i>	IndCG Geral							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	1,00	A	1,00	A	0,77	C	0,76	D
CACAM	1,00	A	0,91	A	1,00	A	0,69	E
CACOC	0,90	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CACOR	0,85	B	0,82	B	1,00	A	1,00	A
CAFLO	-	NA	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CAOEI	1,00	A	0,80	B	1,00	A	1,00	A
CAPAR	0,87	B	0,84	B	0,88	B	1,00	A
CAPAU	0,67	D	0,73	C	0,98	A	0,93	B
CAPEDII	1,00	A	0,85	B	1,00	A	0,94	A
CAPIC	0,71	C	0,88	B	0,73	C	0,75	D
CAPIR	0,73	C	0,66	D	0,76	C	0,65	E
CASJP	0,75	C	0,74	C	0,69	D	0,77	D
CASRN	0,48	E	0,60	D	0,67	D	0,69	E
CATCE	1,00	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CTZS	0,97	A	0,96	A	1,00	A	1,00	A
CAURU	0,57	E	0,64	D	0,78	C	0,96	A
CAVAL	0,89	B	0,95	A	0,86	B	0,93	A

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

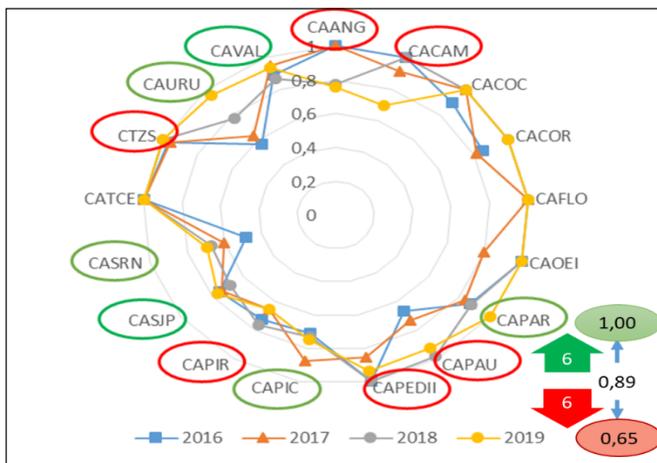
Figura 31: Contagem dos *campi* por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Custos Gerenciáveis geral de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Ainda se utilizando o conceito de produtividade, com o modelo CCR da DEA determinou-se o IndCG para os agrupamentos, uma vez que esse modelo é um pouco mais exigente que o BCC. Na Tabela 16 são mostrados os IndCG por agrupamento e os níveis de eficiência relativa com relação a esse indicador em todos os *campi* do IFPI (exceto o *Campus* de Floriano em 2016).

Figura 32: Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

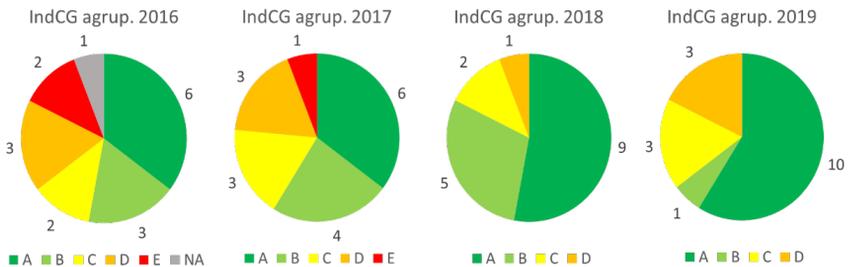
Tabela 16: Indicadores de Custos Gerenciáveis por agrupamento e níveis de eficiência de 2016 a 2019

Campus	IndCG por agrupamento							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	1,00	A	1,00	A	0,76	B	0,73	C
CACAM	1,00	A	0,51	D	1,00	A	0,66	D
CACOC	0,59	D	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CACOR	0,85	B	0,80	B	1,00	A	1,00	A
CAFLO	-	NA	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CAOEI	1,00	A	0,70	C	1,00	A	1,00	A
CAPAR	0,86	B	0,79	B	0,84	B	0,92	A
CAPAU	0,57	D	0,68	C	0,97	A	0,93	A
CAPEDEII	1,00	A	0,75	B	1,00	A	0,90	B
CAPIC	0,70	C	0,83	B	0,67	C	0,75	C
CAPIR	0,73	C	0,64	C	0,76	B	0,65	D
CASJP	0,38	E	0,50	E	0,60	D	0,63	D
CASRN	0,39	E	0,54	D	0,67	C	0,69	C
CATCE	1,00	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CTZS	0,90	A	0,94	A	1,00	A	0,95	A
CAURU	0,52	D	0,61	D	0,77	B	0,95	A
CAVAL	0,85	B	0,92	A	0,85	B	0,93	A

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

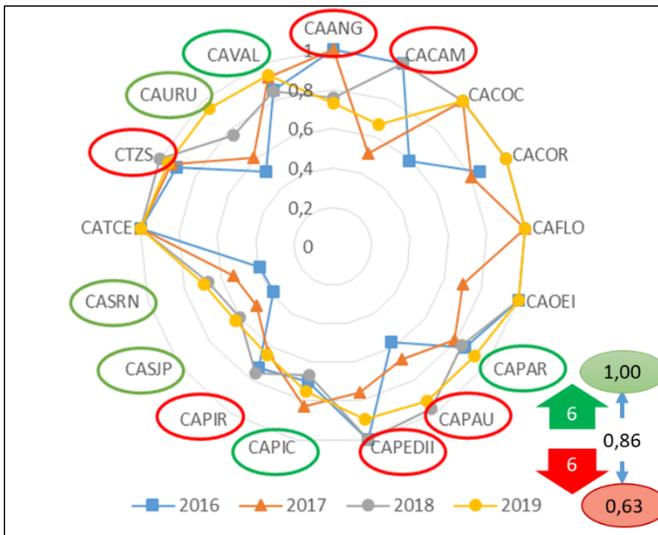
Assim como para o índice geral, na Figura 33 e na Figura 34 são mostradas a contagem dos *campi* do IFPI de 2016 a 2019 com base no IndCG agrupamento e variação desse indicador ano a ano, respectivamente, destacando-se novamente em verde e vermelho os *campi* que pioraram e melhoraram de 2018 a 2019 com relação a esse indicador. Pôde-se também constatar de maneira geral que não houve uma consistência na variação deste indicador em todos os *campi* no decorrer do período estudado, com os mesmos seis *campi* melhorando e seis *campi* piorando a eficiência energética e o indicador variando de 0,63 a 1,00, com um valor médio de 0,86.

Figura 33: Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 34: Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019



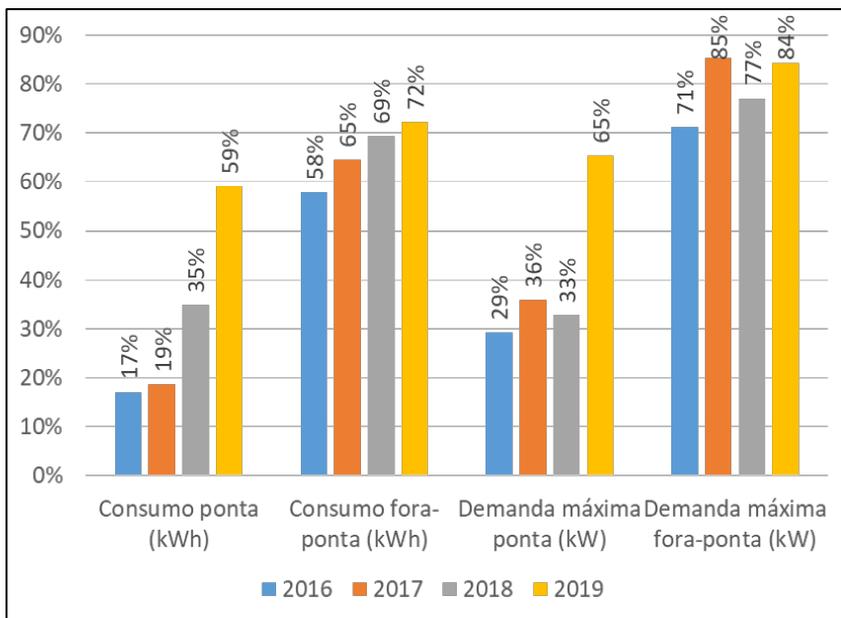
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Por fim, mesmo não havendo um padrão na variação nestes indicadores, pode-se destacar os *Campi* de Campo Maior e Uruçuí como as DMU que apresentaram a maior diminuição e

maior aumento nos IndCG geral (variações de -0,31 e -0,34) e por agrupamento (variações de 0,39 e 0,43), respectivamente. Mostrou-se ainda a variação dos indicadores de uso de energia e de ensino tanto para o *campus* que teve a maior variação (Figura 35) (Figura 36), quanto para o que teve a menor variação (

Figura 37) (Figura 38). Percebe-se um aumento nos *inputs* e uma diminuição nos *outputs* no *campus* com a melhor evolução no período e, conseqüentemente, um aumento na sua produtividade, e constata-se o inverso no *campus* com a pior evolução no período.

Figura 35: Variação dos indicadores de uso de energia no *Campus* de Campo Maior de 2016 a 2019

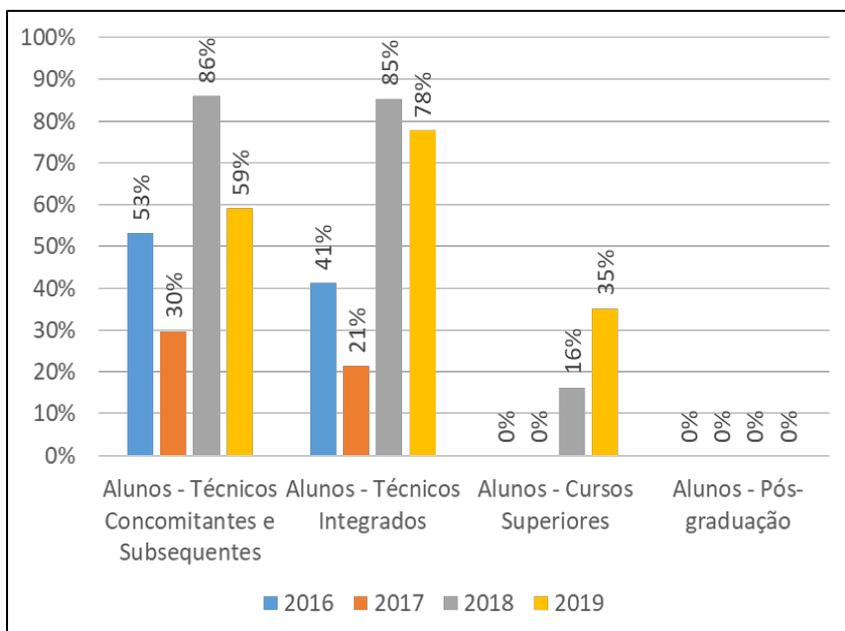


Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A DMU com maior eficiência, conseqüentemente, possui a melhor produtividade e podemos definir este último conceito como a razão entre os *outputs* e *inputs*. Assim, analisando-se a

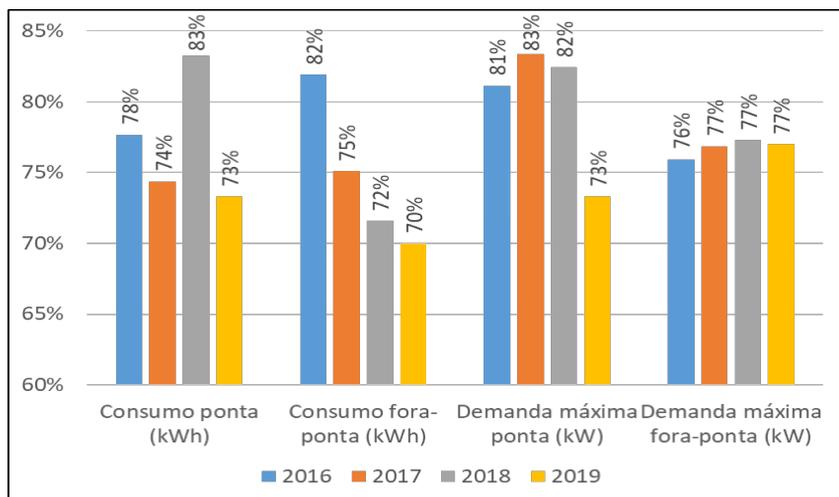
variação do IndCG podemos constatar que este indicador reflete a variação da produtividade ao constatarmos que no primeiro *campus* em que esse indicador diminuiu ocorreu uma diminuição nos *outputs* (Figura 36) e um aumento dos *inputs* (Figura 35), diminuindo a eficiência, e que no segundo *campus* onde o IndCG geral aumentou percebeu-se um aumento dos *outputs* (Figura 38) e uma diminuição nos *inputs* (Figura 37), aumentando a eficiência. Confirma-se, assim, a eficácia do IndCG.

Figura 36: Variação dos indicadores de ensino no *Campus* de Campo Maior de 2016 a 2019



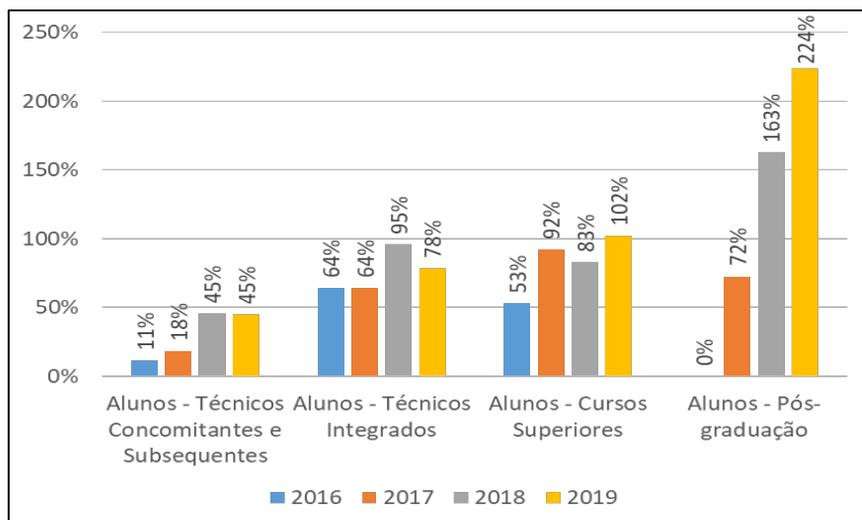
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 37: Variação dos indicadores de uso de energia no *Campus* de Uruçuí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 38: Variação dos indicadores de ensino no *Campus* de Uruçuí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nova Proposta de Rotulagem Ambiental do Uso de Energia

Pôde-se utilizar a desagregação das faturas de energia e a Análise Envoltória de Dados para determinar o IndPE e o IndCG para os *campi* de Instituições de Ensino Superior. Estes resultados serão, portanto, sintetizados em um novo Índice de Eficiência Energética e um novo modelo de Rotulagem Ambiental Tipo II para o *benchmarking* e gestão energética.

Cálculo do Índice de Eficiência Energética Relativa e definição de metas

De posse desses indicadores, criou-se o Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) geral e por agrupamento através da média aritmética do Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE) e do Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) e, novamente, dividiram-se os *campi* em cinco níveis de eficiência energética relativa também de comprimentos iguais (Equação 5), criando-se ainda um ranking através do seu desempenho energético e estimaram-se os *benchmarks* para o aumento da eficiência energética. Estabeleceram-se, portanto, metas para a eliminação das perdas evitáveis e utilizou-se os modelos de Análise Envoltória de Dados orientados a *inputs* e *outputs* para estabelecer *benchmarks* de consumo e demanda de energia e para as atividades de ensino, afim de atingir o melhor nível de eficiência energética.

Com o IndPE e o IndCG geral e por agrupamento calculados, pôde-se determinar o IEER também de maneira geral e por agrupamento com a média aritmética dos dois indicadores para todos os *campi* do IFPI de 2016 a 2019 (exceto para o *Campus* de Floriano em 2016), cujos resultados são mostrados na Tabela 17. Na Figura 39 e na Figura 40 são mostradas a contagem por nível de eficiência com base neste índice no período analisado de maneira geral e por agrupamento. De maneira geral podemos

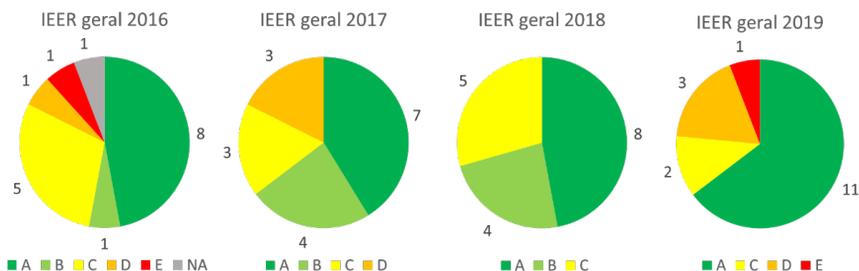
notar uma melhora neste indicador ao longo dos anos (em ambos) em função da melhoria no Indicador de Perdas Evitáveis, entretanto, conforme destacado no Tópico 4.1, a ação que teve o impacto positivo neste indicador foi apenas pontual, devendo ser continuada.

Tabela 17: Índices e Níveis de Eficiência Energética Relativa geral e por agrupamento de 2016 a 2019

CAM-PUS	2016				2017				2018				2019			
	Geral		Agrup.		Geral		Agrup.		Geral		Agrup.		Geral		Agrup.	
	Índice	Nível														
CAANG	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,84	C	0,84	C	0,85	D	0,84	C
CACAM	0,99	A	0,99	A	0,94	A	0,74	D	0,99	A	0,99	A	0,83	D	0,82	D
CACOC	0,94	A	0,79	C	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CACOR	0,86	C	0,86	B	0,83	C	0,82	C	0,93	B	0,93	A	0,95	A	0,95	A
CAFLO	-	NA	-	NA	0,99	A										
CAOEI	0,99	A	0,99	A	0,89	B	0,84	C	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A
CAPAR	0,89	B	0,88	B	0,89	B	0,87	B	0,91	B	0,89	B	0,98	A	0,94	B
CAPAU	0,82	C	0,77	D	0,86	C	0,83	C	0,98	A	0,97	A	0,96	A	0,96	A
CAPEII	0,94	A	0,94	A	0,90	B	0,85	C	0,98	A	0,98	A	0,95	A	0,93	B
CAPIC	0,83	C	0,83	C	0,93	B	0,90	B	0,86	C	0,82	C	0,86	C	0,86	C
CAPIR	0,82	C	0,82	C	0,79	D	0,78	C	0,83	C	0,83	C	0,77	E	0,77	E
CASJP	0,87	C	0,69	E	0,86	C	0,74	D	0,83	C	0,79	C	0,88	C	0,81	D
CASRN	0,69	E	0,65	E	0,79	D	0,76	D	0,82	C	0,82	C	0,83	D	0,83	D
CATCE	0,97	A	0,97	A	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,99	A	0,99	A
CTZS	0,94	A	0,91	B	0,97	A	0,96	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,97	A
CAURU	0,77	D	0,75	D	0,81	D	0,80	C	0,88	B	0,87	B	0,97	A	0,97	A
CAVAL	0,94	A	0,92	B	0,96	A	0,95	A	0,92	B	0,91	B	0,96	A	0,96	A

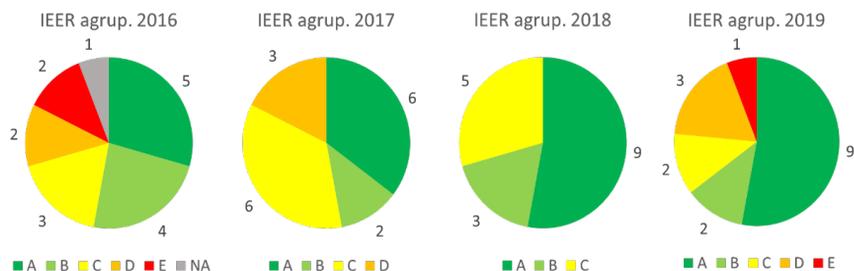
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 39: Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa geral de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 40: Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Já na Figura 41 e na Figura 42 são mostradas as variações do IEER geral e por agrupamento de 2016 a 2019. O IEER geral teve um valor médio 0,93, variando de 0,77 a 0,99, enquanto que o IEER por agrupamento teve um valor médio de 0,91, variando de 0,73 a 0,99. Assim como nos indicadores que os compõe, não houve um padrão na variação do índice dentro da IES, com alguns melhorando e outros piorando o seu desempenho, não havendo uma uniformidade entre a variação do índice geral e por agrupamento (seis *campi* melhoraram na primeira análise e sete *campi* melhoraram na análise nos grupos).

Comparando-se as duas figuras podemos concluir que a metodologia na determinação do IEER nos agrupamentos é mais exigente que a metodologia para a determinação do índice geral, uma vez que determinou indicadores menores em termos absolutos, e por esta razão estes primeiros indicadores foram utilizados para a determinação das metas para o aumento da eficiência. Por sua vez, na Figura 43 são mostrados os resultados em todos os *campi* no ano de 2019 (IndPE, IndCG e IEER, geral e por agrupamento) e pôde-se destacar ainda um *ranking* elaborado com o IEER geral, com os *Campi* de Piripiri e Teresina Zona Sul com o pior e melhor índice.

Para que todos os *campi* atinjam o nível máximo de eficiência energética devem atingir o nível máximo em ambos os indicadores. Para o máximo desempenho no IndPE devem eliminar completamente as perdas evitáveis com as ações destacadas no Tópico 3.1.1, quais sejam: pagamento das faturas em dia para eliminar os encargos, revisão dos contratos de fornecimento de energia para que não paguem multa com a demanda de ultrapassagem, além da instalação de bancos de capacitores para a correção do fator de potência e eliminação do consumo excessivo de energia reativa.

Figura 41: Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa geral nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019

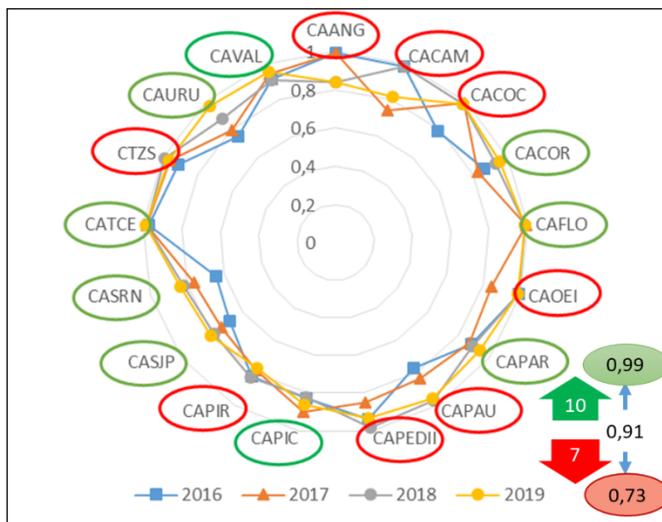
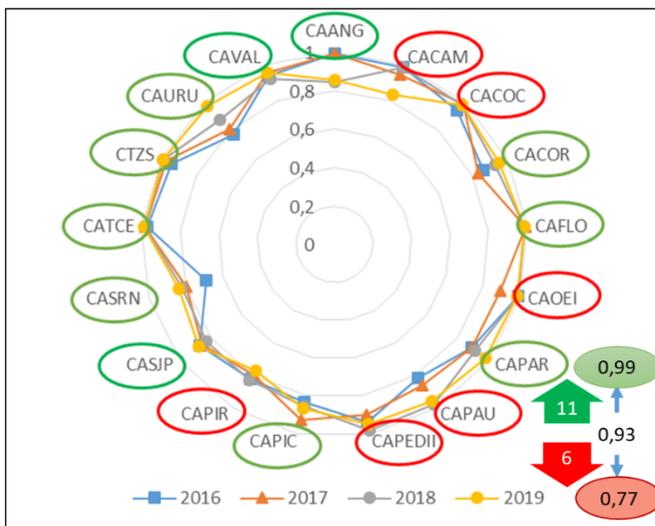
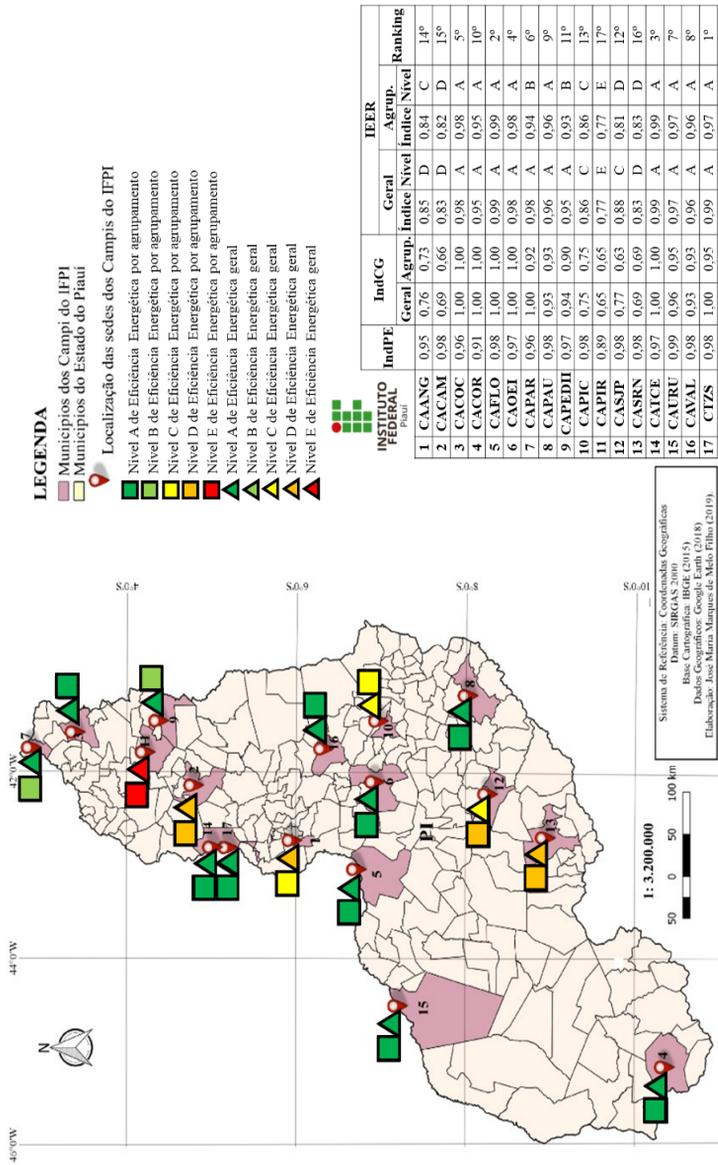


Figura 42: Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019



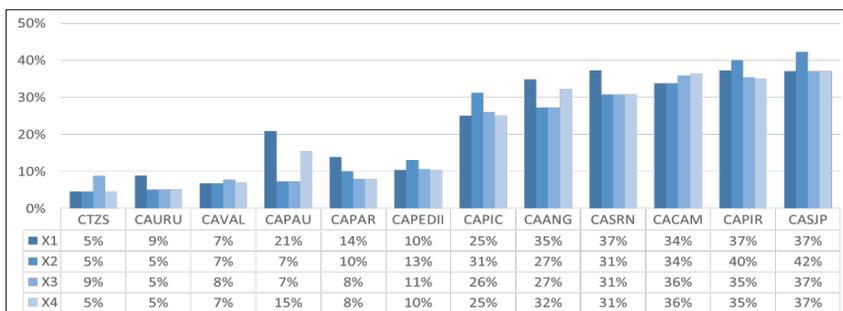
Já para o nível máximo do IndCG, conforme destacado no tópico 4.2, dois caminhos são possíveis, devendo ser estimulados simultaneamente, ou seja, deve-se diminuir o consumo e a demanda de energia ativa e aumentar o número de alunos. Foram determinadas com a DEA modelo BBC orientada a *inputs* as metas para a diminuição dos *inputs* (Figura 44) e com a DEA modelo BBC orientada a *output* as metas para o aumento dos indicadores de ensino (Figura 45), para os *campi* com baixo desempenho neste indicador. Importante destacar que o atendimento a essas metas trará benefícios adicionais com o aumento dos recursos recebidos pela instituição e diminuição dos impactos socioambientais da expansão do Sistema Elétrico do país.

Figura 43: Indicador de Perdas Evitáveis, Indicador de Custos Gerenciáveis e Índice de Eficiência Energética Relativa dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí em 2019



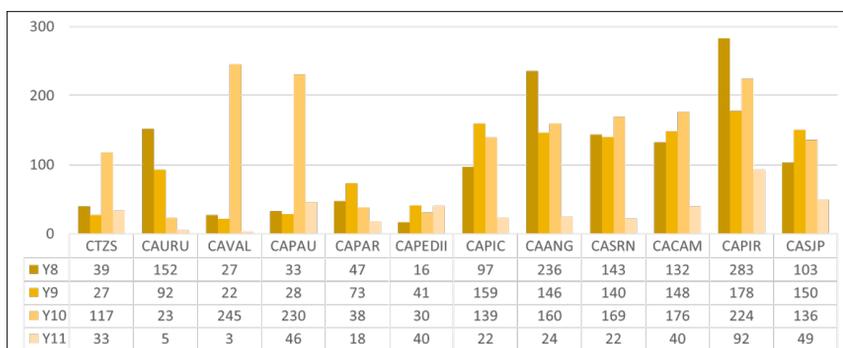
Fonte: Elaborada com dados do próprio autor

Figura 44: Metas para diminuição dos indicadores de uso de energia nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 45: Metas para o aumento dos indicadores de ensino nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

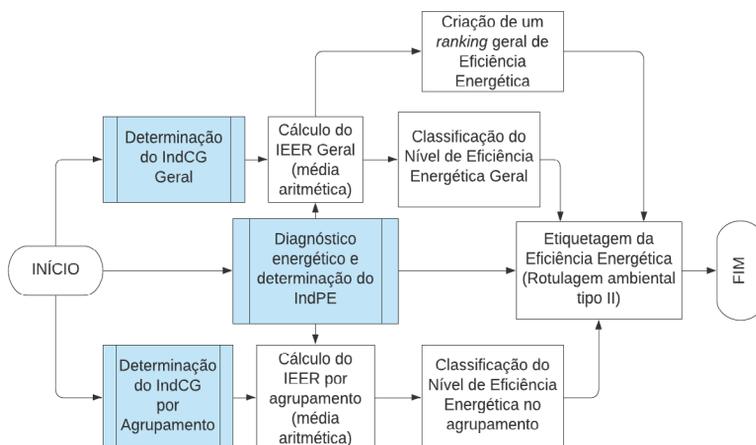
Nova Proposta de Rotulagem Ambiental do Uso de Energia

Os *campi* com menor Indicador de Custos Gerenciáveis apresentam metas mais ambiciosas. E, como estratégia de gestão energética, reconhecendo-se que declarações ambientais podem ser feitas de várias formas (textos, símbolos, rótulos, boletins

técnicos, etc.) e, de acordo com as normas de rotulagem ambiental da ABNT (2017), desenvolveram-se novos modelos de Etiquetas de Eficiência Energética Relativas (EEER) (Figura 46). Utilizaram-se como base as Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica), paradigma tradicional com baixa eficácia no país, do tipo “*botton up*” e rotulagem ambiental Tipo I (rotulagem desenvolvida por terceiros).

Desenvolvendo-se, portanto, uma rotulagem ambiental tipo II (autodeclaração ambiental) clara, transparente, cientificamente sólida e documentada, características necessárias para a confiabilidade da autodeclaração (Figura 47). Dessa forma, apresentou-se para cada um dos *campi* uma nova etiqueta de eficiência energética contendo informações relevantes para sua eficiência energética, tais como: indicadores, índices, níveis, rankings, *benchmarks* e diagnósticos energéticos, objetivando uma estratégia de *benchmarking*. Esta nova proposta de rotulagem se difere da primeira pelo seu tipo e metodologia, uma vez que é “*top down*” e utiliza apenas informações constantes nas faturas de energia e dados constantes na matriz de indicadores coletados nos anos analisados, sendo, portanto, de mais fácil determinação que a etiquetagem proposta pelo Inmetro.

Figura 46: Determinação da rotulagem ambiental da Eficiência Energética



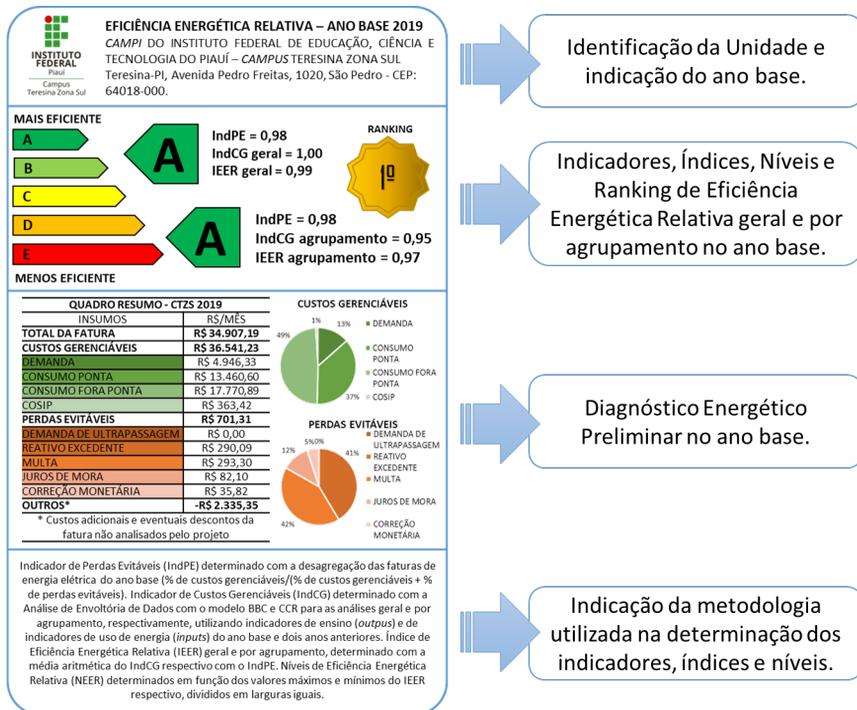
Fonte: Silva, Moita Neto e Lira (2020a)

Na Figura 47 é mostrada a composição das etiquetas desenvolvidas para as Instituições de Ensino Superior *multicampi* no ano base de 2019, podendo servir de ferramentas em uma estratégia de *benchmarking* e orientar as ações de um Sistema de Gestão Energética. Todos os rótulos ambientais para os *campi* do IFPI neste ano podem ser acessados em um mapa dinâmico (SILVA; MOITA NETO; LIRA, 2020b), disponível na internet que pode ser acessada através do *QR Code* mostrado na Figura 48 ao clicar em cada nos ícones de cada um dos *campi*.

Esta nova proposta de rotulagem ambiental da eficiência energética pode ser aplicável a outras organizações, uma vez que é baseada na desagregação das faturas de energia e na Análise Envoltória de Dados. O IndPE pode ser utilizado conforme a Equação 8, sem nenhum prejuízo para a rotulagem, desde que as unidades consumidoras sejam do tipo A (alimentadas em alta tensão) (ANEEL, 2010), enquanto que para a aplicação do IndCG é importante a adequação da matriz de indicadores, conforme

orienta a OECD (2003), além da necessidade de formação de agrupamentos de unidades semelhantes, respeitando-se a Regra de Ouro da DEA (BANKER et al., 1989).

Figura 47: Rotulagem ambiental da eficiência energética para Instituições de Ensino Superior *multicampi*

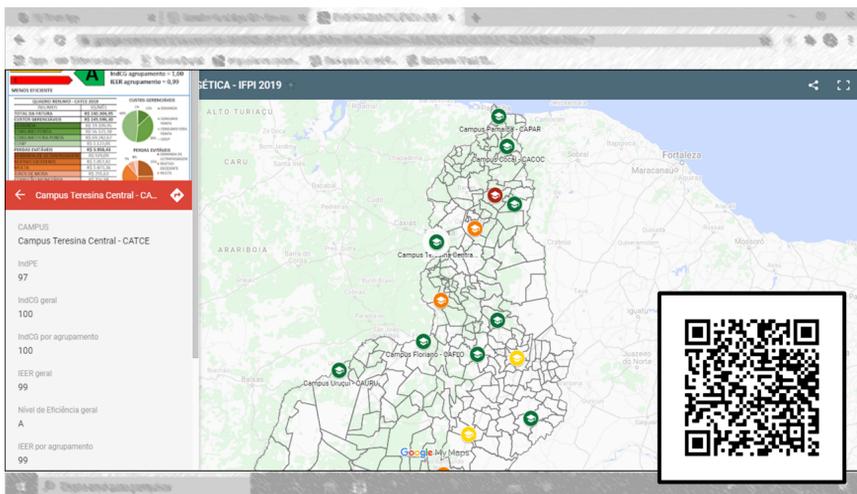


Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A eficiência energética está alinhada com a agenda 2030, trazendo benefícios socioambientais com a mitigação dos impactos do aumento da demanda de energia elétrica e da consequente expansão do sistema elétrico do país, além de trazer benefícios adicionais. No caso das IES, por exemplo, pode beneficiar a comunidade acadêmica, uma vez que o desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética pode adequar os sistemas às

normas técnicas vigentes, trazendo conforto ambiental, além de o recurso economizado poder ser revertido na melhoria de sua infraestrutura e em ações afirmativas como: fornecimento de bolsas, alimentação e moradia para os alunos.

Figura 48: Mapa dinâmico com a rotulagem ambiental da eficiência energética dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí no ano de 2019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo não levando em consideração as implicações da Lei de Eficiência Energética e da obrigatoriedade da compra de produtos com o índice A de eficiência energética, o levantamento feito no site do Inmetro das Etiquetas Nacionais de Edificações (ENCE) comprova a ineficácia do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) na rotulagem ambiental da eficiência energética de edificações no Brasil. E, mesmo com a recente revisão do processo de rotulagem ambiental de edificações não residenciais, muitos avanços são necessários a esse processo, ainda que as publicações sobre esta nova metodologia ainda sejam escassas e outros estudos sejam necessários.

O diagnóstico energético no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPI), objeto de estudo desta publicação, comprovou através do método dedutivo as conclusões previamente induzidas que afirmavam que a instituição não está gerenciando corretamente o uso de energia elétrica. Constatou-se que 4,38% do valor pago para a concessionária de energia local nos anos de 2016 a 2019 são compostos por perdas que totalizam uma média anual maior que todo o valor gasto individualmente com energia elétrica em quatro dos 17 *campi* da instituição no ano de 2019 e

poderiam ser facilmente evitadas com a atuação de um Sistema de Gestão Energética.

Pôde-se comprovar que o desenvolvimento de pesquisas na área de eficiência energética pode trazer impactos positivos para a gestão do uso de energia, como a revisão dos contratos de fornecimento de energia. Entretanto, se não houver um monitoramento contínuo do uso da energia, atribuição de um Sistema de Gestão Energética, em alguns casos essas ações podem ser apenas pontuais com resultados ruins em longo prazo.

Faturas de energia elétrica podem ser desagregadas e utilizadas no diagnóstico energético, permitindo a identificação de centros de custo (Perdas Evitáveis, Custos Gerenciáveis e Outros), definindo-se um Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE). Este indicador pode ser utilizado sem nenhum prejuízo para a rotulagem ambiental, desde que as unidades consumidoras sejam do tipo A (alimentadas em alta tensão), destacando-se ainda as unidades que possuem as maiores e menores contribuições para essas despesas. Por sua vez, as composições percentuais dos custos podem direcionar prioridades de investimentos em Projetos de Eficiência Energética (PEE) quanto ao objeto e à edificação onde o projeto deve ser executado, priorizando o maior benefício para a instituição.

Uma Matriz de Indicadores Ambientais utilizando o Modelo Pressão-Estado-Resposta (Modelo PSR) pode ser elaborada para caracterizar as organizações, possibilitando através da estatística multivariada o agrupamento das unidades semelhantes e a elaboração de um Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) com a Análise Envoltória de Dados (DEA) geral e por agrupamento. Os dados da matriz podem ser utilizados, portanto, como insumos e produtos em uma análise de produtividade e eficiência no uso da energia e, juntamente com a desagregação das faturas de energia (que resultou no IndPE), também definir o Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) geral e por agrupamento. Entretanto,

para a aplicação do IndCG é importante a adequação da matriz de indicadores, conforme orienta a OECD.

Ainda se utilizando desses dados, os modelos tradicionais da DEA (CCR e BCC) podem ser utilizados para a determinação de metas para a redução do consumo e demanda de energia ou aumento dos indicadores de ensino em IES *multicampi* que devem ser estimuladas simultaneamente. Utilizando-se o *benchmarking*, pode-se utilizar essa metodologia para ranquear os *campi* das IES e monitorar o uso da energia em vários ciclos de medição estimulando a melhoria contínua desse aspecto ambiental, objetivo principal de um Sistema de Gestão Energética, além de contribuir para Agenda 2030.

Tais resultados podem ainda ser sintetizados em uma Etiqueta de Eficiência Energética Relativa (EEER) como uma Rotulagem Ambiental tipo II e elaborada para cada unidade, estimulando ainda mais esta estratégia de gestão. Trata-se, portanto de uma metodologia *top-down* e caixa preta, mais simples e eficaz que a metodologia padronizada pelo INMETRO (paradigma tradicional), reconhecendo-se a complexidade, a intersubjetividade e a instabilidade do meio ambiente. Ademais, a etiquetagem pode ser apresentada em um mapa dinâmico, disponível na internet, facilitando a comunicação dos resultados, estratégia inerente a um Sistema de Gestão Ambiental.

Tais ações devem incentivar a criação de espaços sustentáveis, reservando-se os maiores investimentos, prioritariamente, aos *campi* em que se espera os maiores benefícios técnicos, econômicos e ambientais. Espera-se que os resultados desta pesquisa também tenham impactos positivos no desempenho ambiental das organizações e promovam a sensibilização às questões ambientais, tendo em vista que o uso de energia é somente um dos aspectos ambientais gerenciáveis. Ademais, pretende-se estimular a introdução de outras instituições nos estudos para que a metodologia proposta possa ser utilizada como referência de

Benchmarking na Gestão Energética, trazendo benefícios ambientais e contribuindo para Agenda 2030 e, conseqüentemente, ao alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Dada a flexibilidade das técnicas sugeridas, espera-se ainda que essa estratégia seja aplicável a outras organizações e a outros aspectos ambientais.

Por fim, o apoio das Instituições de Ensino Superior com a disponibilização das informações solicitadas é imperativo para a realização dos estudos de Eficiência Energética e foi relevante para esta publicação. Assim, levando-se em consideração que o desenvolvimento de estudos de gestão ambiental em IES deve objetivar mais do que o desenvolvimento de informações gerenciais, além da realização do diagnóstico energético da instituição com posterior apresentação dos resultados parciais para a administração, pôde-se durante o desenvolvimento da pesquisa executar ações que trouxeram benefícios para a comunidade acadêmica e para a instituição, quais sejam: Publicação de artigos científicos; Utilização dos conhecimentos adquiridos nas atividades de ensino; Apresentação da pesquisa em forma de palestra; Execução de um Projeto de Iniciação Científica Júnior (Projeto de Pesquisa); Execução de um Projeto de Pesquisa, Estruturação e Reestruturação Laboratorial (Projeto de Pesquisa); Execução de um Curso de Formação Inicial e Continuada em Energia Solar Fotovoltaica e Eficiência Energética (Projeto de Extensão).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: Aneel, 2010.

AGOSTINHO, F.; SICHE, R. Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugarcane ethanol as a case study. **Biomass & bioenergy**, [s. l.], v. 71, p. 69–83, 2014.

AGUIAR, V. Um balanço das políticas do governo Lula para a educação superior: continuidade e ruptura. **Revista de Sociologia e Política**, [s. l.], v. 24, n. 57, 2016.

AHMADI-KARVIGH, S. *et al.* Real-time activity recognition for energy efficiency in buildings. **Applied Energy**, [s. l.], v. 211, p. 146–160, 2018.

ANGULO MEZA, L. *et al.* G. ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, [s. l.], v. 25, n. 3, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14020**: Rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14024**: Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem ambiental do tipo I – Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14025**. Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem ambiental do tipo III – Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14021**. Rótulos e declarações ambientais – Autodeclarações ambientais (rotulagem tipo II). Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AVELAR, S. *et al.* **Geoheritage**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–9, 2018.

BAKAR, N. N. A. *et al.* Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. **Renewable & sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 44, p. 1–11, 2015.

BANKER, R. D. *et al.* An Introduction to Data Envelopment Analysis with Some of its Models and Their Uses. **Research in Governmental and Nonprofit Accounting**, [s. l.], 1989.

BARBOSA, M. A. C.; MENDONÇA, J. R. C.; CASSUNDE, F. R. S. A. Managerial competences (expected versus perceived) of academic-managers of federal higher education institution: perceptions of teachers from a federal university. **Administração: Ensino e Pesquisa RAEP**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 439, 2016.

BITTENCOURT, Maria Fernanda Nogueira; FERREIRA, Patrícia Aparecida; DE BRITO, Mozar José. Avaliação do processo de implementação de obras públicas em universidades federais: um estudo do Programa REUNI. **Revista Gestão Universitária na América Latina - GUAL**, [s. l.], p. 79–102, 2017. DOI: 10.5007/1983-4535.2017v10n1p79.

BLUM, H.; OKWELUM, E. Estimating an economic-efficient frontier for dishwasher consumer choice. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1325–1341, 2018.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. **Energy & Buildings**, [s. l.], v. 128, p. 734–755, 2016.

BORGSTEIN, H. E.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy & Buildings**, [s. l.], v. 82, p. 82–91, 2014.

BRAMBILA, A.; FLOMBAUM, P. Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 83, p. 96–102, 2017.

BRASIL. [Constituição (1934)]. **Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil de 16 de julho de 1934**. Rio de Janeiro, DF: Presidência da República, 1934.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Decreto nº 6.095, de 24 de abril de 2007**. Estabelece diretrizes para o processo de integração de instituições federais

de educação tecnológica, para fins de constituição dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia - IFET, no âmbito da Rede Federal de Educação Tecnológica. Brasília, DF: Presidência da República, 2007a.

BRASIL. **Decreto nº 6.096, 24 de abril de 2007**. Institui o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - REUNI. Brasília, DF: Presidência da República, 2007b.

BRASIL. **Decreto nº 7.234, 19 de julho de 2010**. Institui o Programa Nacional de Assistência Estudantil (Pnaes). Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. **Lei nº 10.172, de 9 de janeiro de 2001**. Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001b.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001a.

BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2008.

BRASIL. **Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016**. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Análise sobre a expansão das Universidades Federais: 2003 a 2012**: Relatório da comissão constituída pela portaria n. 126/2012. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura (MEC). **Plataforma Nilo Peçanha**. 2019. Disponível em: <https://www.plataformanilopecanha.org>. Acesso em: 19 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília, DF: MPOG, 2014.

BRUNE, S.; BIDARRA, Z. S. Higher education institutions and development: short-term economic impacts of federal universities in western Parana. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, [s. l.], v. 12, n. 28, p. 537, 2015.

BURMAN, E. *et al.* A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 – Bottom-

up approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 241–261, 2014.

CABELLO, J. *et al.* Dual weak–strong sustainability synthetic indicators using a double reference point scheme: the case of Andalucía, Spain. **Operational Research**, [s. l.], p. 1–26, 2018.

CAMARGO, A. M. M.; ARAUJO, I. M. Expansion and interiorization of federal universities from 2003 to 2014: a debate on governmental perspectives. **Acta Scientiarum**, [s. l.], v. 40, n. 1, 2018.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Quem somos**. 2021. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/sobre/quem-somos.html>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CASTANHEIRA, E. C.; SOUZA, H. A.; FORTES, M. Z. Influence of natural and artificial light on structured steel buildings. **Renewable & sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 48, p. 392–398, 2015.

CENTRO DE PESQUISA ENERGÉTICA (CEPEL). **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

CHANG, M. Applying the energy productivity index that considers maximized energy reduction on SADC (Southern Africa Development Community) members. **Energy**, [s. l.], v. 95, p. 313–323, 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 2, p. 429–444, 1978.

CHEN, Y. *et al.* The energy efficiency of China's regional construction industry based on the three-stage DEA model and the DEA-DA model. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [s. l.], v. 1, p. 34–43, 2016.

CHENG, X. *et al.* NIDL: A pilot study of contactless measurement of skin temperature for intelligent building. **Energy & Buildings**, [s. l.], v. 198, p. 340–352, 2019.

COPIELLO, S. Building energy efficiency: A research branch made of paradoxes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 69, p. 1064–1076, 2017.

COSTA, D. M.; BARBOSA, F. V. Efficiency of public policies for financing higher education: a comparative study among Brazil, Canada and China. **Meta**, [s. l.], v. 10, n. 28, p. 106–138, 2018.

COTTAFAVA, D. *et al.* Explorative Multidimensional Analysis for Energy Efficiency: DataViz versus Clustering Algorithms. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1312, 2018.

DARAIO, C. *et al.* Productivity and Efficiency Analysis Software: An Exploratory Bibliographical Survey of the Options. **IÉSEG Working Paper Series**, [s. l.], v. 5, 2017.

DARIUS, R. P. P.; DARIUS, F. A. A educação pública no Brasil no século XX: considerações à luz da formação dos grupos escolares e do manifesto dos pioneiros da educação nova. **DOXA**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 32–41, 2018.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DOURADO, L. F. Avaliação do plano nacional de educação 2001-2009: questões estruturais e Conjunturais de uma política. **Revista Educação e Sociedade**, [s. l.], v. 31, n. 112, p. 677-705, 2010.

DUA, J. *et al.* The impacts of daytime external envelope heat gain/storage on the nighttime cooling load and the related mitigation measures in a bedroom in the subtropics. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 118, p. 70-81, 2016.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, [s. l.], v. 61, p. 4-8, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética**: Brasil 2020. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>. Acesso em: 12 nov. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2021a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Demanda de Eletricidade Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Rio de Janeiro: EPE, 2021b.

ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 136, p. 32–45, 2002.

FERNANDES, F. O apelo divisional da estruturação híbrida e multicampi dos Institutos Federais. **HOLOS**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 258–268, 2016.

FERREIRA, B. J. P. No Title Public Education as a Social Right: challenges for the construction of a coordinated system in Brazil. **Revista Katálysis**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 502–512, 2019.

FLORO, E. F.; RI, N. M. D. Termo de acordo, metas e compromisso: a incursão do REUNI nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, [s. l.], v. 15, n. 38, 2017.

FOSSATI, M. *et al.* Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable & sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 65, p. 1216–1331, 2016.

FRAGNI, C.; COSTA, L. H. M. K. ECO-ALOC: Energy-efficient resource allocation for cluster-based software routers. **Computer networks**, [s. l.], v. 56, p. 2249–2261, 2012.

FRIDGEN, G. *et al.* Big Data beats engineering in residential energy performance assessment – a case study. **Computer Science: Research and Development**, [s. l.], v. 33, n. 1, 2018.

FUCCI, F. *et al.* Study of a prototype of an advanced mechanical ventilation system with heat recovery integrated by heat pump. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 133, p. 111–121, 2016.

GALINDRO, B. *et al.* Use of data envelopment analysis to benchmark environmental product declarations: a suggested framework. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], p. 1–15, 2019.

GHAHRAMANI, A. *et al.*. Learning occupants' workplace interactions from wearable and stationary ambient sensing systems. **Applied Energy**, [s. l.], v. 230, p. 42–51, 2018.

GLESK, I.; ROPER, M. Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review. **Visualization in Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1–20, 2018.

GOUVEIA, F. P. S. A expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia no território brasileiro: entre o local e o nacional. **Espaço e Economia**, [s. l.], 2017.

HÁK, T.; JANOUSKOVÁ, S.; MOLDAN, B. Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 60, p. 565–573, 2016.

HAN, Y. *et al.* A study on evaluation the marine carrying capacity in Guangxi Province, China. **Marine Policy**, [s. l.], v. 91, p. 66–74, 2018.

HERMIDA, J. F. O Plano Nacional de Educação (Lei 10.172), de 9 de janeiro de 2001. **Educar em Revista**, [s. l.], v. 27, p. 239–258, 2006.

HONG, S. *et al.* comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 119–130, 2013.

HUANG, H. *et al.* The changing pattern of urban flooding in Guangzhou, China. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 622, p. 394–401, 2018.

HUOVILA, A.; TUOMINEN, P.; AIRAKSINEN, M. Effects of Building Occupancy on Indicators of Energy Efficiency. **Energy**, [s. l.], v. 10, p. 628, 2017.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ (IFPI). **Resolução Consup nº 039/2010**. Normatiza a distribuição da carga horária docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). Teresina, 2010.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ (IFPI). **Resolução Consup nº 07/2018**. Aprova a Organização Didática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) e revoga a Resolução 040/2010. Teresina, 2018.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ (IFPI). **Plano de Desenvolvimento institucional 2020-2024**: construindo para o futuro. Teresina: IFPI, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010**. Aprova a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012**. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade

- RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Tabela de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicos**. Rio de Janeiro, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021**. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas quanto a sua eficiência energética. Rio de Janeiro, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Statistics report Key World Energy Statistics 2021**. Paris: IEA, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Total Energy Use in Buildings Analysis and Evaluation Methods**. Paris.

JAMALUDIN, A. A.; MAHMOOD, N. Z.; ILHAM, Z. Performance of electricity usage at residential college buildings in the University of Malaya campus. **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 40, p. 85–102, 2017.

JEBALI, E.; ESSID, H.; KHRAIEF, N. The analysis of energy efficiency of the Mediterranean countries: a two-stage double bootstrap DEA approach. **Energy**, [s. l.], v. 134, p. 991–1000, 2017.

JESUS, L. N.; MAYER, A. L. M.; CAMARGO, P. L. T. Student assistance national program: from the une's leadership to progress in the struggle for students' rights by FONAPRACE. **Acta Scientiarum**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 247, 2016.

Jl, Y.; LEE, K. Data Envelopment Analysis. **The Stata Journal**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 267–280, 2010.

KANG, T. Educação para as elites, financiamento e ensino primário no Brasil, 1930-1964. **Latin American Research Review**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 35–48, 2017.

KAVESKI, I. D. S.; MARTINS, J. A. S.; SCARPIN, J. E. A eficiência dos gastos públicos com o ensino médio regular nas instituições estaduais brasileiras. **Enfoque: Reflexão Contábil**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 29–44, 2015.

KETCHMAN, K. J. *et al.* Synergizing disparate component-level energy resources into a single whole building tool to support energy conservation action in small commercial buildings. **Energy & Buildings**, [s. l.], v. 176, p. 325–332, 2018.

KHAN, A. S.; LIMA, F. E.; LIMA, P. V. P. S. (Org. **Uso de indicadores em Ciências Econômicas, Sociais e Ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2018.

KILKS, S. Composite index for benchmarking local energy systems of Mediterranean port cities. **Energy**, [s. l.], v. 92, p. 622–638, 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

LEE, D. *et al.* Three-Dimensional Visualization Solution to Building-Energy Diagnosis for EnergyFeedback. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 1736, 2018.

LEITE, C. S. *et al.* Automatic Control System Feasibility for take advantage of Natural Lighting in Study Rooms. *In*: CLAGTEE 2015 - ELEVENTH LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION 2015, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos, 2015.

LEITE, Ellen Flávia Weis; HACKENBERG, Ana Mirthes. Eficiência energética de envoltória: comparação dos métodos de avaliação rtq-c e ini-c através de estudo de caso. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 9, p. 532–552, 2020.

LI, L.; HU, J.; XIA, N. Industrial energy-pollution performance of regions in China based on a unified framework combining static and dynamic indexes. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 131, p. 341–350, 2016.

LI, M.; TAO, W. Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. **Applied Energy**, [s. l.], v. 187, p. 203–215, 2017.

LI, Z.; HAN, Y.; XU, P. Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: An overview. **Applied Energy**, [s. l.], v. 124, p. 325–334, 2014.

LIAO, C. *et al.* Ecological restoration enhances ecosystem health in the karst regions of southwest China. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 90, p. 416–425, 2018.

LIAO, H.; DU, Y.; HUANG, Z.; WEI, Y. Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach. **Applied energy**, [s. l.], v. 179, p. 479–487, 2016.

LIMA, E. E.; MACHADO, L. R. S. Reuni e Expansão Universitária na UFMG de 2008 a 2012. **Educação & Realidade**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 383–406, 2016.

LIU, X. *et al.* Evaluating the sustainability of marine industrial parks based on the DPSIR framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 188, p. 158–170, 2018.

LOPES, A. C. P. *et al.* Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 66, p. 207–219, 2016.

LUNDGREN, T.; MARKLUNDA, P.; ZHANG, S. Industrial energy demand and energy efficiency – Evidence from Sweden. **Resource and energy economics**, [s. l.], v. 43, p. 130–152, 2016.

MACEDO, P. C. S. Educação profissional e desenvolvimento territorial: a expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, [s. l.], v. 2, n. 13, p. 94–106, 2017.

MACHADO, M. C. G.; CARVALHO, C. H. O legado do Manifesto de 32 à educação brasileira: os desafios persistem. **Educação em questão**, [s. l.], v. 51, n. 37, p. 175–194, 2015.

MAKRIDOU, G. *et al.* Measuring the efficiency of energy-intensive industries across European countries. **Energy policy**, [s. l.], v. 88, p. 573–583, 2016.

MANCIBO, D.; SILVA JUNIOR, J. R.; OLIVEIRA, J. F. Policies, management and the right to higher education: new modes of regulation and trends in construction. **Acta Scientiarum**, [s. l.], v. 40, n. 1, 2018.

MANIFESTO dos pioneiros da educação nova. A reconstrução educacional no Brasil. Ao povo e ao Governo. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1932.

MANLY, B. J. F. **Métodos Estatísticos Multivariados:** uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MARDANI, A.; K. *et al.* A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], 2016.

MATHIOULAKIS, E. *et al.* Energy Labelling and Ecodesign of solar thermal products: Opportunities, challenges and problematic implementation aspects. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 101, p. 728–736, 2017.

MELO, T.; MOURA, D. PNE (2001-2010), PNE (2014-2024): orientações para a Educação Profissional no Brasil. **HOLOS**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 3–15, 2017.

MOLINOS-SENANTE, M.; ENCINAS, F.; URETA, F. Benchmarking the energy performance of office buildings: a data envelopment analysis approach. **Rect@**, [s. l.], v. 16, p. 179–190, 2016.

MORAIS, F. H. M. de; MORAES, A. M. De; BARBOSA, F. R. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America**

Transactions, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 1706–1714, 2019. DOI: 10.1109/TLA.2019.8986449.

MORAIS, F. H. M. de *et al.* Use of energy bills for energy management in Multicamp universities. **Revista Espacios**, [s. l.], v. 38, n. 12, p. 20, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n12/a17v38n12p20.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2020.

MORAIS, F. H. M. de *et al.* Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos Influence of Solar Irradiation in the Analysis of the Economic Viability of Photovoltaic Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], 2021. DOI: 10.1590/0102-7786360049. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786360049>. Acesso em: 8 dez. 2021.

MOREIRA, C. F. N. Political and Economic Disputes over Brazilian Educational Democratization in the 21st Century. **Revista Katálysis**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 447–456, 2019.

MORRIS, J. *et al.* Benchmarking and tracking domestic gas and electricity consumption at the local authority level. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 9, p. 723–743, 2016.

NARDO, M. *et al.* Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. *In*: **Working Paper**. Paris: OCDE, 2008.

NEZ, E. de. Os dilemas da gestão de universidades multicampi no Brasil. **Revista Gestão Universitária na América Latina - GUAL**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 131–153, 2016. DOI: 10.5007/1983-4535.2016v9n2p131. Disponível em: <http://>

dx.doi.org/10.5007/1983-4535.2016v9n2p131. Acesso em: 5 dez. 2020.

NIEDERBERGER, A. A.; CHAMPNISS, G. Flip sides of the same coin? A simple efficiency score versus energy bill savings information to drive consumers to choose more energy-efficient products. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 1657, 2018.

NOGUEIRA, L. A. H. *et al.* Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 24, p. 58–69, 2015.

OLIVEIRA, A. J. *et al.* Programa Reuni nas Instituições de Ensino Superior Federal [IFES] brasileiras: um estudo da eficiência operacional por meio da Análise Envoltória de Dados [DEA] no período de 2006 a 2012. **RACE**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1179–1210, 2014.

OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N. The evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: A technological improvement proposal in order to increase its efficiency. **Renewable & sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 49, p. 836–844, 2015.

OLSTHOORN, M.; SCHLEICH, J.; HIRZEL, S. Adoption of Energy Efficiency Measures for Non-residential Buildings: Technological and Organizational Heterogeneity in the Trade, Commerce and Services Sector. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 136, p. 240–254, 2017.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Environmental indicators Development, Measurement and Use**. Paris.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Members and partners**. 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org/about/members-and-partners/>. Acesso em: 16 dez. 2021.

PEIXINHO, A. M. L. A trajetória do Programa Nacional de Alimentação Escolar no período de 2003-2010: relato do gestor nacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 909-916, 2013.

PEREIRA, L.; CRUZ, J. Os Institutos Federais e o desenvolvimento regional: interface possível. **HOLOS**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 1-18, 2019.

PICANÇO, F. Juventude e acesso ao ensino superior no Brasil: Onde está o alvo das políticas de ação afirmativa. **Latin American Research Review**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 109-131, 2016.

PLANAS, C.; CUERVA, E.; ALAVEDRA, P. Effects of the type of facade on the energy performance of office buildings representative of the city of Barcelona. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 3325, 2018.

POR QUE esperada entrada do Brasil na OCDE ainda não vingou. *In*: G1. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/10/07/por-que-esperada-entrada-do-brasil-na-ocde-ainda-nao-vingou.ghtml>. Acesso em: 16 dez. 2021.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Resultados Procel 2021 - Ano-base 2020**. Rio de Janeiro, 2021.

RAMOS, A.; LABANDEIRA, X.; LÖSCHEL, A. Pro-environmental Households and Energy Efficiency in Spain. **Environmental and Resource Economics**, [s. l.], v. 63, p. 367–393, 2016.

RÊGO, V. R. **100 Fatos de uma escola centenária**. 1. ed. Teresina: IFPI, 2015.

RINGEL, M. *et al.* Towards a green economy in Germany? The role of energy efficiency Policies. **Applied energy**, [s. l.], v. 197, p. 1293–1303, 2016.

ROE, B. E.; TEISL, M. F.; DEANS, C. R. The Economics of Voluntary Versus Mandatory Labels. **Annual Review of Resource Economics**, [s. l.], v. 61, n. 1, p. 407–427, 2014.

ROSINKE, J. G. *et al.* A participação dos Institutos Federais na Interiorização da Educação Superior Presencial no Brasil. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 1, 2020.

ROUSSEAU, P. *et al.* “Eco-tool-seeker”: A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 151, p. 546–577, 2017.

RUIZA, P. A. *et al.* Applying the HVAC systems in an integrated optimization method for residential building’s design. A case study in Spain. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 119, p. 74–84, 2016.

SANTOS, C. M.; SANTOS, A. O. A Implantação do Programa REUNI na UFVJM sob a ótica dos Bacharelados Interdisciplinares e Engenharias. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 8, n. 11, 2019.

SCHIBUOLA, L.; SCARPA, M.; TAMBANI, C. CO2 based ventilation control in energy retrofit: An experimental assessment. **Energy**, [s. l.], v. 143, p. 606–614, 2018.

SEKKIA, T. *et al.* Consideration of energy consumption, energy costs, and space occupancy in Finnish daycare centres and school buildings. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 129, p. 199–206, 2016.

SENNA, A. J. T. *et al.* Determinação do Índice de Risco Ambiental das Instalações de Uma Unidade de uma Instituição Federal Multicampi de Ensino Superior. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 555–565, 2014. DOI: 10.5902/2236117012651.

SILVA, O. A. V. de O. L. da; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T. Análise envoltória de dados para a gestão energética em instituições de ensino superior multicampi. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [s. l.], n. 50, p. 78–96, 2018. DOI: 10.5327/z2176-947820180401.

SILVA, O. A. V. de O. L. da; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T. An analysis of Energy Efficiency in multicampi Higher Education Institutions and a novel Environmental Labeling Proposal. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [s. l.], 2020a.

SILVA, O. A. V. de O. L. da *et al.* Expansion of photovoltaic systems in multicampi higher education institutions : evaluation and guidelines. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 697–709, 2021.

SILVA, O. A. V. de O. L. da *et al.* Gestão do uso da energia elétrica baseada em protocolo internacional: Uma proposta para UFPI, Brasil. **Revista Espacios**, [s. l.], v. 37, n. 11, 2016.

SILVA FILHO, G. M. *et al.* Análise da Eficiência nos Gastos Públicos com Educação Fundamental nos Colégios Militares do Exército em 2014. **Revista Evidenciação Contábil & Finanças**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 50–64, 2016.

SILVA, O. A. V. O. L.; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T. **Etiquetagem Eficiência Energética - IFPI 2019**. 2020b. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/view?hl=pt-BR&mid=1b8DN9sdFzPGQ2kfy8uFMcwIFFeRu0aeQ&ll=-6.176851617351861%2C-42.82775671913722&z=6>. Acesso em: 19 dez. 2021.

SILVA, O. A. V. O. L.; SANTOS, F. F. P.; BARBOSA, F. R. VIABILIDADE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SALAS DE AULA DE UNIVERSIDADES PÚBLICAS: UM ESTUDO DE CASO NA UFPI, BRASIL. **Espacios**, [s. l.], v. 37, n. 10, p. 10, 2016.

SILVA, O. A. V. O. L. *et al.* Etiquetagem de Edificações Comerciais, Públicas e de Serviços: Um retrato da (in)eficácia do programa no Piauí. **Carta CEPRO**, [s. l.], v. 27, p. 43–54, 2015.

SILVA, P. F.; MELO, S. D. G. O trabalho docente nos Institutos Federais no contexto de expansão da educação superior. **Educação e Pesquisa**, [s. l.], v. 44, 2018.

SOUZA, M. S. P. S. Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia como vetores de desenvolvimento no estado do Rio de Janeiro: a perspectiva de gestores de unidades. **Espaço e Economia**, [s. l.], 2019.

SUDIN, E.; NASSLANDER, E.; LELAR, A. Sustainability Indicators for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) in the Transition

to Provide Product-Service Systems (PSS). **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 30, p. 149–154, 2015.

TEIXEIRA, A. Plano nacional de educação. Referente aos fundos nacionais de ensino primário, médio e superior. **Documenta**, [s. l.], n. 8, p. 24–31, 1962.

TREVISOL, J. V. No Title Poor Youth at Public Universities: Access and permanence. **Revista Katálysis**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 22–32, 2016.

WANG, W.; CHEN, J.; HONG, T. Occupancy prediction through machine learning and data fusion of environmental sensing and Wi-Fi sensing in buildings. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 94, p. 233–243, 2018.

WANG, Z. *et al.* Learning urban resilience from a social-economic-ecological system perspective: A case study of Beijing from 1978 to 2015. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 183, p. 343–357, 2018.

WANGA, X. *et al.* Identification of key energy efficiency drivers through global city benchmarking: A data driven approach. **Applied Energy**, [s. l.], v. 190, p. 18–28, 2017.

WANGA, Y. *et al.* Evaluation on energy performance in a low-energy building using new energy conservation index based on monitoring measurement system with sensor network. **Energy and buildings**, [s. l.], v. 123, p. 79–91, 2016.

WONG, I. L.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy**, [s. l.], v. 109, p. 310–323, 2017.

WONG, I. L. *et al.* Energy performance evaluation and comparison of sampled Brazilian bank buildings with the existing and proposed energy rating systems. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 225, p. 110304, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110304.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 158–167, 1994.

ZHAOA, D. *et al.* Interaction effects of building technology and resident behavior on energy consumption in residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 134, p. 223–233, 2017.



MARCOS LIRA

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI); Mestre em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará (UECE); Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e em Física pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Professor do curso de Engenharia Elétrica da UFPI. Professor dos cursos de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPI), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFPI), Mestrado em Ensino de Física (UFPI) e Mestrado em Climatologia (UECE). Membro do Comitê Técnico Científico do Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia.



Neste livro, demonstra-se que a Rotulagem Ambiental é uma estratégia de Gestão Energética, que permite a melhoria contínua do uso da energia. Ao apresentar a Autodeclaração Ambiental como uma nova proposta de etiquetagem, a partir da Desagregação de Faturas de Energia e Indicadores de Produtividade, esta publicação reúne aspectos relevantes da Rotulagem Ambiental e da Eficiência Energética, de modo técnico e científico.

Todo o processo de construção da etiquetagem sugerida é apresentado, destacando-se: a Matriz de Indicadores Ambientais, o Diagnóstico Energético Preliminar, o Indicador de Perdas Gerenciáveis e os Indicadores de Custos Gerenciáveis, além dos Índices, Níveis e Ranking de Eficiência Energética Relativa. São apresentadas, ainda, estratégias para a melhoria destes parâmetros, além da nova proposta de etiquetagem do uso de energia, inspirado no Programa Brasileiro de Etiquetagem e em concordância com as normas técnicas vigentes.

Por meio de uma análise diversa da tradicionalmente adotada na literatura brasileira, o paradigma sistêmico do meio ambiente, com a sua complexidade, intersubjetividade e instabilidade, foi interpretado sob a ótica da energia, visando o melhor uso e gerenciamento da eletricidade. Espera-se, portanto, que a metodologia proposta possa ser utilizada como referência de Benchmarking na Gestão Energética, trazendo benefícios econômicos e socioambientais.

