



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

JOSÉ RAFAEL NASCIMENTO LOPES

MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO
HUMANO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS
CONTROLADOS



SALVADOR
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

JOSÉ RAFAEL NASCIMENTO LOPES

**MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO
HUMANO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS CONTROLADOS**

Salvador
2019

JOSÉ RAFAEL NASCIMENTO LOPES

**MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO
HUMANO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS CONTROLADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid
Prof. Dr. Salvador Ávila Filho
Prof. Dr. Jorge Moya Rodríguez

Salvador
2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

LOPES, JOSÉ RAFAEL NASCIMENTO
MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO HUMANO EM
AMBIENTES INDUSTRIAIS CONTROLADOS / JOSÉ RAFAEL
NASCIMENTO LOPES. -- Salvador, 2019.
117 f. : il

Orientador: Dr. Ricardo de Araújo Kalid.
Coorientador: Salvador Ávila Filho.
Tese - Doutorado - Engenharia Industrial) --
Universidade Federal da Bahia, UFBA, 2019.

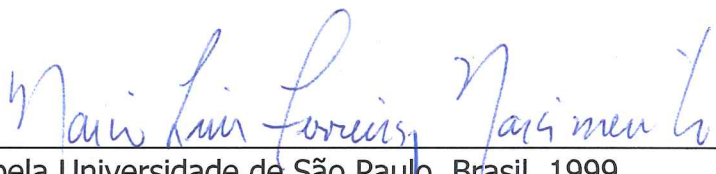
1. eficiência energética; 2. economia de
energia; 3. teoria do comportamento planejado; 4.
modelagem de equações estruturais; 5. desempenho
ambiental. I. Kalid, Dr. Ricardo de Araújo. II.
Ávila Filho, Salvador. III. Título.

MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO HUMANO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS CONTROLADOS

JOSÉ RAFAEL NASCIMENTO LOPES

Tese submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid 
Doutor em Engenharia Química, pela Universidade de São Paulo, Brasil, 1999

Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodriguez 
Doutor em Projeto de Máquina, pela Universidade Central Marta Abreu de las Villas, Cuba, 1994.

Prof. Dr. Salvador Ávila Filho 
Doutor em Engenharia Química, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2010

Prof. Dr. Herman Augusto Lepikson 
Doutor em Engenharia Mecânica pela UFSC, Brasil, 1998

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos 
Doutor em Energia e Ambiente, pela UFBA, Brasil, 2010

Prof.^a Dra. Karla Patricia Santos Oliveira Rodríguez Esquerre 
Doutora em Engenharia Química, pela UNICAMP, Brasil, 2003

Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ribeiro 
Doutor em Engenharia Nuclear (Análise de Segurança), pela UFRJ/COPPE, Brasil. 2013

Salvador, BA - BRASIL
abril/2019

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, pela proteção, orientação e divina luz concedidas que me permitiu iniciar e concluir esse projeto de tese.

A minha esposa e filhos, pois a família é a base da sociedade e da disseminação de bons valores.

Ao meus Orientadores pela compreensão e paciência no processo de execução e conclusão desse projeto.

A representantes das empresas estudadas, pela receptividade e gentileza durante a pesquisa de campo.

Por fim, aos professores e colegas do Doutorado que direta ou indiretamente colaboraram e participaram no decorrer desse trabalho.

RESUMO

Nesse trabalho, é concebido um protocolo de intervenção que possibilita avaliar e influenciar o comportamento humano em ambientes industriais controlados, e se apresenta um novo modelo estrutural das variáveis que preveem o comportamento do indivíduo quanto a adoção de práticas de eficiência energética. No primeiro estudo, o protocolo de intervenção denominado PROMPT foi desenvolvido a partir de um trabalho realizado em uma indústria de fertilizante, cujo método utilizado foi organizado e melhorado por meio da incorporação de temas emergentes como a confiabilidade humana, e de um conjunto de ferramentas de suporte. No segundo estudo, uma pesquisa (*survey*) foi realizada para identificar os fatores que determinam a intenção dos trabalhadores em adotar ações para melhoria da eficiência energética, tendo como base a teoria do comportamento planejado (TCP); os dados coletados foram analisados por meio da modelagem de equações estruturais (MEE), e os resultados mostraram que a atitude e o controle comportamental percebido foram as variáveis latentes que tiveram significância para antever a intenção do indivíduo de agir. A inclusão de novas variáveis - (i) normas pessoais e (ii) fatores modeladores de desempenho - possibilitaram um aumento da qualidade preditiva do comportamento dos trabalhadores. Os resultados desse trabalho de pesquisa evidenciaram a adequação do protocolo quanto a influenciar o comportamento dos trabalhadores e, possibilita supor que o PROMPT pode ser adotado com resultados promissores em outras unidades industriais que tenham intenção de melhorar seu desempenho ambiental e energético.

Palavras Chaves: eficiência energética; economia de energia; teoria do comportamento planejado; modelagem de equações estruturais; desempenho ambiental.

ABSTRACT

This paper presents a framework proposal to evaluate and influence human behavior in controlled industrial environment designed a new structural model with variables that predict individuals' behavior to adopt energy efficiency practices. In the first study, the behavioral intervention framework called PROMPT was developed from a study carried out in a fertilizer industry. The method used was organized and improved through the incorporation of emerging issues such as human reliability, and a set of support tools. In the second study, a survey was carried out to identify the factors that determine the intention of the workers to adopt actions to improve energy efficiency, based on the theory of planned behavior (TCP). A survey gathered the data to assess the model and a structural equation modeling (SEM) was fitted. The results showed that the attitude and the perceived behavioral control were the latent variables that had significance to anticipate the individual's intention to act. The inclusion of new variables - (i) personal norms and (ii) performance shaping factors increased the predictive relevance. The results showed that the behavioral intervention protocol can be used to influence the behavior of the workers. Finally, it can be assumed that the PROMPT can be adopted with promising results in other industrial units to improve environmental and energy performance.

Keywords: energy efficiency; energy saving; theory of planned behavior; structural equations modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Limites planetários.....	20
Figura 2 Consumo Global final de energia (REN 21, 2018).....	21
Figura 3 Fluxo energético.....	22
Figura 4 Fluxo de eletricidade.....	23
Figura 5 Fontes de redução de CO ₂ 2013 – 2050.....	24
Figura 6 Definição da estrutura da Cultura de Energia.....	25
Figura 7 Desempenho energético.....	26
Figura 8 Programa de Gestão de Energia.....	27
Figura 9 Auditoria de Energia.....	29
Figura 10 Interação das variáveis dentro de um sistema sociotécnico.....	33
Figura 11 Classificação de falha humana.....	34
Figura 12 Comparação entre confiabilidade e validade da medida.....	36
Figura 13 Modelo de Comportamento Organizacional.....	39
Figura 14 Teoria do comportamento planejado.....	42
Figura 15 Modelo de ativação da norma.....	44
Figura 16 Teoria do comportamento interpessoal.....	46
Figura 17 Modelo de equações estruturais.....	48
Figura 18 Elementos básico de um diagrama de caminho.....	49
Figura 19 Abordagem formativa e reflexiva.....	51
Figura 20 Guia para avaliação da PLS-MEE.....	53
Figura 21 Representação gráfica dos coeficientes das equações estruturais.....	60
Figura 22 Tela do software G*POWER com o cálculo da amostra mínima do exemplo.....	61
Figura 23 Etapas da pesquisa.....	66
Figura 24 Fluxograma do cálculo das estatísticas.....	69
Figura 25 Elementos influenciadores do desempenho organizacional.....	71
Figura 26 Mapa cognitivo do trabalhador.....	72
Figura 27 Protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT).....	74
Figura 28 Modelo estrutural proposto.....	77
Figura 29 Fluxograma da produção de ureia.....	81
Figura 30 Topologia dos efluentes.....	82
Figura 31 Comparação PROMPT x método aplicado.....	84
Figura 32 Concentração de nitrogênio amoniacal.....	86
Figura 33 Modelo completo (Módulo Estrutural e Mensuração).....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Barreiras à eficiência energética.....	31
Quadro 2 Considerações teóricas para avaliar modelos reflexivos e formativos:.....	51
Quadro 3 Temas e Literatura do questionário de pesquisa.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação dos valores de R^2 para análise comportamental	57
Tabela 2 Classificação dos valores do efeito f^2	58
Tabela 3 Tamanho de amostra sugerido para uma PLS-MEE.....	60
Tabela 4 - Características demográficas dos participantes	87
Tabela 5 - Resultados do teste do modelo de mensuração	88
Tabela 6 - Validade Discriminante (critério de Fornell and Lacker)	89
Tabela 7 - Resultados do modelo estrutural	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas

ACH - Avaliação de Confiabilidade Humana

AMEE – Ações para Melhoria da Eficiência Energética

ARC - Análise de Antecedentes Rotina e Recompensas

CCP - Controle Comportamental Percebido

CPA - Comportamento Pró-Ambiental

EFH/E - Engenharia de Fatores Humanos/Ergonomia

ESC - Engenharia de Sistemas Cognitivos

ESCO - *Energy Services Company*

FMD - Fatores de Modeladores do Desempenho

GEE - Gases do Efeito Estufa

IHM - Interface Homem-Máquina

MAN - Modelo de Ativação de Normas

MEE - Modelagem de Equações Estruturais

PEH - Probabilidade de Erro Humano

PROMPT - Protocolo para Melhoria da Performance do Trabalhador

RPI - Razões para as Pessoas se Importarem

SGE - Sistema de Gestão de Energia

TAR - Teoria da Ação Racional

TCI - Teoria do Comportamento Interpessoal

TCP - Teoria do Comportamento Planejado

TCP - Teoria do Comportamento Planejado

VL - Variáveis Latentes

VME - Variância Média Extraída

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 O contexto e a justificativa da pesquisa	13
1.2 Objetivo Principal.....	18
1.3 Objetivos específicos	18
1.4 Estrutura da tese.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Cenário ambiental e energético	20
2.2 Gestão de energia	25
2.3 Auditoria de energia	28
2.4 Barreiras para eficiência energética	30
2.5 Abordagem sociotécnica.....	32
2.6 Confiabilidade humana	33
2.7 Erro de medição	36
2.8 Comportamento organizacional	38
2.9 Considerações finais	40
3 TEORIAS DO COMPORTAMENTO E MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS.....	41
3.1 A teoria do comportamento planejado	41
3.2 Modelo de ativação da norma.....	44
3.3 Teoria do comportamento interpessoal (TCI)	45
3.4 Modelagem de equações estruturais.	46
3.4.1 Submodelos de mensuração e estrutural	48
3.4.2 Abordagem formativa e reflexiva	50
3.4.3 Critérios de verificação da modelagem	52
3.4.4 Verificação do submodelo de mensuração	53
3.4.5 Verificação do submodelo estrutural	57
3.4.6 Equações dos submodelos estrutural e de mensuração.....	59
3.5 Determinação do tamanho da amostra em PLS-MEE.....	60
3.6 Considerações finais	62
4 MÉTODO DE PESQUISA	63
4.1 Classificação da pesquisa	63
4.2 Etapas da pesquisa.....	64

4.3	Descrição da amostra	66
4.4	Conteúdo e projeto do questionário de pesquisa	67
4.5	Fluxograma de cálculo das estatísticas	69
5 DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO CONCEITUAL SOCIOTÉCNICO		70
5.1	Protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT)	70
5.2	Novo modelo estrutural das variáveis que influenciam o comportamento	77
5.3	Considerações finais	80
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS		81
6.1	Proposição do protocolo para melhoria da performance do trabalhador.....	81
6.2	Modelagem das variáveis que influenciam o comportamento.....	86
6.3	Teste do submodelo de mensuração	87
6.4	Teste do submodelo estrutural	90
6.5	Discussão.....	92
6.5.1	Protocolo para melhoria da performance do trabalhador.....	92
6.5.2	Modelagem das variáveis influenciadoras do comportamento.....	94
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA		98
7.1	Conclusões	98
7.2	Limitações e estudos futuros.....	100
REFERÊNCIAS		101
APÊNDICE A Questionário		113
APÊNDICE B Respostas do Questionário		115
APÊNDICE C Produção científica decorrente da tese		117

1 INTRODUÇÃO

Essa introdução apresenta a proposta do trabalho sintetizada em 4 partes fundamentais, a contextualização do problema e a justificativa da pesquisa, o objetivo principal, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho, onde é apresentada uma síntese sobre cada um dos capítulos da tese.

1.1 O contexto e a justificativa da pesquisa

Compreender aspectos do comportamento organizacional, definido por Robbins e Judge (2013) como a disciplina que estuda a conduta do indivíduo no ambiente de trabalho, é fundamental para identificar os fatores que influenciam as pessoas na adoção de novos procedimentos. De acordo com Griffin e Moorhead (2011) existe um contrato psicológico que governa as relações básicas entre os trabalhadores e as organizações. Os indivíduos oferecem o esforço e a lealdade, enquanto as empresas retribuem com o salário e a segurança. Os autores ainda sinalizam que o desempenho do trabalhador depende de fatores como a habilidade, o ambiente organizacional e a motivação. O primeiro e o segundo fatores são mensuráveis e o último é intangível, porém, existe uma quantidade razoável de teorias sobre motivação tais como a hierarquia de necessidades de Maslow e a teoria da expectativa (LUTHANS, 2015).

A teoria da expectativa sugere que as pessoas são motivadas pela intensidade que desejam algo e pela probabilidade de o conseguir. Fogg (2009) também concorda que um comportamento a ser estabelecido necessita da motivação e da habilidade, no entanto, existe outro fator-chave do ambiente que ele chamou de gatilho. O autor ainda relacionou subcomponentes de cada um dos fatores visando facilitar as ações para mudança comportamental.

Devido à dificuldade de mensuração, pesquisadores têm sugerido estimar a atitude do indivíduo como forma indireta de sinalizar o grau de motivação no emprego. A atitude é uma declaração avaliativa sobre objetos, pessoas ou eventos (ROBBINS E JUDGE, 2013). Quando uma empresa avalia o grau de satisfação (atitude dos funcionários que interessam aos líderes), ou realiza uma avaliação global do clima organizacional, é possível deduzir a motivação. Estudiosos do assunto classificam a atitude como um fator gerador da intenção de agir, e indicam que ter a intenção é fundamental para iniciar um comportamento. É importante para as organizações averiguar como está a intenção dos funcionários em realizar um determinado

comportamento, e uma das abordagens mais utilizadas para sua previsão é a **teoria do comportamento planejado** (TCP). Ajzen (1985), que propôs essa teoria, concluiu que a atitude em relação ao comportamento, a norma subjetiva e o controle comportamental percebido levam à formação da intenção de agir.

Empresas sempre estão enfrentando mudanças do mercado, e a atualização tecnológica é uma frequente necessidade, o que também pode causar transformações na atitude dos indivíduos. A fim de compreender as dificuldades organizacionais para lidar com essas questões, a abordagem sociotécnica teve um grande significado estratégico no estudo das companhias como um sistema aberto com trocas internas e externas de informações. As preocupações energéticas exigem que os empreendimentos melhorem suas tecnologias e, conseqüentemente, as interações organizacionais. De acordo com Trist et al.(2013), empresas são formadas pelo sistema social (pessoas e estrutura organizacional) e pelo sistema técnico, (tecnologia e tarefas), e qualquer variação em um sistema afetará o outro. O autor destaca ainda que o sistema sociotécnico é influenciado pelo ambiente em que a empresa está incorporada, como a cultura regional, valores, acordos, necessidades dos clientes etc. Esse fato poderia explicar por que uma solução tecnológica tem bons resultados em um país ou região e não em outros.

Soluções visando a redução do consumo de recursos naturais, e a diminuição dos impactos ambientais têm sido uma temática recorrente de muitos estudos. Governos e organizações estão se esforçando para identificar meios eficazes para aumentar o desempenho ambiental e energético nos processos produtivos. Nesse sentido, novas técnicas e tecnologias são as alternativas mais comuns empregadas nas indústrias, contudo, não se tem avaliado a influência do comportamento humano na implementação dos projetos.

O uso de fontes renováveis e as **ações para melhoria da eficiência energética** (AMEE) são soluções promissoras para manter o crescimento econômico em equilíbrio com o meio ambiente, e as indústrias intensivas no consumo de energia têm procurado formas de incorporá-las na gestão energética. No entanto, os resultados ainda estão aquém do potencial de economia que se poderia obter no setor industrial.

O desconhecimento sobre os requisitos da gestão energética dificulta o estabelecimento de prioridades nas operações diárias das empresas (THOLLANDER et al., 2015; TRIANNI et al., 2016). Apesar dos gerentes comumente concordarem quanto a importância, as AMEE não são destacadas como uma forma de melhoria da competitividade, redução de custos e diminuição dos possíveis danos à imagem da companhia. Como os requisitos necessitam ser desdobrados em um plano de ação, o custo elevado de algumas AMEE

pode inibir sua aplicação, principalmente quando apenas as questões financeiras são analisadas. Desse modo, subsídios ou empréstimos a juros baixos poderiam acelerar o emprego da gestão energética (SWEENEY et al., 2013). Acordos voluntários com apoio técnico e financeiro para implantação de AMEE no setor industrial são frequentemente promovidos na UE, EUA, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Japão, Coreia do Sul e Formosa (PARAMONOVA; THOLLANDER; OTTOSSON, 2015).

A auditoria energética é mencionada em várias pesquisas como suporte metodológico às empresas para a implantação de AMEE (BLOMQVIST; THOLLANDER, 2015; CHIARONI et al., 2017; BACKMAN, 2017), do mesmo modo que a implementação e manutenção de um **sistema de gerenciamento de energia** (SGE). Esses métodos podem ajudar a mapear o fluxo de energia em um processo com o objetivo de melhorar seu desempenho. Um SGE baseado nos critérios da ISO 50001 reflete o ciclo PDCA, e possibilita o estabelecimento de metas de longo prazo, políticas de energia, infraestrutura organizacional, avaliações, monitoramento contínuo de desempenho e do atendimento aos requisitos legais (CHIU; LO; TSAI, 2012).

Segundo o IEA (2017), AMEE podem evitar a emissão de **gases do efeito estufa** (GEE) em 30% nos diversos setores da economia, e o setor industrial poderia ser responsável com 20% na redução por meio da implementação de medidas técnicas e tecnológicas. No entanto, pesquisadores são desafiados a explicar por que uma parcela significativa do potencial de melhoria proporcionado pelos métodos, processos e tecnologias existentes para reduzir as perdas de energia permanece inexplorada, apesar do compromisso das empresas em melhorar o desempenho através do investimento em tecnologia. No que diz respeito à gestão de energia, a diferença entre o desempenho energético praticado e o que teoricamente poderia ser alcançado pela implementação de tecnologias e práticas organizacionais é chamado de lacuna ou *gap* de eficiência energética (HIRST; BROWN, 1990; SORRELL et al., 2000; CAGNO; TRIANNI, 2014; HÄCKEL; PFOSSER; TRÄNKLER, 2017). Uma das formas utilizadas visando explicar a discrepância entre o nível possível e o alcançado de economia de energia em um SGE é o modelo de barreira para a eficiência energética.

Uma barreira pode ser definida como um mecanismo que inibe uma decisão que parece ser eficiente e econômica (SORRELL; MALLETT; NYE, 2011). Vários autores categorizam as barreiras como estruturais, econômicas, organizacionais e comportamentais, enquanto outros associam as barreiras ao sistema sociotécnico (HIRST; BROWN, 1990; SORRELL et al., 2000). Segundo Trist et al. (2013) uma empresa é um sistema complexo, no qual o sistema técnico (tecnologias e procedimentos) interage com o sistema social (organização e

características dos trabalhadores) visando fornecer o melhor desempenho para a companhia. Todavia, em estudos sobre eficiência energética, Thollander et al. (2010), afirmaram que o regime sociotécnico, é mais fortemente influenciado por fatores humanos como, por exemplo, o comportamento do indivíduo, do que por questões tecnológicas.

A maioria das pesquisas na área de eficiência energética versa sobre questões tecnológicas ou sobre a identificação e categorização das barreiras que impedem a adoção das medidas avaliadas tecnicamente e financeiramente como favoráveis. Estudos do regime sociotécnico para a adoção de AMEE no setor industrial são escassos, visto que o foco principal das pesquisas se concentra no agregado familiar (FORNARA et al., 2016; FREDERIKS; STENNER; HOBMAN, 2015; KEE; JUN; HASLAM, 2017; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA; GARCÍA-VALIÑAS; NAUGES, 2014;). Ademais, os resultados sobre intervenções na mudança comportamental têm sido ineficazes devido à questões metodológicas, (LOPES; ANTUNES; MARTINS, 2012).

Os planos de implantação de AMEE são quase exclusivamente baseados em aspectos técnicos. No setor industrial, as medidas organizacionais também têm grande potencial quando combinadas com práticas internas de gerenciamento de energia (THOLLANDER; PALM, 2015). Contudo, a compreensão de como as práticas internas são internalizadas pelas pessoas nas organizações é insuficiente.

Um estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO, 2018), mostrou que a indústria no Brasil tem grande potencial de gerar riqueza na economia, apesar de ser o setor que mais desperdiça recursos energéticos. Atualmente, existem muitas oportunidades para AMEE que podem reduzir os impactos ambientais e os custos de produção.

O autor desta tese realizou uma pesquisa referente aos artigos técnicos publicados em *journals* nos últimos 5 anos usando como palavras-chaves: eficiência energética e comportamento. Verificou-se um aumento crescente do interesse sobre o assunto, porém, as investigações se concentram principalmente no comportamento para economia de energia das famílias. Estudos desse tema no ambiente de trabalho são escassos, mesma afirmativa sinalizada por Boomsma et al. (2016).

Os comportamentos pró-ambientais são distintos quando o indivíduo está no lar ou no local de trabalho (MURTAGH et al., 2013). Gao et al. (2017) relatam que o indivíduo precisa arcar pelos custos do consumo de energia na residência, enquanto no local de trabalho não é de sua responsabilidade.

Prindle e Finlinson (2011) apontaram que pessoas em uma organização, por vezes, não têm incentivos para reduzir o gasto em energia, nem informações sobre como uma mudança comportamental individual poderia afetar o consumo energético da empresa. Carrico e Riemer (2011) acrescentam que os trabalhadores podem julgar que o problema de energia está além de suas responsabilidades, conseqüentemente se sentem menos inclinados para se engajar em ações de eficiência energética.

Pela experiência do autor em participar de processos de recrutamento e seleção de profissionais, verificou-se que economizar insumos energéticos não é uma tarefa obrigatória atribuída ao trabalhador, ou exigida como requisito na avaliação de desempenho. Observa-se que sem efetivo empenho dos indivíduos de todos setores da empresa, qualquer projeto de melhoria organizacional quanto à segurança, qualidade, meio ambiente ou energia poderá não obter êxito. Portanto, normalmente, as pessoas no trabalho não estão engajadas em exercer atividades que reduzam o consumo de energia, mesmo que seja estratégico para empresa.

De uma maneira geral, as pessoas no trabalho não estão engajadas em exercer atividades que reduzam o consumo de energia, mesmo que seja estratégico para empresa. Essa constatação motivou a realização dessa pesquisa, pautada na investigação de variáveis que influenciam a disposição dos indivíduos em adotar práticas de eficiência energética no ambiente organizacional, e que possam resultar em taxa menores de emissão de carbono e em economia de recursos naturais.

A possibilidade de trabalhar com tema complexo e com muitas variáveis, gerou a necessidade de delimitar o escopo do estudo e a utilização de procedimentos estatísticos mais robustos. Melhores dispositivos computacionais aumentaram o processamento de grandes quantidades de dados e tornou possível o uso de técnicas avançadas de análise multivariada como a **Modelagem de Equações Estruturais** (MEE). Como resultado das constatações descritas nesse item, chegou-se a seguinte hipótese da pesquisa:

- O desempenho ambiental e energético na indústria pode ser melhorado quando se influencia o comportamento dos trabalhadores com base em variáveis que possibilitem prever sua conduta.

1.2 Objetivo Principal

Desenvolver um protocolo que possibilite influenciar o comportamento dos trabalhadores para melhorar o desempenho ambiental e energético, tendo como base um novo modelo estrutural das variáveis determinantes da conduta dos indivíduos em um ambiente industrial.

1.3 Objetivos específicos

- a) Analisar a adequação do protocolo de intervenção concebido com base nos processos cognitivos e nos elementos do sistema sociotécnico e propor sugestões de melhoria.
- b) Identificar as variáveis determinantes da conduta do trabalhador na aplicação de medidas que aumentem a eficiência energética.
- c) Desenvolver modelagem de equações estruturais das variáveis preditivas da performance a partir da teoria do comportamento planejado, do modelo de ativação de normas pessoais e da confiabilidade humana.

1.4 Estrutura da tese

Esta tese está dividida em sete capítulos, sendo que este é o capítulo introdutório, no qual se justifica a pesquisa, contextualiza-se o tema, além de apresentar os seus objetivos, e a estrutura dos capítulos subsequentes.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica onde é apresentado o cenário ambiental, práticas para efetivar a eficiência energética e as barreiras de implementação. Além disso, é analisado os aspectos da confiabilidade humana e como esses influenciam o comportamento organizacional.

O terceiro capítulo abordam-se teorias de previsão do comportamento humano, suas características, aplicabilidade, dimensões e como pode-se utilizar essas teorias por meio de modelagem de equações estruturais por organizações em geral.

A metodologia empregada é abordada no quarto capítulo, no qual a descrição e escolha dos instrumentos utilizados são apresentados e justificados.

O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento de um modelo para identificar as variáveis determinantes que influenciam o comportamento do trabalhador na aplicação de medidas que elevem a eficiência energética e da proposta conceitual sociotécnica de intervenção que possibilite o aumento do engajamento dos trabalhadores.

A discussão e os resultados da pesquisa à luz do referencial teórico e bibliográfico pesquisado são apresentados no sexto capítulo.

No sétimo capítulo se expõe as conclusões oriundas da pesquisa, limitações e propostas para estudos futuros.

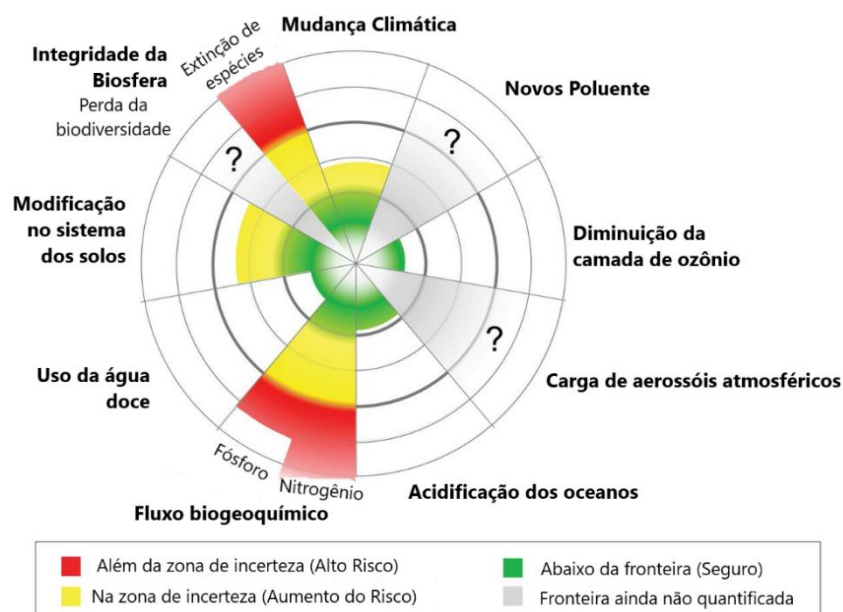
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta uma contextualização estendida do problema abordado nessa tese. É apresentado o cenário ambiental e energético, meios adotados para melhorar o desempenho energético das empresas e as barreiras quanto à eficiência energética. As barreiras comportamentais geralmente não são abordadas nos projetos de redução do consumo de energia, assim é feita uma discussão sobre a abordagem sociotécnica, confiabilidade humana e comportamento organizacional para subsidiar a consecução do objetivo dessa pesquisa.

2.1 Cenário ambiental e energético

A elevação da pressão antropogênica sobre a biodiversidade e serviços ecossistêmicos causa mudanças no meio ambiente que podem ser irreversíveis. De acordo com o conceito de limites planetários, conforme é apresentado na Figura 1, a humanidade já transgrediu quatro fronteiras: mudanças climáticas, integridade da biosfera (perda de biodiversidade e extinção de espécies), modificação no sistema de solos e nos fluxos biogeoquímicos - ciclos de nitrogênio e fósforo (STEFFEN et al., 2015). Limites planetários é um conceito proposto por um grupo de cientistas liderado por Johan Rockström do Stockholm Resilience Centre e Will Steffen da Australian National University. O objetivo não é ditar como a sociedade deve se desenvolver, mas ajudar na tomada de decisão para definir uma escala operacional segura para as atividades antrópicas.

Figura 1: Limites planetários



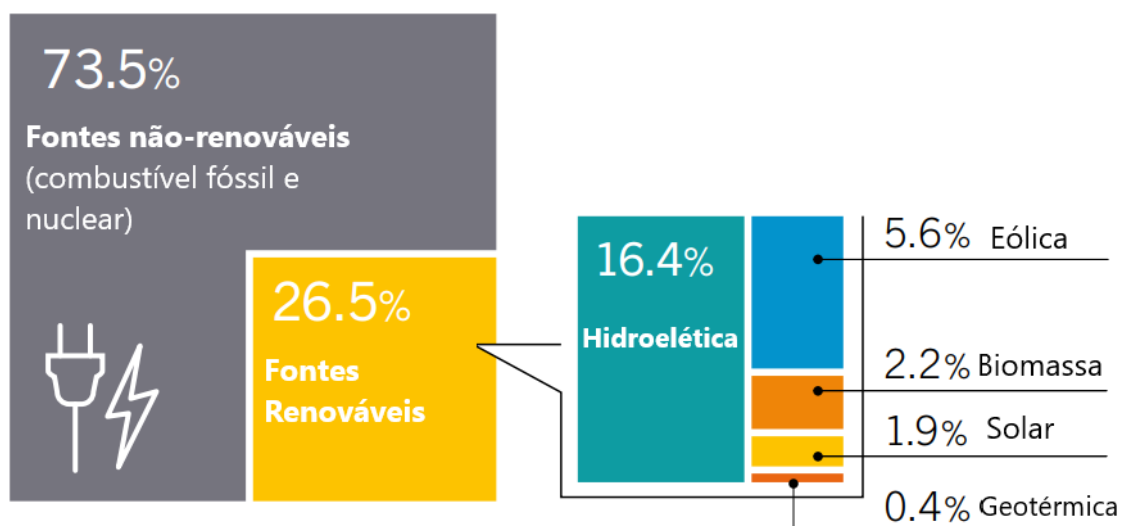
Fonte: <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>

Além dos limites planetários citados, também fazem parte do diagrama a diminuição da camada de ozônio, a acidificação dos oceanos, o uso de água doce, a carga de aerossóis atmosféricos (partículas microscópicas em suspensão que afetam o clima e organismos vivos) e a introdução de novos elementos (poluentes orgânicos, materiais radioativos, nanomateriais e microplásticos). Uma vez que certos limites tenham sido ultrapassados, há risco de mudança ambiental abrupta e irreversível.

Há quase um consenso na comunidade acadêmica que uma grande quantidade de **gases de efeito estufa** (GEE) precisa ser cortada para evitar um aumento de 2 a 3 °C na temperatura e, conseqüentemente, reduzir os resultados catastróficos do aquecimento global. Quanto às fontes de produção de energia, verifica-se que são baseadas principalmente na queima de combustíveis fósseis, que aumentam a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. Há uma necessidade latente de elevar o investimento visando mudar as fontes de energia para combustíveis alternativos (biodiesel, hidrogênio) e energia renovável (biomassa, eólica, solar, geotérmica etc.). Porém, para essas alternativas a tecnologia existente para gerar a quantidade de energia necessária ainda não está disponível em termos de escala e estabilidade, o que requer mais investimentos para a pesquisa básica e desenvolvimento (LOMBORG, 2009).

Segundo informações divulgadas pela *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21, 2018) 73,5 % da energia consumida no planeta tem como fonte os combustíveis fósseis e nuclear e 26,5 % de fontes renováveis, conforme Figura 2. O panorama indica o longo percurso que será necessário ser trilhado pelas fontes de energia renovável para alcançar de 50 % a 90 % da matriz energética mundial, conforme cenários positivos estimados pela Agência Internacional de Energia.

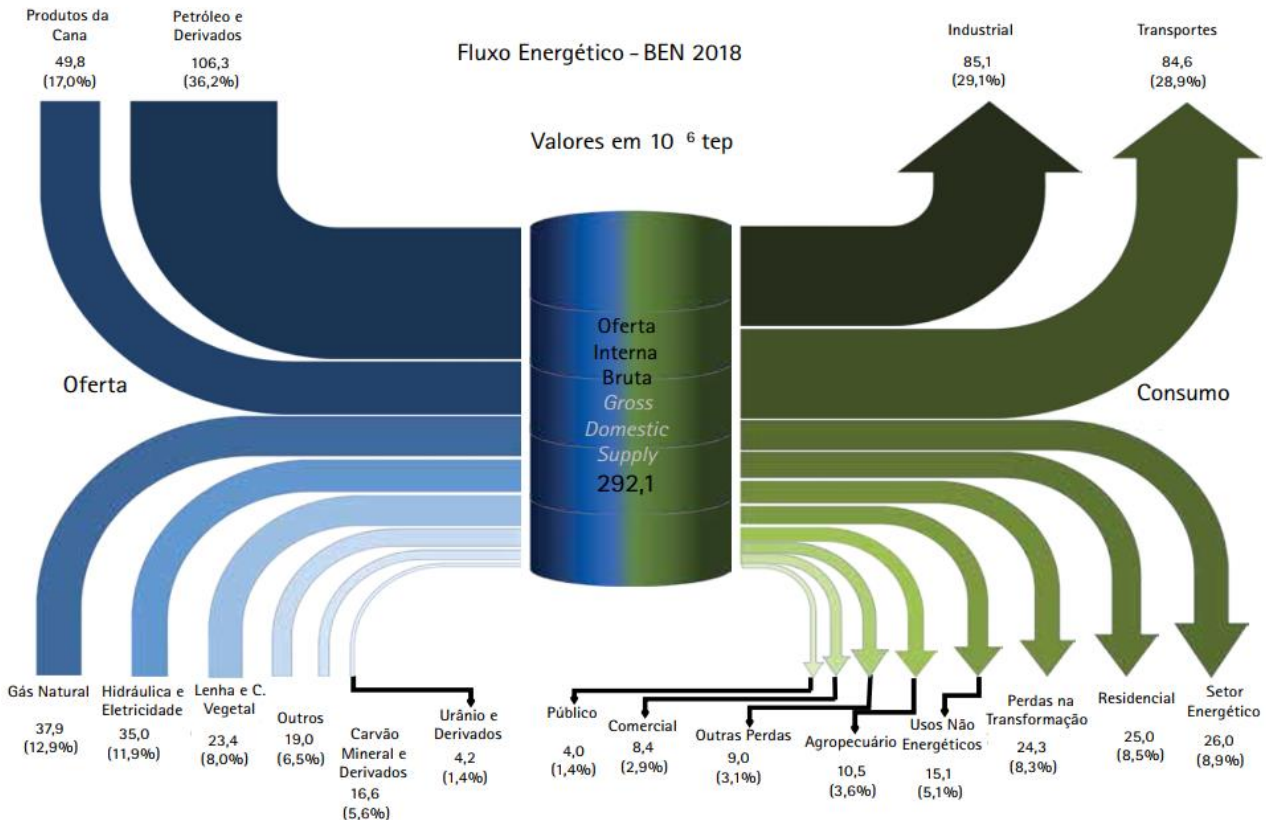
Figura 2 Consumo Global final de energia (REN 21, 2018)



Fonte: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

Ao ser verificada a situação do Brasil por meio da análise do fluxo energético apresentado na Figura 3, nota-se que o país possui 44,2 % de sua produção proveniente de fontes renováveis, sendo hidráulicas com 12,6 pontos percentuais, produtos da cana com 17,5 pontos percentuais, carvão vegetal com 8,0 pontos percentuais, as energias eólica e solar que somadas representam 6,1 pontos percentuais. Isso torna a matriz energética brasileira uma das mais renováveis dentre os países industrializados. Espera-se que nos próximos anos a participação das fontes eólica e solar aumente substancialmente devido à: (i) leilões de geração e transmissão de energia promovidos pelo governo para os projetos de implantação dos parques; (ii) mudanças na legislação para facilitar a autoprodução de energia renovável; (iii) programas de incentivos governamentais como o PROINFRA - programa de incentivo às fontes alternativas renováveis e, (iv) linhas de créditos para financiamento pelo BNDES.

Figura 3 Fluxo energético



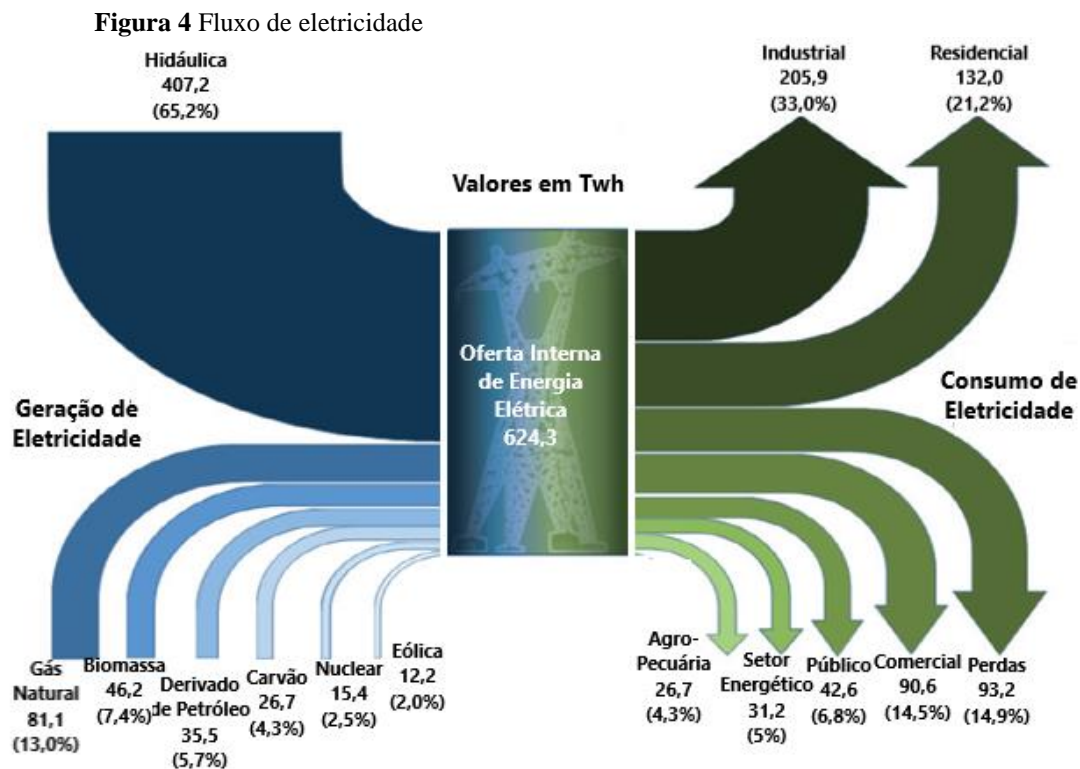
Fonte: <https://ben.epe.gov.br/>

No que tange ao fluxo de eletricidade, conforme apresentado na Figura 4, as usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 65 % da energia elétrica do País. Segundo a EPE – Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), em 2030 o consumo de energia elétrica no Brasil irá superar 1 000 TWh, e há um potencial de 60 % da geração hidrelétrica a ser explorado, concentrado na bacia Amazônica em área ocupada por reservas florestais,

parques nacionais e terras indígenas. A exploração desse potencial demandará estudos especiais acerca da sustentabilidade ambiental.

A alteração do regime de chuvas e o desmatamento das matas ciliares nas margens dos rios têm reduzido o volume armazenado de água nos reservatórios das usinas hidroelétricas, gerando restrições à geração de eletricidade. Adicionalmente, estudos realizados pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, alertam para a possibilidade de redução substancial da pluviosidade nas regiões Centro-Oeste e partes do Norte/Nordeste, e diminuição de até 30 % da vazão dos rios nessas regiões nos próximos 15 anos (ANGELO e FEITOSA, 2015).

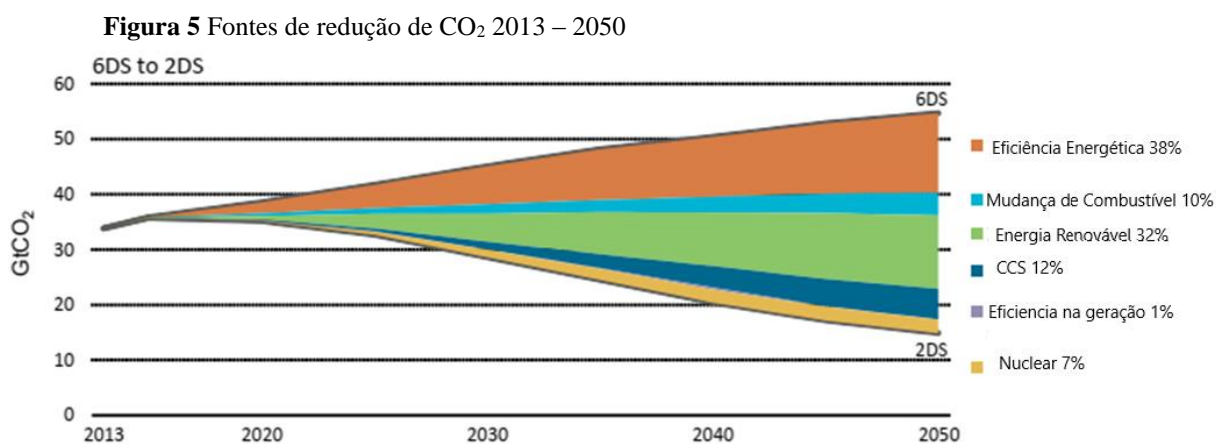
Atualmente, são acionadas com frequência usinas termoeletricas movidas a óleo diesel para reduzir o risco de ocorrência de apagões no país. Entretanto, o uso dessas fontes de geração majora o custo de produção de eletricidade, além de aumentar os impactos ambientais.



Fonte: <https://ben.epe.gov.br/>

Agência Internacional de Energia (IEA) divulga anualmente estudos com vistas à redução de CO₂ e analisa medidas técnicas e tecnológicas a serem alocadas nos setores que são consumidores finais de energia. Verifica-se na Figura 5 que as ações de eficiência energética podem favorecer uma diminuição de até 38 % das emissões. O maior percentual dentre as alternativas listadas pela IEA como a tecnologia de Captura e Armazenamento de Carbono

(CCS), uso de energia renovável e energia nuclear. Essa informação conduz ao entendimento de que ações de eficiência energética tem um papel fundamental para alcançar as metas de reduções de emissões necessárias até 2050 (IEA, 2017), e proporcionar o desenvolvimento sustentável.



Fonte: IEA, (2017)

É papel do governo realizar diagnósticos e análises que norteiam as diretrizes da política energética de um país, visando a prestação eficiente do serviço público de fornecimento de energia. A aplicação de ações de economia pelas empresas, família e o próprio governo é considerada no planejamento energético estatal, no entanto, o *gap* de eficiência energética relativo à implementação de tecnologias e práticas organizacionais muitas vezes não é ponderado. Esse *gap* se refere ao desempenho energético praticado e o que teoricamente poderia ser alcançado (TRIANNI; CAGNO; FARNÉ, 2016).

Um estudo realizado por Petrick, Rehdanz e Wagner (2011) conclui que os maiores consumidores tendem a utilizar a energia de forma menos eficiente quando se correlaciona o consumo e a intensidade energética. Verifica-se também que a falta de padronização das tarefas operacionais pode proporcionar grandes perdas em caso de ocorrência de erro humano em atividades específicas, como, por exemplo, uma manutenção malfeita num forno.

A ampla gama de tecnologias potenciais para reduzir as emissões de GEE, apresentam dificuldades para serem desenvolvidas e precisam de um longo prazo para apresentar resultados. Portanto, ações para melhoria da eficiência energética são fundamentais para fornecer uma solução a curto e médio prazo, e um sistema de gestão energética eficaz poderia ajudar a identificar oportunidades e implementar as ações necessárias para economia de energia (WORRELL, 2011).

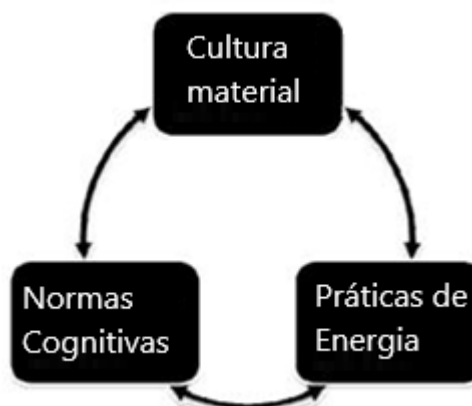
2.2 Gestão de energia

A implementação de um sistema de gestão energética eficaz advém de uma mudança cultural e comportamental. Nesse sentido, uma proposta de caracterização de cultura de energia é mostrada na Figura 6. Segundo Stephenson et al. (2011) a cultura de energia, bem como o comportamento dos consumidores, deve ser investigado e compreendido no sentido de facilitar a definição das estratégias de melhoria. As interações entre normas cognitivas (crenças, valores, motivações), a cultura material (tecnologia, instalações, equipamentos) e práticas de energia (atividades, procedimentos, processos) devem ser estudadas criteriosamente (STEPHENSON et al., 2010).

De acordo com Stragier, Hauttekeete e Maez (2011), em estudo realizado sobre o consumo de energia das famílias, a mudança comportamental é significativa durante a implementação de práticas para redução do consumo quando é apoiada pelo uso de dispositivos de medição inteligentes, todavia o investimento tecnológico deve proporcionar uma taxa de retorno atrativa.

Em relação à cultura material, ou seja, a tecnologia, instalações e equipamentos disponíveis, é possível, no setor industrial, identificar grandes oportunidades de melhoria por meio da elaboração do balanço de energia ou da análise exergética de sistemas de aquecimento e resfriamento. Segundo Avila (2014), a discussão sobre oportunidades para melhorar a eficiência da transferência de calor nas plantas industriais pode indicar a necessidade de revisar critérios de projeto e de montagem, além de possibilitar a alteração dos procedimentos operacionais. O autor destaca a *Pinch Analyse* como uma das técnicas utilizadas para análise e minimização do uso de energia.

Figura 6 Definição da estrutura da Cultura de Energia



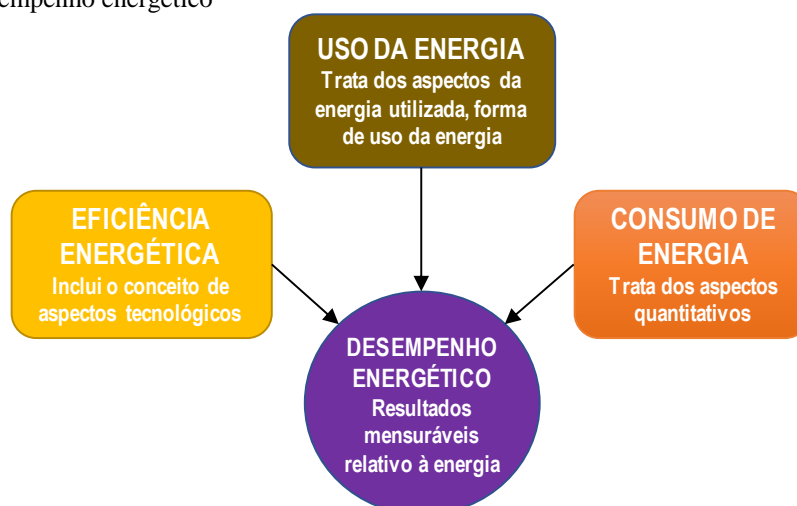
Fonte: Adaptado de Stephenson et al., (2011)

Pinch Analyse é um método que consiste em uma análise termodinâmica dos fluxos que permutam calor em uma planta industrial, para alcançar a melhor recuperação energética do processo. As correntes quentes e frias são estudadas para possibilitar o rearranjo dos dispositivos de troca térmica. Esse método tem um uso importante em indústrias intensivas em energia. Svensson e Harvey (2011) apresentam um estudo em uma indústria de celulose e papel cujo potencial para aplicações de eficiência energética foi calculada em 18,5 MW. O ganho representou 12 % da demanda de vapor.

Com referência às práticas gerenciais para economia de energia, pode-se mencionar a norma EN 16001 publicada pela União Europeia com a intenção de orientar a implantação de um **sistema de gestão de energia** (SGE). Tendo como base os requisitos da norma europeia, a norma internacional ISO 50001 foi publicada em 2011. Essas normas especificam os requisitos gerais para um SGE que permite a identificação de áreas de consumo de energia significativo com o objetivo de melhorar o desempenho energético.

O desempenho energético é pautado por resultados mensuráveis relativos a três pontos específicos conforme representado na Figura 7: (i) uso da energia (aspecto qualitativo do desempenho energético, caracteriza como a energia é consumida); (ii) consumo da energia (aspecto quantitativo, indica a quantidade de energia aplicada); e (iii) eficiência energética (inclui o aspecto tecnológico do desempenho energético e reflete o balanço entre os recursos energéticos despendidos e os resultados obtidos num determinado processo) (ISO 50001, 2011).

Figura 7 Desempenho energético



Fonte: o autor

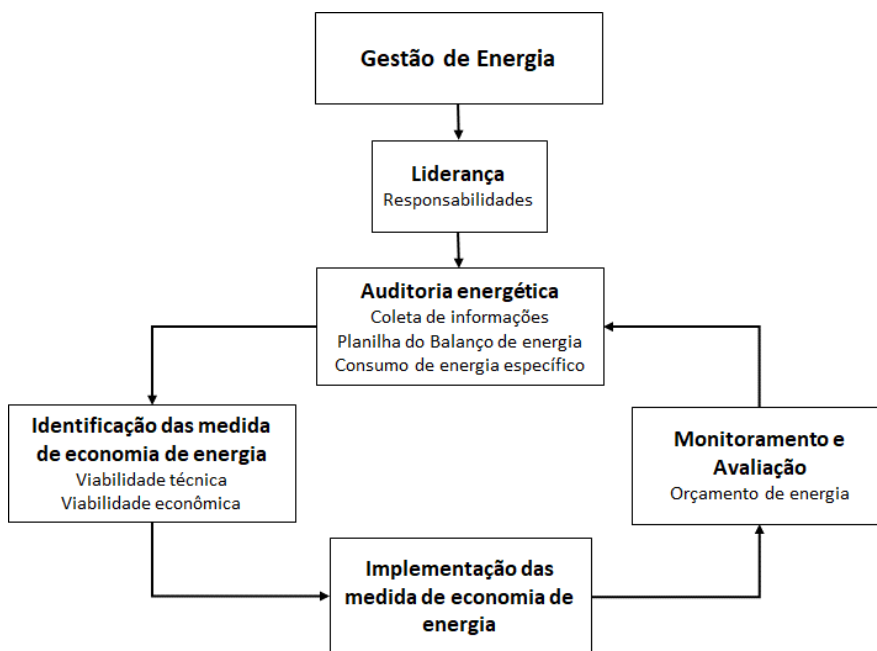
Mckane, (2010) afirma que a indústria intensiva de energia utiliza sistemas complexos, constituídos de equipamentos, dispositivos supervisórios e sua interface com o operador, os quais são organizados para atender as necessidades de produção da empresa. Essa

complexidade influencia o custo de implementar e manter um sistema de gestão. Por outro lado, Hrustic et al. (2011) realizaram um estudo inspirado na norma EN 16001 de gestão de energia e propuseram um modelo simplificado para implantação gradativa do SGE em empresas de pequeno porte visando permitir o aumento no nível de eficiência energética. Portanto, é possível a elaboração de sistemas apropriados para empresas menores que possibilite organizar a gestão de energia com base na EN 16001 ou ISO 50001.

De acordo com Thollander e Palm, (2012) a gestão de energia pode ser definida como os procedimentos pelos quais a empresa trabalha estrategicamente a energia, enquanto o SGE é a ferramenta que implementa esses procedimentos. Os autores também sinalizam que os dois termos são usados de forma intercambiável, devido ao fato de os modelos utilizados serem fundamentados no ciclo do PDCA.

ilustra um arranjo de um programa de gestão de energia. Desde o início do projeto, é essencial um forte compromisso por parte do gerente sênior para conduzir uma mudança cultural e comportamental.

Figura 8 Programa de Gestão de Energia



Fonte: adaptado de (KANNAN; BOIE, 2003)

Uma vez que a decisão de implementar um programa de gestão de energia foi tomada, realizar uma auditoria é a próxima etapa. A auditoria energética desempenha um papel importante na identificação de potenciais oportunidades de economia de energia. As áreas de alto consumo são assinaladas para análise das AMEE exequíveis com base na viabilidade técnica e econômica. Quando as ações são planejadas e detalhadas, a fase de implementação é

o próximo passo. Um fator crítico para o sucesso dessa etapa é o envolvimento dos trabalhadores. Finalmente, um período de acompanhamento é necessário para avaliar o sucesso ou fracasso das ações implementadas e para verificar se o valor das economias esperadas foi alcançado. A avaliação é facilitada quando a auditoria de energia é um processo cíclico (KANNAN; BOIE, 2003).

De acordo com Thollander e Palm, (2012) a gestão de energia pode ser definida como os procedimentos pelos quais a empresa trabalha estrategicamente a energia, enquanto o SGE é a ferramenta que implementa esses procedimentos. Os autores também sinalizam que os dois termos são usados de forma intercambiável, devido ao fato de os modelos utilizados serem fundamentados no ciclo do PDCA.

Lopes et al. (2018) afirmam que aplicação dos requisitos de gestão de energia tem uma dificuldade adicional quando comparado com as normas da qualidade ISO 9001 e ambiental ISO 14001. Segundo os autores, os requisitos de qualidade têm uma relação econômica com os produtos entregues sem não-conformidades. A ISO 14001 exige mudança comportamental, entretanto, os aspectos legais induzem a consciência dos trabalhadores para estar em conformidade com todas as exigências e procedimentos do SGA. A ISO 50001 requer mudanças para alcançar as metas em um distante ano de 2050, e provavelmente serão necessários pesados investimentos em tecnologia, equipamentos e dispositivos. O cenário das consequências referente as mudanças climáticas é um alerta, visto que existem riscos graves para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, e conseqüentemente para a humanidade.

2.3 Auditoria de energia

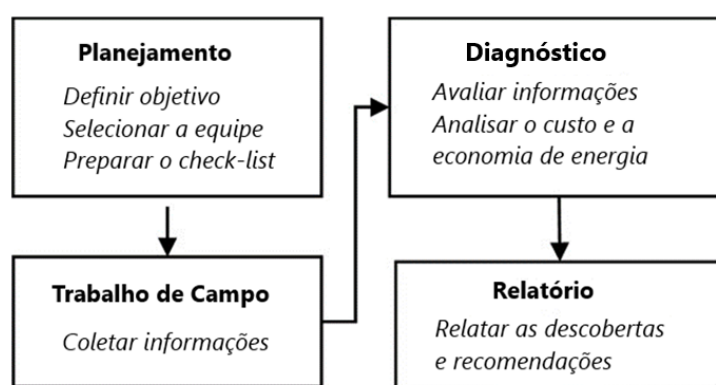
Auditoria é um processo sistemático, independente e documentado com a intenção de obter evidência de auditoria e avaliá-la objetivamente para determinar a extensão que os critérios de auditoria são cumpridos. Critérios de auditoria são políticas, procedimentos ou requisitos que são usados como uma referência contra a qual a evidência de auditoria (registros obtidos por verificação de documentos, observação das atividades, resultados de testes ou entrevistas) são confrontados para verificar a aderência e conformidade com esses critérios de auditoria (ISO 19011, 2011).

As auditorias de energia são focadas na verificação detalhada das condições de utilização de energia em uma instalação. Elas permitem saber onde, quando e como a energia é

utilizada, qual é a eficiência do equipamento e onde pode ser encontrado o desperdício de energia. São também destacadas possíveis soluções para as anomalias detectadas.

A Figura 9 detalha as etapas para a realização de uma auditoria de energia, que começa com o planejamento e elaboração de listas de verificação com base nas informações da empresa. Em seguida, o trabalho de campo é realizado para recolher evidências. O passo seguinte é o processamento de informações e a elaboração do relatório. Essa etapa é muito significativa no processo de auditoria, uma vez que a qualidade da informação será fundamental para o cliente desenvolver um plano de ação para melhorias.

Figura 9 Auditoria de Energia



Fonte: Adaptado de (KANNAN; BOIE, 2003)

Uma auditoria de energia pode ser realizada com diferentes escopos de análises segundo as necessidades da organização. Cagno et al. (2010) sugere três categorias de classificação: preliminar, miniauditorias e auditoria completa. A escolha é influenciada por vários fatores, porém auditorias são importantes para a gestão de energia, visto que proporciona a conscientização nas empresas, destaca as dificuldades e indica oportunidades para melhorar o gerenciamento. Além disso, os tomadores de decisão podem identificar oportunidades de melhoria do uso da energia (BUNSE et al., 2011).

O *Australia's Greenhouse Challenge*, *Canada's Industry Program for Energy Conservation*, *Finland's Action Programme for Industrial Energy Conservation*, *France's Voluntary Agreements on Carbon Dioxide Reductions* são programas voluntários que realizam auditoria de energia para auxiliar as empresas a superar obstáculos quanto à eficiência energética (THOLLANDER; DANESTIG; ROHDIN, 2007). Por outro lado, Fleiter; Schleich e Ravivanpong (2012) afirmam que as auditorias internas tendem a ser mais eficazes do que auditorias realizadas pelas associações do setor industrial.

Segundo Cagno et al. (2010), a metodologia de análise de energia nas organizações deve ter as seguintes características:

1. Ser uma análise rápida;
2. Ser breve para sugerir ações para trabalhar as áreas críticas que foram identificadas na auditoria de energia;
3. Ser capaz de concentrar-se principalmente nas ações necessárias;
4. Propor uma lista de ações que podem ser escolhidas, considerando que a energia não é o único foco do empreendedor;
5. As ações sugeridas devem ser exclusivamente **melhores tecnologias disponíveis** (MTD), para garantir um nível efetivo de realização;
6. Fornecer rapidamente uma estimativa monetária da economia e os custos de implementação;
7. Permitir que a empresa seja capaz de modificar e ajustar as medidas sugeridas.

Se os planos de ação sugeridos são exclusivamente baseados em aplicações tecnológicas, possivelmente surgirão barreiras comportamentais para execução. Ainda assim, há um grande potencial para a melhoria da eficiência energética em ações operacionais. Tecnologia e ações operacionais devem ser combinadas em planos factíveis para que a gestão de energia seja bem-sucedidas de (THOLLANDER; PALM, 2015). Além do mais, segundo os autores, explorar a compreensão da perspectiva sociotécnica da gestão de energia pode contribuir para desenvolver e melhorar sua eficácia.

2.4 Barreiras para eficiência energética

Existem intervenções técnicas com potencial considerável para melhorar a eficiência energética industrial. Embora economicamente favoráveis, tecnologicamente viáveis, envolvendo pequenos riscos técnicos, as ações não são devidamente aplicadas. Vários estudos (CAGNO; TRIANNI, 2014; HIRST; BROWN, 1990; MEATH; LINNENLUECKE; GRIFFITHS, 2016; ROHDIN; THOLLANDER, 2006; SORRELL et al., 2000) indicam que a lacuna da eficiência energética está relacionado com a discrepância entre o nível atingido dos resultados, e o que potencialmente poderia ter alcançado com as melhorias implementadas.

O potencial tecnológico das AMEE muitas vezes é subdimensionado por limitações econômicas, uma vez que as avaliações financeiras incluem taxas de desconto e levam em consideração o custo de oportunidade (TRIANNI; CAGNO; FARNÉ, 2016). Soluções energeticamente eficientes podem não ser implementadas devido aos custos ou riscos definidos como excessivos. Por outro lado, Thollander e Palm (2015) afirmam que uma gestão de energia focada em proporcionar mudanças organizacionais e comportamentais têm igual potencial em

melhorar o desempenho energético. Segundo Lopes, Antunes e Martins (2012) uma economia de energia de 20% poderia ser alcançada por meio de ações comportamentais quanto ao uso da energia nas organizações. No entanto, pesquisas para compreender o mecanismo de internalização da gestão de energia pelos indivíduos nas empresas são escassas.

De acordo com Sorrell et al, (2011) o modelo de barreira poderia explicar a lacuna de eficiência energética. Uma barreira é descrita como um mecanismo que inibe uma decisão ou um comportamento eficiente e economicamente favorável, e pode ser categorizada em falha de mercado, falha não mercantil, barreira comportamental e organizacional. O Quadro 1 apresenta as categorias em conjunto com as principais barreiras teóricas derivadas de cada uma (THOLLANDER; PALM, 2013).

Quadro 1: Barreiras à eficiência energética

Categoria	Barreiras teóricas
Falha de mercado / imperfeição de mercado	Informação imperfeita
	Seleção adversa
	Relação diretor-agente
	Incentivos divididos
Falhas não mercantis / imperfeições não mercantis	Despesas ocultas
	Acesso ao capital
	Risco
	Heterogeneidade
Barreiras comportamentais	Forma de informação
	Credibilidade e confiança
	Valores
	Inércia
	Racionalidade limitada
Organizacional	Poder
	Cultura

Fonte: Adaptado de Sorrell et al. (2011).

Segundo Thollander e Palm (2013), o serviço prestado por ESCOs (*Energy Services Company*) é uma solução para lidar com as barreiras à eficiência energética. ESCOs são empresas de engenharia especializada na promoção da eficiência energética nas instalações dos clientes. Essas empresas identificam oportunidades; avaliam soluções técnicas, ambientais e financeiras; desenvolvem e implementam projetos e propõem diretrizes econômicas/tarifárias por meio de contratação direta ou por contrato de performance.

Programas voluntários para implantação de gestão de energia, como citados no item anterior, possibilitam superar barreiras à eficiência energética em uma indústria (THOLLANDER; DANESTIG; ROHDIN, 2007), assim como a auditoria de energia é também

uma ferramenta útil, contudo, segundo Fleiter, Schleich e Ravivanpong (2012), a qualidade da auditoria pode afetar a adoção pelas empresas das medidas de eficiência energética.

Um aspecto a considerar nas ações para superar as barreiras é o fato de que atividades para melhoria na eficiência energética são quase exclusivamente orientadas para a tecnologia. Thollander e Palm (2015) sugerem que uma maneira de desenvolver e melhorar a gestão de energia é explorar a abordagem sociotécnica.

2.5 Abordagem sociotécnica

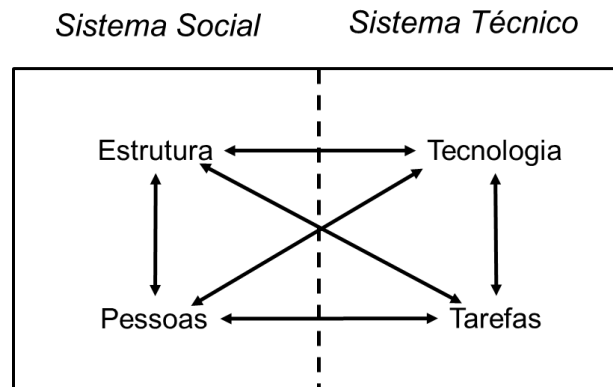
O conceito de organização como sistema sociotécnico surgiu a partir de estudos realizados pelo Instituto Tavistock sobre o trabalho em minas de carvão britânicas, que consistiu em descrever e inter-relacionar os aspectos técnicos, organizacionais e sociais do trabalho de mineração. A introdução de novas máquinas em minas de carvão sem a devida análise de mudanças nas práticas de trabalho revelou a necessidade de considerar questões comportamentais durante a implementação de novas tecnologias (VAN EIJNATTEN, 1998).

A partir desses trabalhos pioneiros, e os realizados por Emery e Trist (1965), houve a consolidação da teoria dos sistemas sociotécnicos, influenciada pela teoria geral da administração que define a organização como um sistema aberto que troca informações, recursos e energia com o meio ambiente.

A abordagem sociotécnica indica que a organização é um sistema complexo, no qual as variáveis do sistema técnico (tecnologias e tarefas) interage com as do sistema social (organização e pessoas quanto a idade, gênero, escolaridade, expectativas etc.) conforme é mostrado na Figura 10. Os sistemas devem ser considerados em conjunto e convergentes para fornecer o melhor desempenho para a organização (TRIST et al., 2013). Como resultado, o comportamento das pessoas em relação ao trabalho depende do conteúdo e das percepções relacionadas às tarefas. Responsabilidade, autonomia, realização, reconhecimento e outros relativos à estrutura organizacional são essenciais para o indivíduo melhorar ou reduzir a satisfação, a energia e o orgulho pelo seu trabalho (BALBINOTTI; PAUPITZ, 2015).

Bostrom e Heinen (1977) afirmaram que novos projetos que propõem alterações no processo produtivo não têm considerado a forte associação entre as mudanças no sistema técnico e os impactos nas atitudes, motivações e o comportamento interpessoal dos indivíduos. Uma avaliação da confiabilidade humana pode ajudar a evitar falhas após a mudança ter sido feita.

Figura 10 Interação das variáveis dentro de um sistema sociotécnico



Fonte: Adaptado de Bostrom e Heinen, (1977)

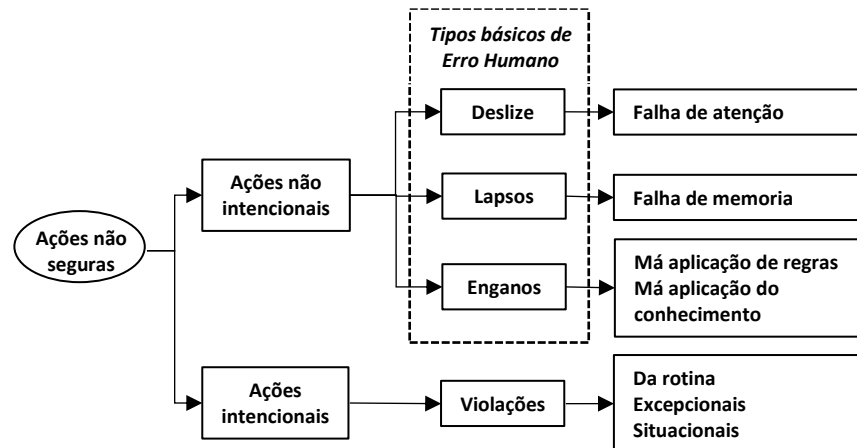
Devido à importância da abordagem sociotécnica na identificação dos fatores determinantes que influenciam o engajamento do trabalhador em ações que aumentem a eficiência energética, optou-se por dedicar o Capítulo 3 às teorias que sustentam modelos de previsão quali-quantitativos de comportamentos humanos.

2.6 Confiabilidade humana

De acordo com Martins e Laugeni (2009) confiabilidade é a probabilidade que um sistema apresenta como resposta aquilo que se espera dele em um certo período de tempo e sobre determinadas condições. Sistemas estão relacionados a equipamentos, componentes e também os empregados da organização. Dessa forma, sistemas confiáveis alcançarão resultados esperados e a **avaliação de confiabilidade humana** (ACH) é o método que visa calcular probabilidade de que indivíduo não falhe em um tipo específico de tarefa (AKYUZ; CELIK, 2015).

Reason (1990) classifica a falha humana em duas categorias, erros (ações não intencionais) e violações (ações intencionais) conforme apresentado na Figura 11 Classificação de falha humana. Ainda segundo o autor, erro humano é um termo genérico para englobar todas as ações ou decisões que não foram intencionais, mas envolveu um desvio de um padrão aceito, e que levou a um resultado indesejável. Por outro lado, violação envolve o desvio deliberado de um procedimento ou comportamento esperado. A maioria das violações são bem-intencionadas, decorrentes de um desejo genuíno do trabalhador de conseguir os resultados em conformidade com as metas da gerência.

Figura 11 Classificação de falha humana



Fonte: Adaptado de Reason (1990)

Segundo Mcleod (2017) a confiabilidade humana possui alguns princípios que orientam a ação humana quando novas medidas tecnológicas são implementadas. Os princípios são os seguintes:

- i. As pessoas são falíveis e até as melhores pessoas cometem erros;
- ii. Situações prováveis de erro são previsíveis, gerenciáveis e evitáveis;
- iii. Processos e valores organizacionais influenciam o comportamento individual;
- iv. As pessoas atingem níveis extraordinários de desempenho devido ao incentivo e reforço recebidos de líderes, colegas e subordinados;
- v. Os eventos podem ser evitados quando se entende as razões pelas quais os erros ocorrem.

Esses princípios podem ser influenciados por fatores como o *design* e *layout* dos sistemas de trabalho, *interfaces* de equipamentos e estrutura organizacional. Esses fatores podem ser capazes de induzir ou dissuadir o comportamento de economia de energia. Reason (1990), corrobora essa hipótese ao afirmar que o desempenho e as atitudes dos indivíduos são fortemente influenciados pela situação ou contexto.

Embrey, Kontogiannis e Green (2004) apresentam quatro abordagens usadas para analisar, prever e reduzir erros humanos em sistemas industriais. A primeira é a abordagem tradicional de engenharia de segurança em que se enfatiza a responsabilidade individual e culpar as pessoas, ao invés de identificar as causas do erro do sistema. A segunda usa a **engenharia de fatores humanos/ergonomia** (EFH/E). Essa abordagem enfatiza o descompasso entre as capacidades humanas e as demandas do sistema como a principal fonte de erro humano, inclui considerações sobre a concepção do local de trabalho e a **interface homem-máquina** (IHM). A terceira abordagem, a **engenharia de sistemas cognitivos** (ESC), introduz um método baseado na psicologia cognitiva que direciona os estudos para detalhar

melhor como as pessoas adquirem informações, as processam e as usam para guiar o comportamento. A quarta abordagem amplia o ponto de vista da ESC, e pressupõe que o controle de erro humano também precisa considerar o impacto da política de gestão e da cultura organizacional, estende a análise para o campo do comportamento organizacional. Os processos e valores das empresas podem influir na forma de agir do indivíduo, portanto, buscar o entendimento do comportamento organizacional pode contribuir para compreensão dessa dinâmica (ver item 2.8).

Em 2001, o **Instituto Americano de Petróleo** (API) publicou a API 770 para capacitar os gerentes com conhecimento sobre as causas do erro humano, formas de preveni-lo, como também selecionar e aplicar técnicas de **avaliação da confiabilidade humana** (ACH) como atribuições de gerenciamento (LORENZO, 2001). De acordo com Akyuz e Celik, (2015), a confiabilidade humana destaca a competência de um funcionário em concluir uma tarefa de forma adequada ou sem erro, e a ACH aborda o cálculo da probabilidade de erro humano para uma tarefa. Muitos modelos de ACH foram propostos na literatura (MYKONIATIS; ANGELOPOULOU, 2017). O SPAR-H é um modelo desenvolvida pelo *Idaho National Laboratories* para as Indústrias Nucleares dos EUA, e tem sido aplicado em outros setores (RASMUSSEN; STANDAL; LAUMANN, 2015). O SPAR-H é baseado na análise de tarefas e pode ser facilmente alterado para incluir fatores que conduzem a erros em domínios multidisciplinares (BELL; HOLROYD, 2009).

De modo a estimar a **probabilidade de erro humano** (PEH), várias técnicas têm sido desenvolvidas. As de primeira geração como o THERP (*technique for human error rate prediction*) ou o OAT (*operator action trees*) tem como característica estimar a PEH por meio da análise da falha da execução de uma tarefa. Os de segunda geração tem o foco maior na avaliação dos fatores que afetam o desempenho das pessoas e no processo cognitivo, ou seja, percepção, avaliação, planejamento e ação. O modelo SPAR-H, por exemplo, multiplica uma taxa de erro nominal com **fatores de modeladores do desempenho** (FMD). Esses fatores são aspectos do indivíduo, do ambiente, da organização ou da tarefa que influencia o desempenho humano (BORING; BLACKMAN, 2007). Existem inúmeros de FMD explicitados na literatura, contudo, na abordagem SPAR-H, são abordados o tempo disponível, estresse/estressores, complexidade, experiência, treinamento, procedimentos, ergonomia, comprometimento e processos de trabalho (GERTMAN; BLACKMAN; MARBLE, 2005).

O cálculo da PEH é realizado por meio de valores medidos e estimados, cujas imperfeições do sistema de medição, limitações do técnico ou influência das condições ambientais podem induzir ao erro de medição.

2.7 Erro de medição

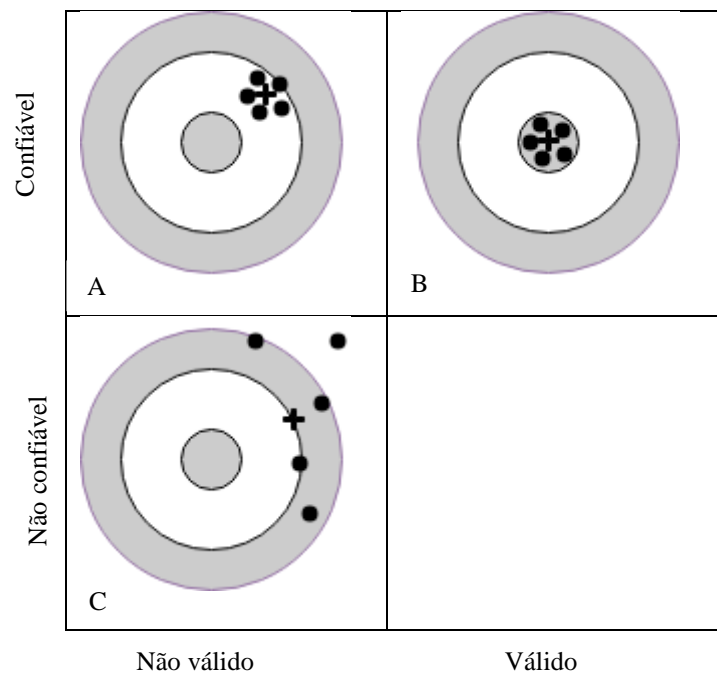
Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM (INMETRO, 2009), erro de medição é a diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência. Logo, o valor medido é igual ao valor de referência mais o erro de medição ϵ . Já o erro de medição é definido como a soma do erro randômico ϵ_r , que se refere confiabilidade da medida, mais o erro sistemático ϵ_s que corresponde a validade da medida, conforme pode ser visto nas equações 1 e 2 (HAIR JR et al., 2016).

$$x_m = x_r + \epsilon \quad (1)$$

$$\epsilon = \epsilon_r + \epsilon_s \quad (2)$$

Para indicar a diferença entre o erro sistemático e o aleatório, Albertazzi e Sousa (2008) utiliza como exemplo a medição de disparos em direção a um alvo específico, segundo se pode verificar na Figura 12. A média da localização dos disparos é representada por uma cruz.

Figura 12 Comparação entre confiabilidade e validade da medida



Fonte: adaptado de Albertazzi e Sousa, (2008)

Validade das medições é representada pela exatidão da média dos disparos, ou seja, o quanto a cruz está próxima do alvo ou do valor de referência. Quanto mais próximo à média dos valores estiverem do alvo, maior é a validade e exatidão das medidas.

Como são realizados cinco disparos por vez, a distância entre os pontos no alvo indica a confiabilidade das medidas representada pela homogeneidade e precisão dos valores. A mensuração é confiável e precisa se todos os pontos estão juntos, embora não estejam necessariamente próximos do alvo, ou valor de referência. Isso ocorre no exemplo A da Figura 12, onde se observa o cenário no qual as medidas são precisas e confiáveis mais não são válidas. Nesse cenário é possível prever o sexto disparo, visto que se nota a presença do erro sistemático, definido como aquele que em medições repetidas permanece constante ou varia de maneira previsível (INMETRO, 2009).

No cenário B da Figura 12, se constata a situação ideal. As medições são válidas e confiáveis visto que alcançaram o alvo e estão próximas.

No exemplo C ocorre a circunstância no qual a medida nem é confiável, nem válida, cuja presença do erro aleatório é constatada. Erro aleatório, segundo o VIM, é o “componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível” (INMETRO, 2009, p. 22). Em resumo, as medidas não são precisas porque não estão próximas, nem exatas pois a média dos valores (cruz) está distante do valor de referência. Mesmo que a média dos valores correspondesse ao valor de referência, ainda assim não se poderia considerar medidas válidas, pois segundo Hair Jr et al. (2016), uma medida não confiável nunca pode ser válida devido à impossibilidade de distinguir o erro sistemático do randômico. Se houvesse novas tentativas, o erro randômico poderia mudar a média dos disparos para uma posição diferente. A confiabilidade é a condição necessária para a validade, logo o cenário não confiável/válido não é considerado.

Quando o erro sistemático é corrigido com os ajustes no sistema de medição, e o cenário B da Figura 12 passa a ocorrer, ainda se nota a presença do erro aleatório. As medidas passam a variar em uma faixa de valores em torno do valor de referência, e o parâmetro que caracteriza essa dispersão dos valores corresponde a incerteza de medição.

Nesse trabalho se utiliza o termo “erro humano” quando se refere a questões de falha do trabalhador e “erro” quando se tratar de erro de medição. Ademais, “medida” é utilizada como ação, ou como resultado de medição dependendo do contexto.

2.8 Comportamento organizacional

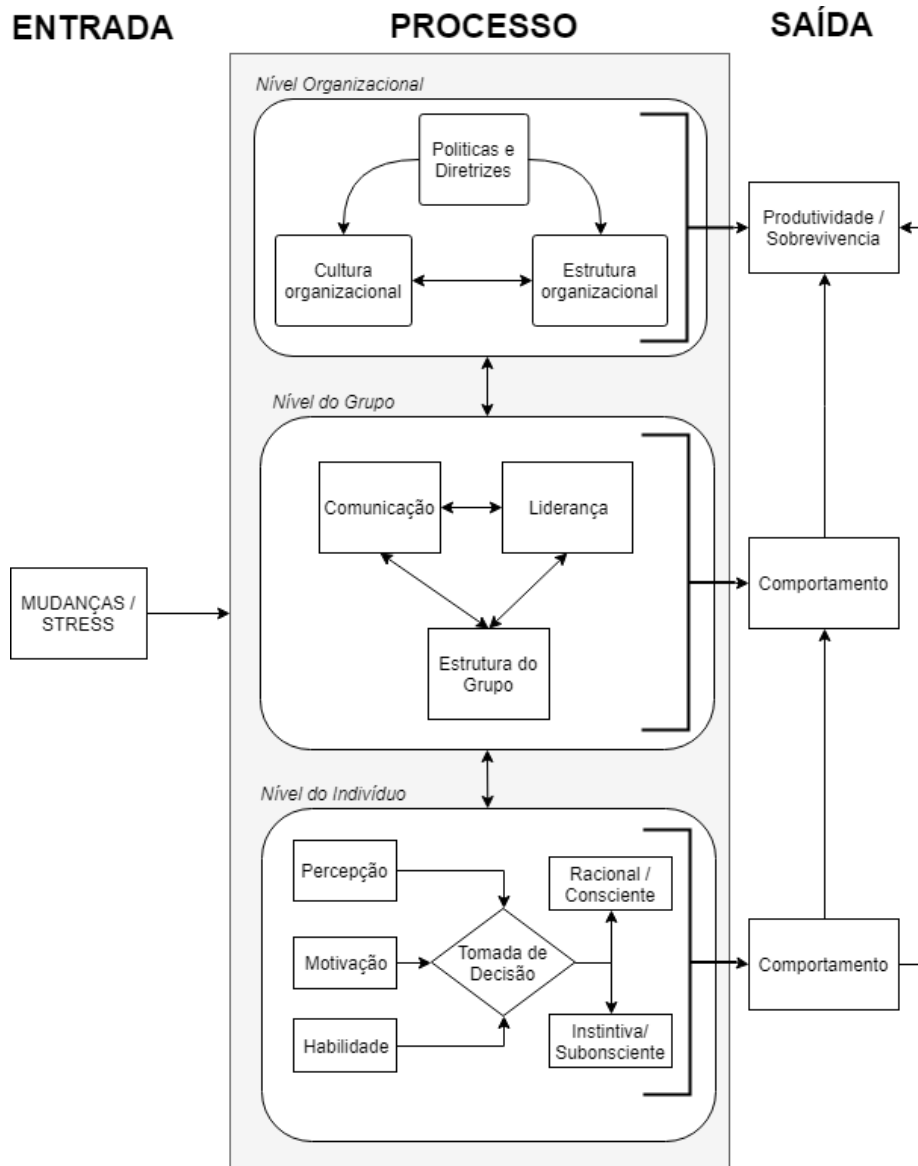
O **comportamento organizacional** (CO) é comumente previsível, e seu estudo sistemático permite que previsões razoavelmente precisas sejam realizadas. De maneira razoavelmente estrita, é possível atribuir umnexo causal baseado em evidências científicas/dados coletados sob condições controladas, mensurados e interpretados.

(LUTHANS, 2015) afirma que o CO pode ser definido como a compreensão, previsão e gestão do comportamento humano nas organizações. De outra maneira, Robbins e Judge, (2013) descrevem o estudo do CO como uma ciência que se baseia na contribuição de várias outras disciplinas comportamentais: psicologia, sociologia, psicologia social, antropologia e ciências sociais. A atenção ao indivíduo é o foco da psicologia, enquanto a sociologia estuda a relação das pessoas entre si. Da mesma forma, a psicologia social concentra-se na influência de um indivíduo sobre o outro, uma vez que a antropologia é o estudo das sociedades para compreender os seres humanos e suas atividades. Finalmente, a ciência política lida com o comportamento de indivíduos e grupos em um ambiente político.

Além disso, os autores propõem um modelo baseado em três tipos de variáveis (*inputs*, processos e *outputs*) e três níveis de análise (individual, grupal e organizacional), como mostrado na Figura 13.

As mudanças e o estresse são apresentados como entrada para o processo de comportamento organizacional, que irá influenciar os três níveis do modelo. Processos são ações que indivíduos, grupos e organizações tomam como resultado das entradas do modelo que levam a determinados comportamentos. No nível individual, os processos incluem habilidades, motivação, percepção e tomada de decisão. No nível do grupo, eles incluem comunicação, liderança e práticas que compõem a estrutura do grupo, como poder, conflito e negociação. Finalmente, no nível organizacional, os processos incluem políticas e diretrizes, cultura interna e estrutura organizacional formal.

Figura 13 Modelo de Comportamento Organizacional



Fonte: adaptado de Robbins e Judge (2013)

Essa pesquisa concentra-se nos níveis do indivíduo e do grupo, entendendo-se que o primeiro trata dos comportamentos dos indivíduos e as variáveis inerentes (características biográficas, habilidades, valores, atitudes), enquanto o segundo reflete a influência da liderança e das normas estabelecidas pelo grupo no comportamento do indivíduo. Um aspecto considerado é que a compreensão do CO deve ser vista como um processo de complexidade ascendente. Deve-se, primeiramente, entender os aspectos no nível micro organizacional para, em seguida, destacar a dinâmica das relações comportamentais do grupo e a interação com o nível organizacional.

2.9 Considerações finais

Devido à necessidade de reduzir a emissão de GEE para evitar um recrudescimento do aquecimento global, o uso de energia renovável e ações de eficiência energética planejadas a partir de um sistema de gestão de energia poderiam ser alternativas factíveis para as organizações produtivas.

Intervenções técnicas para melhorar o desempenho energético das empresas frequentemente apresentam resultados aquém do esperado. O modelo de barreiras é utilizado para tentar explicar a lacuna de eficiência energética.

As ações geralmente utilizadas para superar as barreiras quanto à eficiência energética são quase exclusivamente orientadas para a tecnologia, não abordando o aspecto comportamental do trabalhador. Por esse motivo, é importante levar em conta a abordagem sociotécnica para identificar os fatores determinantes que influenciam a atuação do trabalhador. Adicionalmente, estudos relativos à confiabilidade humana permitiriam determinar a probabilidade de resposta sem erros das atividades novas implementadas.

Por fim, é especulado que os processos e valores das empresas podem influir na forma de agir do indivíduo, portanto, buscar o entendimento do comportamento organizacional pode contribuir para compreensão dessa dinâmica.

Devido à importância da abordagem sociotécnica para a identificar os fatores determinantes que influenciam a ação do trabalhador na aplicação de atividades que aumentem a eficiência energética optou-se por dedicar o próximo capítulo às teorias que sustentam modelos de previsão de comportamentos humanos tanto qualitativamente quanto quantitativamente.

3 TEORIAS DO COMPORTAMENTO E MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Esse capítulo é dedicado a introdução de teorias amplamente utilizadas na literatura no estudo das variáveis que influenciam no comportamento humano visando sua previsão. A aplicação dessas teorias em domínios, como saúde, segurança, meio ambiente, motivação no trabalho e produtividade permite uma compreensão completa dos fatores que determinam o comportamento humano e projetar intervenções efetivas para abordar os problemas. Para realizar a quantificação. É apresentado também a técnica estatística multivariada denominada modelagem de equações estruturais para testar quantitativamente os modelos teóricos relativos ao comportamento humano.

3.1 A teoria do comportamento planejado

A **teoria do comportamento planejado** (*Theory of planned Behavior TCP/TPB*) é uma abordagem modificada **da teoria da ação racional** (TAR). A TCP é utilizada no prognóstico do comportamento observado por meio da estimativa da intenção de agir, quando as pessoas têm controle volitivo sobre sua ação (AJZEN, 1985). O **controle comportamental percebido** (CCP) foi o constructo (variável que não pode ser estimada por instrumentos de medição) incluído por Ajzen na TAR que permitiu a aplicação da teoria em situações nas quais as ações não estariam sob controle volitivo.

A inclusão do CCP possibilitou que a TCP fosse usada em muitos contextos, principalmente para avaliar a possibilidade de antever o comportamento pró-ambiental do indivíduo, tais como consumo consciente, economia de energia elétrica nas residências, uso de carro elétrico (LIOBIKIENĖ; MANDRAVICKAITĖ; BERNATONIENĖ, 2016; WANG et al., 2016; FORNARA et al., 2016).

De acordo com a TCP, conforme pode ser visto na Figura 14, a intenção de agir seria o único e confiável determinante psicológico do comportamento, e é diretamente estabelecida por três variáveis: (i) atitude em relação ao comportamento, (ii) norma subjetiva e (iii) controle comportamental percebido (TAUFIQUE; VAITHIANATHAN, 2018).

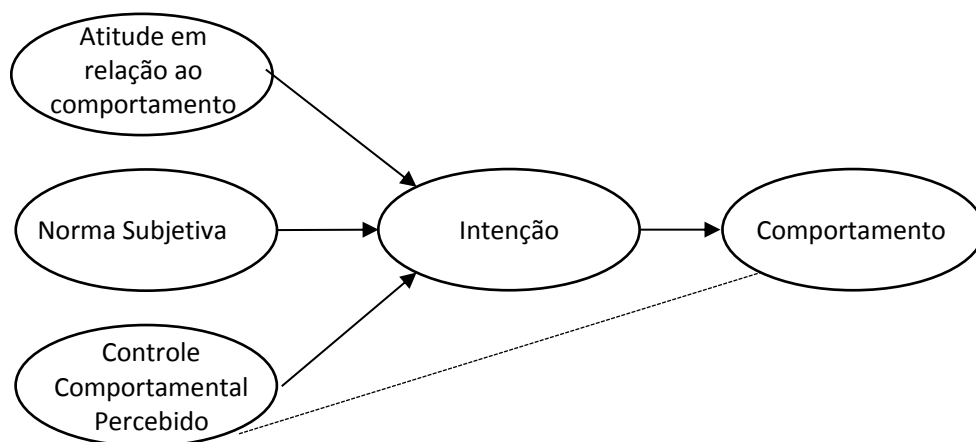
A atitude em relação ao comportamento tem uma relação proporcional com a intenção, já que se uma pessoa tem uma avaliação positiva do comportamento a ser realizado, a intenção aumenta e vice-versa (WANG; LIN; LI, 2018). Ajzen (1991) define atitude como percepção do indivíduo (negativo ou positivo) relativa à realização futura de um comportamento específico; a norma subjetiva são pressões sociais percebidas pelo indivíduo

que o levam a uma tomada de decisão; e o controle comportamental percebido refere-se à dificuldade de conduzir o comportamento.

A Teoria do Comportamento Planejado (TCP), Figura 14, presume que as normas subjetivas são compostas de normas injuntiva e descritiva. A primeira representa os aspectos prescritivos que a maioria das pessoas deveria seguir para executar uma determinada ação, enquanto a última está relacionada com percepção do comportamento mais socialmente aceito (FISHBEIN; AJZEN, 2011). Haverá uma maior propensão que o comportamento seja efetivado se as pessoas importantes para o indivíduo esperarem que ele tenha um desempenho específico (WANG; LIN; LI, 2018).

O controle comportamental percebido é definido como “as percepções das pessoas sobre o grau em que são capazes ou tenham o controle de realizar determinado comportamento” (FISHBEIN; AJZEN, 2011). Se houver a crença que os recursos, os conhecimentos, as habilidades, o tempo ou a oportunidade são favoráveis, provavelmente a intenção de agir aumentará.

Figura 14 Teoria do comportamento planejado



Fonte: adaptado de Ajzen (1991)

O uso da TCP para investigar o comportamento pró-ambiental de indivíduos na indústria é escasso. Apesar dessa teoria ser útil para pesquisar o comportamento do indivíduo, pesquisadores destacam alguns pontos fracos, como, por exemplo, não discutir a lacuna entre a intenção e o comportamento (WEBB; SHEERAN, 2006), ser um modelo estático (SNIEHOTTA; PRESSEAU; ARAÚJO-SOARES, 2014), e focar fortemente em preditores racionais baseados em motivos de interesse próprio, excluir influências parcialmente emocionais e não-conscientes (BERTOLDO; CASTRO, 2016).

Ajzen (2015) respondeu as críticas argumentando que o modelo é dinâmico, possui ciclos de retroalimentação entre o comportamento e a cognição, além de permitir o pensamento irracional e inconsciente por meio da influência das crenças. Porém, a mudança do contexto externo ocorrida após a formação da intenção para agir pode causar dificuldade na previsão do comportamento estudado.

A TCP é uma abordagem usada em uma ampla variedade de estudos comportamentais e geralmente explica uma proporção considerável da variação nos comportamentos. Lynch e Martin (2010) destacam que a Teoria do Comportamento Planejado (TCP) é um modelo plausível para explicar as intenções e o comportamento do uso de energia em domicílios. As intenções de reduzir o uso de energia foram influenciadas pelas atitudes ambientais, pelos benefícios financeiros em relação à diminuição do consumo, e pelo controle percebido sobre esse comportamento. Essa descoberta sugere que os programas que influenciam com sucesso as atitudes dos participantes em relação à conservação de energia, e abordam as barreiras à adoção de tais comportamentos, provavelmente terão um efeito positivo na redução do uso de energia. Os autores propõem que mudanças nas intenções e no comportamento podem ser impulsionadas por programas que estimulem atitudes e crenças mais favoráveis ao uso da energia. A abordagem desse estudo contribuiu para o emergente conhecimento sobre métodos adequados para avaliar o impacto dos programas e políticas de eficiência energética, e entender sua influência nas atitudes e crenças dos participantes.

Wang; Zhang; Li (2014) aplicaram a TCP para identificar e explorar os fatores da intenção de economizar energia entre os moradores de Pequim, devido ao elevado aumento do consumo de energia residencial. O modelo utilizado pelos autores é uma extensão da abordagem de Ajzen (AJZEN, 1991), e utiliza oito variáveis, as quais foram analisadas por meio da modelagem de equações estruturais. Os resultados mostraram que normas subjetivas, atitudes ambientais, publicidade de informação, estilos de vida e controle comportamental percebido influenciam significativamente os residentes e o comportamento quanto à economia de energia. Já os fatores demográficos não tiveram efeitos aparentes nas intenções comportamentais.

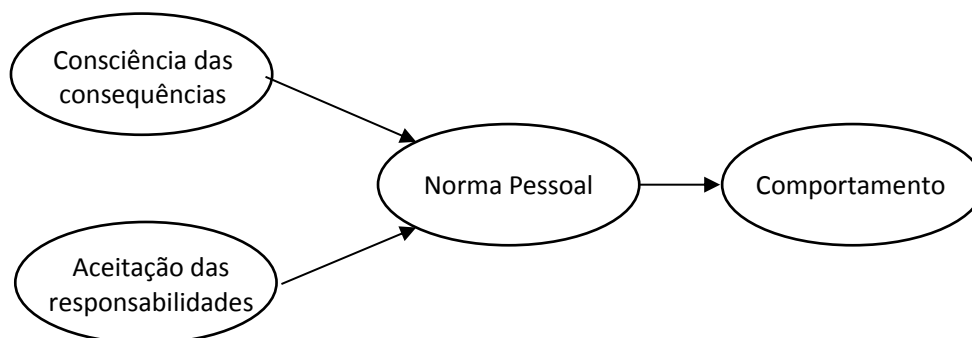
Wang et al. (2018) afirmam que mudar a conduta das pessoas quanto ao uso de energia pode contribuir para reduzir a demanda energética. Eles estabeleceram um modelo teórico abrangente com base na TCP, e descobriram que o comportamento relativo à economia de energia dos residentes urbanos na China é influenciado por fatores individuais como o altruísmo. Além disso, as normas sociais e o ambiente político têm um impacto significativo no comportamento diário de economia de energia dos moradores.

A TCP foi escolhida pelo autor como base para identificar as variáveis determinantes que influenciam a ação do trabalhador quanto à eficiência energética em um ambiente industrial. No entanto, para melhorar o poder de previsão, algumas variáveis adicionais foram acrescentadas. Toft, Schuitema e Thøgersen (2014) confirmam esse procedimento ao afirmarem que sentimentos pessoais de responsabilidade moral ou norma moral pessoal ajudam a previsão de comportamentos sociais e pró-ambientais específicos. Assim, essa pesquisa incorpora o constructo normas morais pessoais no TCP para propor um modelo estendido visando aumentar a previsão do comportamento alvo.

3.2 Modelo de ativação da norma

O modelo de ativação de normas (MAN) apresentado na Figura 15 foi proposto por Schwartz (1977), e é uma teoria baseada em normas morais aplicada também para prever o comportamento. A teoria tem a premissa de que as normas pessoais são os únicos determinantes diretos do comportamento pró-social (ZHANG; WANG; ZHOU, 2013). A força da moralidade de uma pessoa fixa o grau de seu comportamento pró-social (SCHWARTZ, 1977). O MAN considera que norma pessoal tem dois antecedentes psicológicos diretos a saber: consciência das consequências de suas ações, e o senso da responsabilidade por essas consequências (HE; ZHAN, 2018). É importante notar que essas duas variáveis não são apenas antecedentes da norma pessoal, mas também modera a ligação entre norma pessoal e o comportamento (VINING; EBREO, 1992). Os estudos geralmente enfocam as correlações entre norma pessoal e seus antecedentes; visto que o MAN se refere apenas a variáveis morais internas e não considere a influência dos fatores externos na consecução do comportamento (HE; ZHAN, 2018).

Figura 15 Modelo de ativação da norma



Fonte: adaptado de Udo; Bagchi; Maity, (2016)

De acordo com o MAN, o comportamento pró-social e o comportamento pró-ambiental são conduzidos pelas normas pessoais dos indivíduos, definidas como uma obrigação moral de realizar ou não uma ação específica (SCHWARTZ; HOWARD, 1980). Contudo, para que as normas pessoais conduzam ao comportamento, é necessário que haja a ativação das variáveis antecedentes: o senso de responsabilidade e a consciência das consequências.

Pesquisadores têm usado o MAN em estudos para descrever o comportamento pró-ambiental em diversos contextos (BAMBERG; HUNECKE; BLÖBAUM, 2007; KLÖCKNER, 2013; ZHANG; WANG; ZHOU, 2013; VAN DER WERFF; STEG, 2015; BERTOLDO; CASTRO, 2016 ; HE; ZHAN, 2018). Um modelo estendido, composto dos antecedentes de normas pessoais e integrando variáveis externas, foi proposto em alguns estudos (KLÖCKNER; MATTHIES, 2009; WANG et al., 2016; GAO et al., 2017). Porém, Steg et al. (2014) apontam que a aplicação do MAN é mais adequada para situações em que a mudança de um determinado comportamento está mais focada no atendimento a regras, do que para o alcance de metas e objetivos de melhoria.

Gao et al.(2017) alegaram o conceito de norma pessoal em estudos de economia de energia em escritórios melhora significativamente o poder de previsão da TCP, cujos resultados são suportados estatisticamente. Em outro estudo, Botetzagias, Dima e Malesios (2015) descobriram que o controle comportamental percebido (CCP) influencia mais significativamente a intenção das pessoas em reciclar, e as normas morais moderam o efeito total sobre o comportamento, como também sobre a atitude em relação ao comportamento.

Então, essa pesquisa incorpora a variável normas pessoais ao modelo estrutural da TCP visando melhorar a previsão do comportamento quanto à eficiência energética.

3.3 Teoria do comportamento interpessoal (TCI)

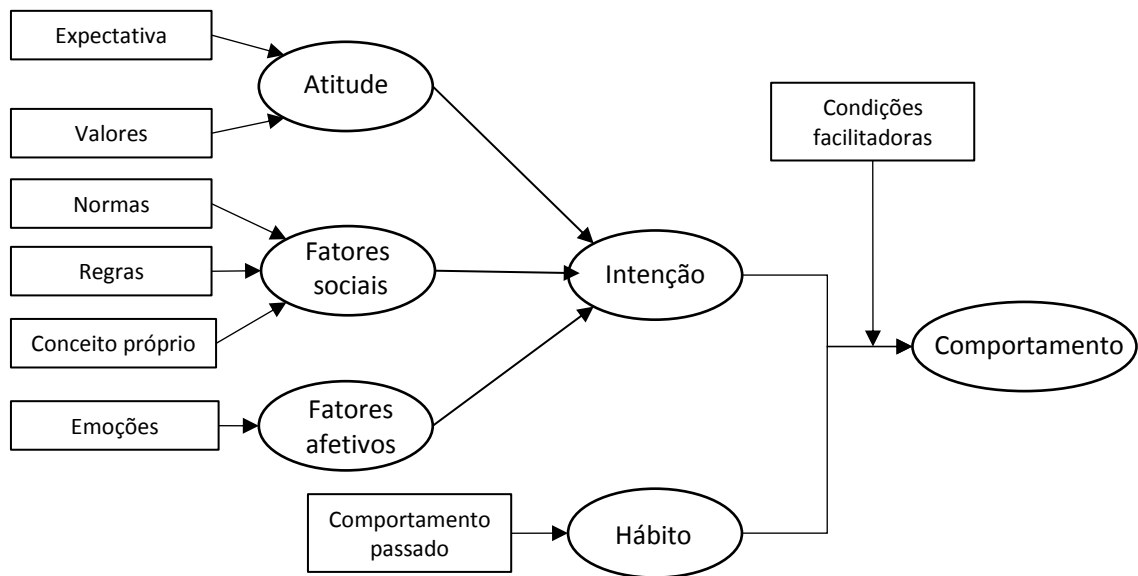
A teoria do comportamento interpessoal (TCI), como pode ser visto na Figura 16, foi proposta por Triandis (1977) e tem uma semelhança considerável com a TCP, mas a estende quando inclui o hábito e o afeto como variáveis que podem influenciar o comportamento humano (MCDONALD, 2014). Ambas as teorias abordam crenças de valor-expectativa e descrevem a intenção como preditor de um comportamento específico (BAMBERG; SCHMIDT, 2003) A intenção tem três tipos de antecedentes: atitudes, fatores sociais e fatores afetivos. No entanto, os hábitos também predizem o comportamento-alvo de forma semelhante

que a intenção, e ambas relações causais são moderadas por condições facilitadoras (BAMBERG; SCHMIDT, 2003).

Klößner e Blöbaum (2010) apontam que há limites na previsão do comportamento repetitivo quando a TCP ou o MAN são aplicadas, por outro lado Jackson (2005) afirma que a TCI é menos utilizada, particularmente para o comportamento pró-ambiental, devido à sua complexidade. Zierler; Wehrmeyer e Murphy (2017) afirmam que a TCI possui um poder exploratório adicional sobre a TCP quando utilizada na previsão de comportamentos específicos, cujos indicadores referentes as emoções, crenças, valores e expectativas são possíveis de serem coletadas junto aos indivíduos da amostra estudada.

Caso o modelo de previsão proposto não apresentasse valores aceitáveis quanto a validade e confiabilidade, a estratégia de pesquisa seria aplicar a TIB no modelo estrutural e realizar nova investigação.

Figura 16 Teoria do comportamento interpessoal



Fonte: adaptado de (TUDELA; HABIB; IDRIS, 2013)

3.4 Modelagem de equações estruturais.

Modelagem de equações estruturais (*structural equation modeling* MEE/SEM) é um método de análise multivariada de dados de segunda geração (HAIR JR et al., 2016). Envolve a aplicação de métodos estatísticos que analisam simultaneamente inúmeras variáveis estimadas relativas a indivíduos, empresas, eventos, atividades, contextos e assim por diante.

A MEE é usada para explorar ou confirmar uma teoria. A modelagem pode ser exploratória que envolve o desenvolvimento de teorias, ou confirmatória que testa os modelos.

Quanto a abordagem, pode-se optar por dois tipos de MEE: uma é baseado em covariância (CB-MEE) e a outra em variância (VB-MEE ou PLS-MEE) que se fundamenta na estimação de ajuste de mínimos quadrados parciais (*partial least square* - PLS).

O CB-MEE é aplicado no campo das ciências sociais para confirmar ou rejeitar teorias através de testes de hipóteses, particularmente quando o tamanho da amostra é grande. Os dados devem ser normalmente distribuídos e o modelo deve ser especificado corretamente. (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2011). No entanto, pesquisadores se defrontam com a dificuldade de encontrar um conjunto de dados que atendam a esses requisitos. Em uma pesquisa exploratória, pouco se sabe sobre as relações entre as variáveis. Nesse caso, pode-se optar pela PLS-MEE (REINARTZ; HAENLEIN; HENSELER, 2009).

Segundo Vinzi; Trinchera; e Amato (2010), a estimação pelo ajuste de mínimos quadrados parciais é uma abordagem de modelagem flexível para MEE, e torna-se uma boa alternativa ao CB-MEE quando as seguintes situações são encontradas:

- i. O tamanho da amostra é pequeno;
- ii. Aplicações têm pouca teoria disponível;
- iii. A qualidade da previsão é importante;
- iv. A especificação correta do modelo não pode ser assegurada.

Ringle; Da Silva e Bido (2014) afirmam que a diferença básica no tratamento de dados entre CB-MEE e PLS-MEE é que no primeiro caso têm-se regressões lineares múltiplas realizadas “ao mesmo tempo”, e no segundo, calculam-se as correlações entre os constructos e seus indicadores (modelos de mensuração). Em seguida são realizadas regressões lineares entre constructos (modelos estruturais), o que permite estimar modelos mais complexos com número menor de dados. Por essas razões, optou-se tratar os dados dessa pesquisa por meio da PLS-MEE.

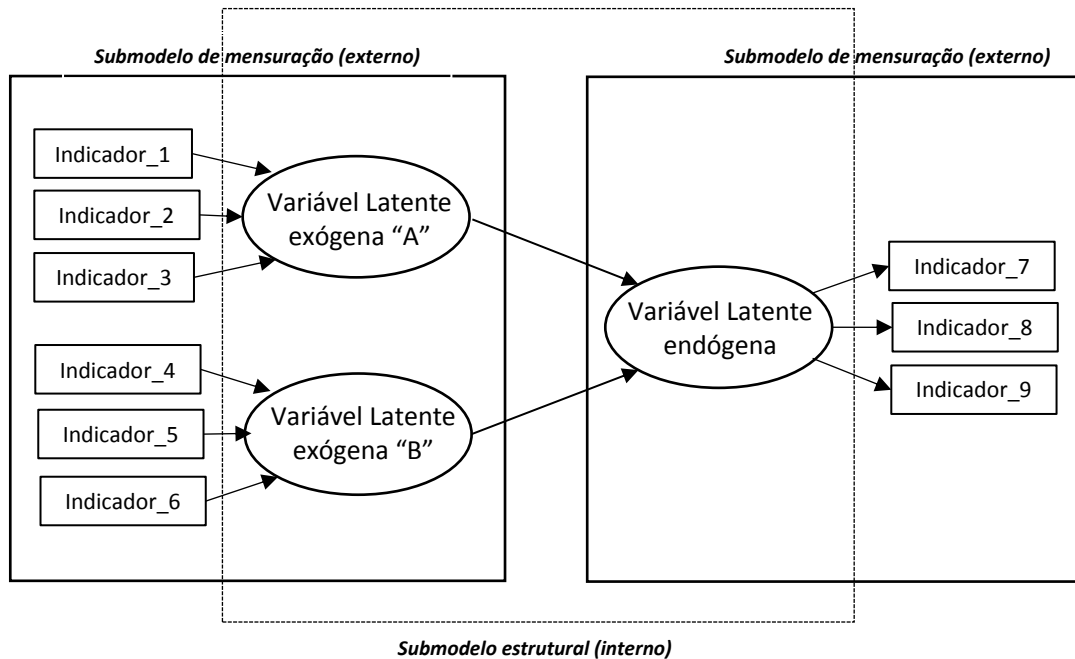
A modelagem de equações estruturais visa explicar hipóteses de relações entre indicadores e variáveis latentes distribuídos por dois submodelos, o de mensuração e o estrutural (HAIR et al., 2010). Os indicadores são estimados diretamente por pesquisas, como por exemplo, perguntas de um questionário, enquanto a **variável latente** (VL) também denominada de constructo é indiretamente avaliada usando indicadores conforme pode ser observado na Figura 17. Para clarificar a descrição dos submodelos, será adotado apenas o termo variável latente como expressão conceitual de constructo.

Segundo Hair Jr et al. (2016), pode-se classificar as VLs em duas categorias: exógenas e endógenas. As primeiras são variáveis independentes que podem afetar outras variáveis, e as últimas são variáveis dependentes que podem ser influenciadas por variáveis exógenas ou

outras endógenas. Na Figura 17 se observa que as VL exógenas se localizam no lado esquerdo do diagrama, enquanto as VL endógena se encontram no lado direito.

Para realizar uma MEE, é necessário constituir um diagrama com dois componentes: um submodelo de mensuração que estabelece os indicadores que medem cada VL e um submodelo estrutural que define as relações de causa e efeito entre as variáveis latentes.

Figura 17 Modelo de equações estruturais



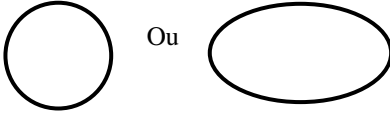

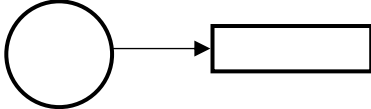
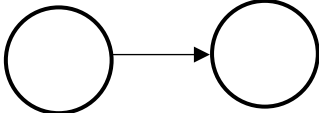
Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.1 Submodelos de mensuração e estrutural

Nos estágios iniciais de um projeto de pesquisa que envolve MEE, é necessário elaborar um diagrama que ilustre as hipóteses de pesquisa, e exiba as relações das variáveis que serão examinadas. Esse diagrama geralmente é denominado com modelo de caminho ou *path model* (HAIR JR et al., 2016). A visualização do modelo proposto pelo pesquisador e das relações de interdependências das variáveis torna-se mais fácil. A Figura 18 ilustra os elementos básicos do diagrama.

Os diagramas no âmbito da MEE são representações pictóricas usadas para exibir visualmente as hipóteses e relações de variáveis que são examinadas quando a modelagem de equações estruturais é aplicada. Quatro elementos básicos devem ser entendidos ao desenvolver os modelos de caminho: (1) variáveis latentes, (2) indicadores, (3) relações entre os indicadores e variáveis latentes, e (4) incerteza de medição. Variáveis latentes não podem ser mensuradas diretamente e são representados nos diagramas como círculos ou elipses.

Figura 18 Elementos básico de um diagrama de caminho

SÍMBOLO	DEFINIÇÃO
 Ou	Variável latente (VL) ou constructo.
	Indicador ou variável observada.
	Correlação entre VL e indicador (submodelo de mensuração).
	Relação causal entre VL independente exógena e VL dependente endógena (submodelo estrutural).

Fonte: Adaptado de Ringle; Da Silva e Bido (2014)

Os indicadores ou variáveis observadas são diretamente coletadas (dados brutos) e representadas nos diagramas de caminho como retângulos. Também denominados como itens ou variáveis manifestas, nesse trabalho foi adotado o termo “indicador” para expressar esse tipo de variável.

Os relacionamentos entre as variáveis indicam hipóteses do modelo de caminho e são evidenciados como setas unilaterais, refletindo uma relação preditiva/causal. As incertezas caracterizam a variabilidade inexplicada quando o modelo de caminho é estimado, e são apresentadas como setas conectadas às variáveis latentes e nos indicadores. O modelo de caminho possui dois submodelos, o submodelo de mensuração (externo) e o estrutural (interno).

O submodelo de mensuração aponta como os indicadores influenciam as variáveis latentes. Segundo Hair Jr et al. (2016), esse submodelo está relacionado ao uso de análise fatorial que determina a forma como as variáveis latentes são estimadas a partir dos indicadores.

Já o submodelo estrutural indica as associações entre as variáveis latentes exógenas e endógenas (ver Figura 17). A determinação das relações entre as variáveis latentes é precedida do desenvolvimento de hipóteses estipuladas segundo um embasamento teórico. Além da teoria que fundamenta o posicionamento das variáveis latentes no submodelo estrutural, a experiência do pesquisador também pode ser considerada.

Quando o submodelo estrutural é desenvolvido, a sequência é da esquerda para direita. As variáveis do lado esquerdo são as variáveis latentes independentes e exógenas, e qualquer uma do lado direito é uma variável latente dependente endógena. Para verificação da significância das hipóteses de relação entre as variáveis, cálculos simultâneos são realizados

visando determinar os coeficientes de correlação de Persson e o coeficiente de determinação. O coeficiente de determinação apresenta informação sobre a variância explicada de cada termo endógeno do modelo.

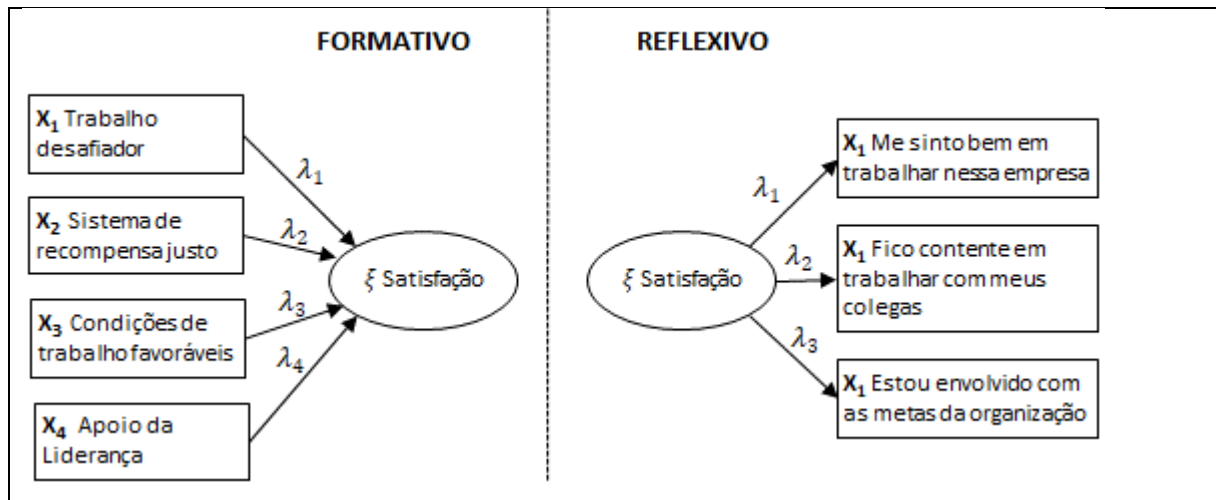
3.4.2 Abordagem formativa e reflexiva

No desenvolvimento do MEE, o pesquisador deve analisar as características dos fatos em estudo e verificar se o modelo apresenta características formativas ou reflexivas. Em uma abordagem reflexiva, os indicadores são efeitos e não as causas da VL abordada. Ou seja, mudanças na VL é que causarão alterações nos indicadores (CASTAÑO-MARTÍNEZ; MÉNDEZ-PICAZO; GALINDO-MARTÍN, 2015). Na abordagem reflexiva, se eliminarmos um indicador por não ser importante, os outros indicadores manterão o significado da variável latente. Espera-se que haja correlação entre os indicadores nos modelos que seguem a abordagem reflexiva, pois representam estimativas do mesmo fenômeno.

A abordagem formativa é menos comum, mas igualmente plausível. Combinam-se vários indicadores para formar uma VL sem quaisquer pressupostos quanto aos padrões de correlação entre esses indicadores. Nessa abordagem, além da relação de causalidade do indicador para com a VL, adicionar ou remover um indicador pode alterar o domínio conceitual da VL (HAIR JR et al., 2016).

A Figura 19 apresenta a abordagem formativa e reflexiva para a mesma VL (satisfação com hotel). Pode-se observar que os indicadores na abordagem formativa são as causas da satisfação com a empresa. Já na abordagem reflexiva a relação é inversa, os indicadores são efeitos das variáveis latentes (VINZI; TRINCHERA; AMATO, 2010).

Coltman et al (2008) sugere três considerações teóricas que são utilizadas para decidir qual a abordagem deve ser aplicada: (1) a natureza da variável latente, (2) a direção da causalidade entre os indicadores e a VL, e (3) as características dos indicadores usados para medir a VL.

Figura 19 Abordagem formativa e reflexiva

Fonte: o autor

O Quadro 2 resume as considerações teóricas proposta posta por Coltman et al (2008). No que diz respeito à abordagem reflexiva, a literatura científica sinaliza que a VL existe independentemente dos indicadores, como por exemplo estudos sobre atitudes e personalidade (ROSSITER, 2002). Pelo contrário, na abordagem formativa a VL é dependente e formada por um conjunto de indicadores, como por exemplo a composição de índices econômicos e sociais (BORSBOOM; MELLEBERGH; VAN HEERDEN, 2004; EBOLI; FORCINITI; MAZZULLA, 2018).

Quadro 2 Considerações teóricas para avaliar modelos reflexivos e formativos:

Considerações	Modelo reflexivo	Modelo formativo	Literatura
1. Natureza da variável latente	A variável latente existe independente dos indicadores	A variável latente é formada como uma combinação de indicadores	Borsboom; Mellenbergh; Van Heerden, (2004)
2. Direção de causalidade	Causalidade da variável latente para indicadores <ul style="list-style-type: none"> ▪ Variação na variável latente provoca variação no indicador 	Causalidade de indicadores para a variável latente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Variação no indicador provoca variação na variável latente 	(Bollen; Lennox, 1991); Edwards; Bagozzi, (2000); Rossiter, (2002) Jarvis; Mackenzie; Podsakoff, (2003)
3. Características dos indicadores	Indicadores são manifestados pela variável latente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Indicadores compartilham um tema comum ▪ Os indicadores são intercambiáveis ▪ Adicionar ou descartar um item não altera o domínio conceitual da variável latente 	Indicadores definem a variável latente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Indicadores não precisam compartilhar um tema comum ▪ Os indicadores não são intercambiáveis ▪ Adicionar ou descartar um indicador pode alterar o domínio conceitual da variável latente 	Rossiter, (2002) Jarvis; Mackenzie; Podsakoff, (2003)

Fonte: Adaptado de Coltman et al. (2008)

A segunda consideração teórica proposta por Coltman et al (2008) é a direção da causalidade. Os submodelos de mensuração reflexivos assumem que a causalidade flui da VL para os indicadores, enquanto nos formativos a causalidade flui dos indicadores para a VL. Isso reforça o fato que em submodelos reflexivos, mudança na variável latente causa alterações nos indicadores, enquanto nos submodelos formativos, mudanças nos indicadores resulta em alteração na VL.

Por fim, a consideração teórica sobre as características dos indicadores sugere que, em um modelo reflexivo todos os indicadores compartilham um tema e são intercambiáveis. Inclusão ou exclusão de um, ou mais indicadores do domínio não altera a validade da variável latente. De maneira oposta, em submodelos de mensuração formativos, o domínio conceitual da variável latente é sensível ao número e tipos de indicadores.

3.4.3 Critérios de verificação da modelagem

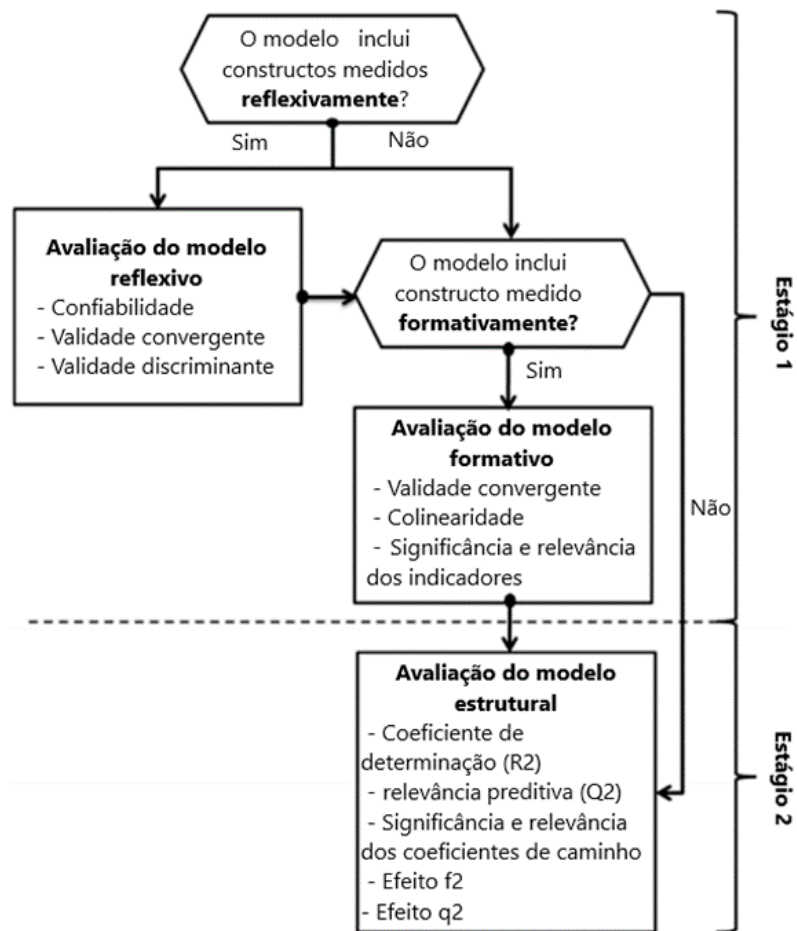
A técnica estatística de análise fatorial é utilizada no submodelo de mensuração para verificar relação entre a VL e os indicadores. No submodelo estrutural, as análises de regressão e análise de caminhos são empregadas para identificar relações significativas entre as variáveis latentes (KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017).

Alguns critérios são necessários para verificar a validade e confiabilidade do submodelo de mensuração, bem como a significância e relevância do submodelo estrutural. Para organizar a aplicação dos critérios, Ringle et al. (2018) propôs um guia para avaliar os resultados de modelagens de equações estruturais usando mínimos quadrados parciais (PLS-MEE).

O passo-a-passo é constituído de dois estágios conforme apresentado na Figura 20. O estágio 1 está relacionado à avaliação do submodelo de mensuração que utiliza critérios diferentes se a abordagem for reflexiva ou formativa. O estágio 2 trata da avaliação do submodelo estrutural.

Nos itens seguintes são abordados os diversos índices e os critérios adotados para verificar os resultados da modelagem.

Figura 20 Guia para avaliação da PLS-MEE



Fonte: Adaptado de (RINGLE et al., 2018)

3.4.4 Verificação do submodelo de mensuração

A confiabilidade do submodelo de mensuração representa a consistência interna entre os valores dos indicadores de uma VL, ou seja, traduz o grau de confiança do quanto os valores estimados retratam fidedignamente o conceito da VL.

O estágio 1, referente a avaliação da PLS-MEE, se inicia examinando as cargas fatoriais dos indicadores, quando as variáveis latentes são mensuradas utilizando a abordagem reflexiva. Valores acima de 0,70 indicam que a VL explica mais de 50% da variação do indicador, revelando que o indicador exibe um grau satisfatório de confiabilidade (HAIR JR et al., 2016).

Em seguida a confiabilidade é avaliada quantos aos critérios de confiabilidade composta, α de Cronbach e ρ_A (HAIR et al., 2010). Ao usar o PLS-MEE a confiabilidade composta (ρ_c de Jöreskog) é definida da seguinte forma:

$$\rho_c = \frac{(\sum_{k=1}^K l_k)^2}{(\sum_{k=1}^K l_k)^2 + \sum_{k=1}^K var(e_k)} , \quad (3)$$

onde l_k representa a carga externa do indicador k de uma variável latente específica medida com K indicadores, e_k é o erro de medição do indicador k , e $var(e_k)$ denota a variância do erro de medição.

Para o critério de **confiabilidade composta** (CC), valores maiores indicam níveis mais altos de confiabilidade. Por exemplo, os pesquisadores podem considerar valores entre 0,60 e 0,70 como “aceitáveis em pesquisas exploratórias”, enquanto resultados entre 0,70 e 0,95 representam níveis de confiabilidade “satisfatórios a bons” (HAIR JR et al., 2016). No entanto, valores muito altos (por exemplo, maiores que 0,95) são problemáticos, pois sugerem que os indicadores são quase idênticos e redundantes (DIAMANTOPOULOS et al., 2012)

O α de Cronbach é outro parâmetro que avalia a confiabilidade da consistência interna, e assume os mesmos limites citados anteriormente, mas produz valores mais baixos do que a CC (SARSTEDT et al., 2014). Esse critério é definido conforme Equação 4, onde K representa o número de indicadores da VL, e \bar{r} indica o coeficiente de correlação do indicador não redundante médio (ou seja, a média da matriz de correlação triangular inferior ou superior):

$$\alpha \text{ de Cronbach} = \frac{K \cdot \bar{r}}{(1 + (K - 1) \cdot \bar{r})} \quad (4)$$

Geralmente, em PLS-MEE o α de Cronbach é o limite inferior, enquanto a CC é o limite superior de confiabilidade da consistência interna do submodelo de mensuração reflexiva (VINZI; TRINCERA; AMATO, 2010). Portanto, deve ser considerado ambos critérios na avaliação da confiabilidade. Uma boa prática é considerar a avaliação do coeficiente de confiabilidade ρ_A , que geralmente retorna um valor entre o α de Cronbach e a confiabilidade composta (DIJKSTRA; HENSELER, 2015).

O próximo passo na avaliação de submodelos de mensuração reflexiva aborda a validade convergente, que é a medida em que uma VL converge em seus indicadores e explica a variação dos mesmos (RINGLE et al., 2018). A validade convergente é avaliada pela média da variância extraída (*average variance extracted* MVE/AVE) de todos os indicadores associados a uma determinada VL. O valor calculado indica a proporção de variabilidade dos indicadores que é explicada pela variável latente. A MVE/AVE é calculada como a média das cargas quadradas de cada indicador associado a uma VL.

$$AVE = \frac{\sum_{k=1}^K l_k^2}{K}, \quad (5)$$

onde l_k e K são definidos como explicado na equação (3). Um limite aceitável para a MVE é 0,50 ou superior (NUNNALLY; BERNSTEIN, 1994). Esse valor indica que, em média, a variável latente explica (mais de) 50% ou mais da variância de seus indicadores.

Uma vez que a confiabilidade e a validade convergente do modelo reflexivo tenham sido estabelecidas com sucesso, a etapa final é avaliar sua validade discriminante. Esta análise revela em que proporção uma VL é distinta de outras variáveis latentes. É verificado quanto uma VL se correlaciona com outras variáveis latentes, e quanto distintamente os indicadores representam apenas essa VL única (HAIR et al., 2014). Fornell e Larcker (1981) propuseram um método que indica validade discriminante adequada quando a raiz quadrada da VME de uma variável latente é maior que as correlações (de Pearson) com as demais VL.

A avaliação dos modelos formativos envolve a verificação dos critérios referentes à (i) validade convergente, (ii) colinearidade do indicador e (iii) significância e relevância estatística (HAIR JR et al., 2016).

A validade convergente no modelo formativo é determinada utilizando o mesmo critério do reflexivo. Já a avaliação de colinearidade envolve o cálculo do fator de inflação de variância (*variance inflation factor* FIV/VIF) de cada indicador, executando uma regressão múltipla de todos os outros indicadores da mesma variável latente (SARSTEDT et al., 2014).

O cálculo do FIV/VIF é realizado pela seguinte fórmula:

$$VIF_k = \frac{1}{1-R_k^2}, \quad (6)$$

onde R_k^2 representa o coeficiente de determinação parcial de X_k em relação as demais variáveis X_k , (com $k = 1, 2, \dots, k$). Como regra geral, os valores de VIF acima de 5 são indicativos de colinearidade entre os indicadores.

O terceiro passo na avaliação das VL na abordagem formativa é examinar a significância e relevância estatística dos pesos dos indicadores. Em contraste com a análise de regressão, o PLS-MEE não faz nenhuma suposição quanto a distribuição dos valores de erro, o que facilitariam o teste imediato da significância dos pesos com base na distribuição normal (SARSTEDT et al., 2014). Para tanto, é recomendável ao pesquisador utilizar o procedimento estatístico do *bootstrapping*, o qual é uma técnica não-paramétrica que permite a avaliação da variabilidade de estatísticas com base nos dados de uma única amostra existente. O método consiste em realizar amostragens de tamanho igual ao da amostra original com reposição da

mesma. Esse procedimento é feito muitas vezes, obtendo-se assim, as estimativas de parâmetros que serão usados para elaborar a distribuição *bootstrapping* (EFRON; TIBSHIRANI, 1994).

A utilização da distribuição gerada pelo *bootstrapping* permite calcular o desvio-padrão e determinar a significância estatística das variáveis originais. Ou seja, a média e o desvio-padrão obtidos pelo *bootstrapping* possibilita a utilização da distribuição *t de Student* e determinar o valor-*p*. A distribuição *t de Student* é utilizada como aproximação da distribuição normal padrão para amostras pequena e o valor-*p* corresponde a probabilidade de significância obtida do teste, cujo valor deve ser menor ou igual ao nível de significância estabelecido para se aceitar ou rejeitar uma hipótese (BARBETTA, 2002).

Ao interpretar os resultados, deve-se estar ciente que o *bootstrapping* é um processo aleatório, que produz resultados diferentes toda vez que é empregado. Por outro lado, os resultados da utilização pela técnica não diferem fundamentalmente quando se manipula um grande número de amostras, como por exemplo 5 000. (RINGLE et al., 2018).

Hair Jr et al. (2016) propõe as seguintes regras gerais para avaliação da significância:

- Se o peso for estatisticamente significativo, o indicador é mantido.
- Se o peso não é significativo, mas a carga do indicador é de 0,50 ou maior, o indicador ainda é mantido se a teoria e o julgamento do pesquisador apoiarem sua manutenção.
- Se o peso não for significativo e a carga for baixo (ou seja, abaixo de 0,50), o indicador deve ser excluído do submodelo de mensuração.

Diamantopoulos et al. (2012) alertam quanto à cautela em excluir indicadores formativos baseados em resultados estatísticos por pelo menos dois motivos. Primeiro: o peso do indicador é uma função do número de indicadores usados para medir uma VL, ou seja, quanto maior o número de indicadores, menor o seu peso médio. Em outras palavras, os submodelos de mensuração formativa têm um limite inerente à quantidade de indicadores que podem ter um peso estatisticamente significativo. Segundo: os indicadores formativos explicam a VL, logo a exclusão de um indicador deve ser considerada com cuidado, e geralmente deve ser a exceção. Considerações fenomenológicas são fundamentais antes de excluir indicadores formativos.

Tendo avaliado a significância estatística dos pesos dos indicadores formativos, a etapa final é examinar a relevância de cada indicador para modelar a VL. Os pesos dos indicadores são padronizados para valores que geralmente estão entre -1 e +1. Pesos mais próximos de +1 são relevantes e demonstra relacionamentos positivos fortes. Pesos próximos de -1 são igualmente relevantes e apresenta relacionamentos negativos fortes. Já pesos mais próximos de 0 indica fraco relacionamento e baixa relevância.

3.4.5 Verificação do submodelo estrutural

Desde que a avaliação do modelo de mensuração indique qualidade satisfatória, a próxima etapa é a verificação do submodelo estrutural, conforme estágio 2 do processo de avaliação PLS-MEE, (ver Figura 20). De acordo com Hair et al. (2014) a avaliação dos resultados do submodelo estrutural permite verificar as relações entre as VL e determinar como os dados empíricos suportam a teoria/conceitos da pesquisa quanto a capacidade preditiva quanto ao tema em estudo. Os principais critérios para avaliar o modelo estrutural PLS-MEE são a significância dos coeficientes de caminho, os valores de R^2 , o tamanho do efeito f^2 , a relevância preditiva Q^2 e o tamanho do efeito q^2 . Esses critérios são apresentados a seguir.

A análise de caminho é um procedimento estatístico que verifica a força das relações entre as variáveis latentes usando a matriz de correlação (HAIR JR et al., 2016). Segundo o autor, os coeficientes de caminho estimados próximos a -1 ou +1 representam fortes relações negativas ou positivas. Quanto mais próximos os coeficientes estimados forem de 0, mais fracos serão os relacionamentos. Para averiguar se um coeficiente é significativo é necessário calcular seu desvio-padrão que é obtido por meio de *bootstrapping*, técnica estatística igualmente utilizada na análise do submodelo de mensuração formativo. O desvio-padrão do *bootstrapping* permite calcular o valor *t-Student* e conseqüentemente sua significância estatística. Quando o valor t é maior que o valor crítico, é dito que o coeficiente é significativo para o nível de significância estabelecido. Os valores críticos comumente usados para testes com duas caudas são 1,65 (nível de significância = 10%), 1,96 (nível de significância = 5%) e 2,57 (nível de significância = 1%).

A próxima etapa envolve a verificação do R^2 , que indica a variância explicada em cada uma das variáveis latentes endógenas. Os valores de R^2 referente ao nível em que as VL exógenas explicam as endógenas estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 Classificação dos valores de R^2 para análise comportamental

Valores de R^2	Nível em que as VL exógenas explicam as VL endógenas
> 0,26	Satisfatório
(0,26 a 0,13]	Moderado
(0,13 a 0,02]	Fraco
< 0,02]	Não explica

Fonte: Dijkstra e Henseler (2015)

O R^2 varia entre 0 a 1, e valores mais altos indicam maior capacidade preditiva. Dijkstra e Henseler (2015) afirmam que para análise comportamental, valores de R^2 acima de 0,26 se considera que o nível em que as VL exógenas explicam as VL endógenas é satisfatório; e valores abaixo de 0,02 são insuficientes.

Além do cálculo de R^2 de todas as VL endógenas, verificar a alteração no valor de R^2 quando uma VL exógena é omitida do modelo pode ser usada para avaliar se a VL omitida tem um impacto significativo na explicação das VL endógenas (SARSTEDT et al., 2014). Esse critério é definido como o tamanho do efeito f^2 e pode ser calculada conforme a Equação 7:

$$f^2 = \frac{R_{incluido}^2 - R_{excluido}^2}{1 - R_{incluido}^2}, \quad (7)$$

onde R^2 incluído e R^2 excluídos são os valores de R^2 da variável latente endógena quando um preditor específico é incluído ou excluído do modelo. Tecnicamente, a mudança nos valores de R^2 é calculada estimando-se duas vezes uma regressão parcial específica no modelo estrutural. Primeiro, estima-se com todas as variáveis latentes exógenas incluídas (R^2 incluído) e, segundo, com uma variável latente exógena selecionada excluída (R^2 excluído). Como diretriz, o nível do efeito do f^2 de uma variável latente exógena pode ser classificado conforme a Tabela 2.

Tabela 2 Classificação dos valores do efeito f^2

Valores de f^2	Nível do efeito da VL excluída
> 0,35	Grande
(0,35 a 0,15]	Médio
(0,15 a 0,02]	Pequeno
< 0,02	Não há efeito

Fonte: Cohen, (2013)

Valores de tamanho de efeito acima de 0,35 indicam um grande impacto da VL excluída no valor de R^2 , enquanto valores inferiores a 0,02 indicam que não há impacto. Ou seja, verifica-se o quanto uma VL preditora contribui para o valor de R^2 da VL alvo da análise no modelo estrutural (COHEN, 2013)

O valor Q^2 de Stone-Geisser é um critério para de avaliar a precisão preditiva do submodelo estrutural que se baseia no procedimento de *blindfolding*. (FORNELL; BOOKSTEIN, 1982). Essa técnica estatística de reamostragem omite e prevê sistematicamente todos os pontos de dados dos indicadores no modelo de mensuração reflexivo. O processo é repetido até que todo ponto de dados tenha sido omitido e o modelo reajustado. Quanto menor a diferença entre os valores previstos e os valores originais, maior o critério Q^2 , portanto, a

precisão e relevância preditiva do modelo (CHIN, 1998). Como regra geral, os valores de Q^2 maiores que zero para uma determinada VL endógeno indicam que a precisão preditiva do modelo de caminho é aceitável.

Analogamente ao tamanho do efeito f^2 , os pesquisadores podem analisar o tamanho do efeito q^2 , que indica a mudança no valor do Q^2 quando uma construção exógena especificada é omitida do modelo. Como uma medida relativa de relevância preditiva, os valores de q^2 de 0,02, 0,15 e 0,35 indicam que uma VL exógena tem uma relevância preditiva pequena, média ou grande para uma determinada VL endógena.

3.4.6 Equações dos submodelos estrutural e de mensuração

A equação para o submodelo estrutural pode ser expressa da seguinte maneira (BOLLEN, 1989):

$$\eta = \beta\eta + \gamma\xi + \zeta, \quad (8)$$

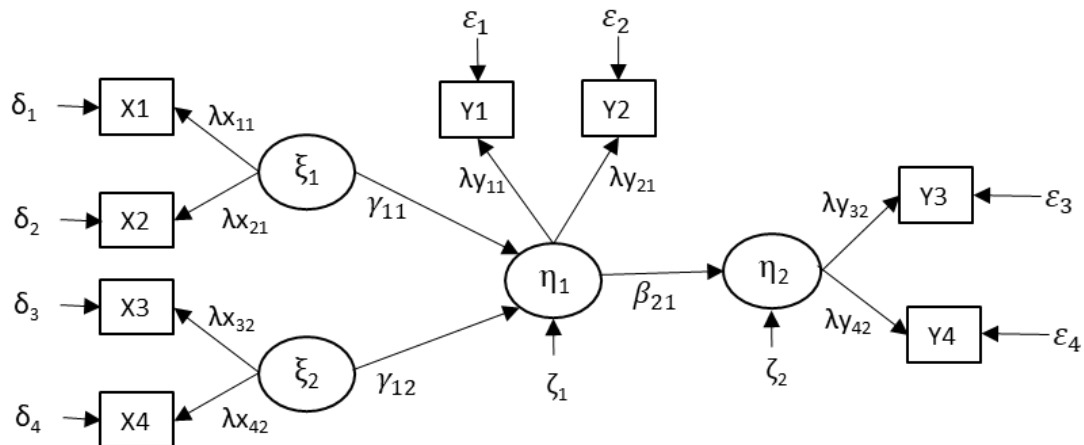
onde η e ξ são os vetores das variáveis latentes endógenas e exógenas. O vetor ζ indica os erros das VL nas equações, enquanto β e γ representam a matriz de coeficientes das variáveis latentes endógenas e exógenas, respectivamente.

As equações 9 e 10 expressam o submodelo de mensuração relativo aos indicadores:

$$x = \lambda_x \xi + \delta \quad (9)$$

$$y = \lambda_y \eta + \varepsilon, \quad (10)$$

onde x é o vetor das variáveis exógenas; λ_x é a matriz de coeficientes que associa os indicadores e as variáveis exógenas latentes; δ é o vetor dos erros de medição nas variáveis exógenas; y é o vetor das variáveis endógenas; λ_y é a matriz de coeficientes que correlaciona os indicadores e as variáveis endógenas latentes, e ε é o vetor dos erros de medida nas variáveis endógenas. A Figura 21 indica a representação gráfica dos submodelos estrutural e de mensuração com os coeficientes das equações.

Figura 21 Representação gráfica dos coeficientes das equações estruturais.

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5 Determinação do tamanho da amostra em PLS-MEE

Apesar da PLS-MEE ser uma abordagem de modelagem flexível, principalmente para amostras pequenas, algumas diretrizes gerais devem ser observadas. Marcoulides e Saunders (2006), propuseram uma tabela que apresenta o tamanho da amostra a partir do número máximo de setas que aponta para uma variável latente, conforme especificado no modelo estrutural teórico (ver Tabela 3).

Tabela 3 Tamanho de amostra sugerido para uma PLS-MEE

Tamanho mínimo da amostra necessária	Máximo de setas apontando para uma variável latente
52	2
59	3
65	4
70	5
75	6
80	7
84	8
88	9
91	10

Fonte: Marcoulides e Saunders (2006)

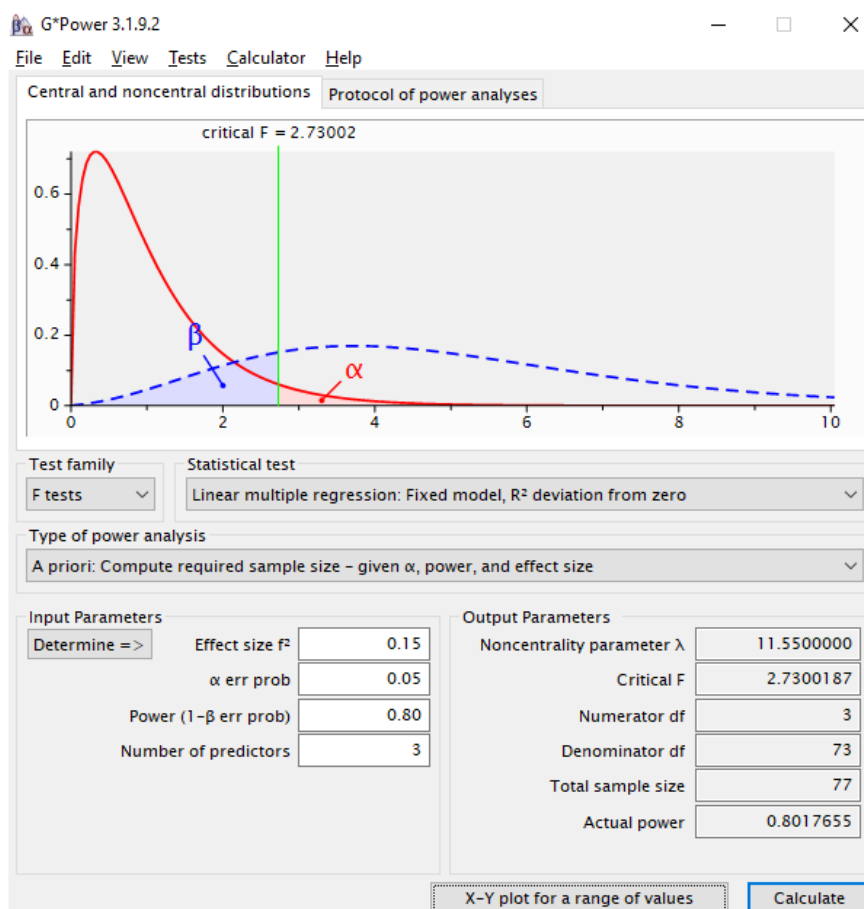
Por outro lado, Hair Jr et al. (2016) sugerem que o tamanho da amostra pode ser determinado pelos seguintes fatores em um modelo de equação estrutural:

1. O nível de significância;
2. O poder estatístico;
3. O coeficiente mínimo de determinação (valores R^2) usado no modelo;
4. O número máximo de setas apontando para uma variável latente.

Como regra geral, os autores recomendam, para um estudo típico de pesquisa social, um nível de significância de 5%, um poder estatístico de 80% e valores mínimos de R^2 de pelo menos 0,1. Usando tais parâmetros, o tamanho mínimo de amostra necessário pode ser estimado por meio de softwares gratuitos como o G*Power (FAUL et al., 2009).

A Figura 22 mostra o resultado do teste no software para uma variável latente que possui 3 preditores. Para tanto deve-se inserir o tamanho do efeito f^2 no valor mediano de 0,15, recomendado tanto por Cohen (2013) e Hair Jr et al. (2016). Em seguida, coloca-se o nível de significância de 5% e o poder estatístico de 80%, conforme recomendado pelos autores. Assim, a amostra mínima calculada para o exemplo deve ser de 77 casos.

Figura 22 Tela do software G*POWER com o cálculo da amostra mínima do exemplo.



Fonte: FAUL et al., 2009.

3.6 Considerações finais

Identificar os fatores determinantes que influenciam o comportamento do indivíduo tanto qualitativamente quanto quantitativamente tem sido tema de muitos estudos e teorias. Foi apresentado nesse capítulo três abordagens utilizadas no meio acadêmico: a teoria do comportamento planejado (TCP), modelo de ativação de normas (MAN) e a teoria do comportamento interpessoal (TCI).

Como as referências estudadas apresentaram evidências da utilização da TCP para explicar as intenções e o comportamento do uso de energia, essa teoria foi escolhida como base dessa pesquisa. Além disso, foi incorporada a VL normas morais pessoais na concepção do modelo estendido da TCP visando aumentar a previsão do comportamento alvo.

O desenvolvimento de melhores dispositivos computacionais aumentou o processamento de grandes quantidades de dados e tornou possível o uso de técnicas avançadas de análise multivariada, como a modelagem de equações estruturais (MEE). Essa técnica envolve a aplicação de métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas variáveis estimadas relativas a indivíduos, empresas, eventos, atividades, contextos e assim por diante.

Por essas razões, a MEE foi usada para encontrar e analisar as relações entre indicadores e variáveis latentes de uma abordagem ampliada da teoria do comportamento planejado.

O próximo capítulo será apresentado o método utilizado nessa pesquisa para realização da modelagem de equações estruturais e concepção do protocolo para melhoria da performance do trabalhador quanto às atividades de eficiência energética.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Marconi e Lakatos (2003) afirmam que a especificação do método de pesquisa tem o propósito de responder às questões: Como? Com que? Onde? Quando? A investigação deve ser feita, proporcionando condições para que o pesquisador tenha seus objetivos atendidos.

Assim, esse capítulo visa apresentar os percursos para realização da pesquisa e consequentemente alcançar os objetivos propostos desse trabalho.

4.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza da pesquisa de eficiência energética no ambiente industrial, se classifica a investigação como aplicada, pois visa solucionar problemas específicos com informações recentes (GIL, 1991). Quanto à abordagem, dois métodos diferentes (qualitativo e quantitativo) são adotados.

Segundo Silva e Menezes (2001), a pesquisa aplicada qualitativa é utilizada quando a relação entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito não pode ser traduzida em números, contudo, a pesquisa qualitativa permite a compreensão de certos fenômenos não abordados pelos métodos estatísticos, como o processo dinâmico vivido por grupos sociais.

A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável supondo uma população de objetos de observação comparável entre si, ou seja, as opiniões e informações podem ser expressadas em números para poder classificar e analisar.

Nesse trabalho foram utilizadas as abordagens quantitativa e qualitativa. A primeira empregada para a coleta de dados e utilização de instrumentos estatísticos, que visa identificar as variáveis determinantes que influenciam o comportamento do trabalhador. A segunda aplicada para definição e validação de um protocolo sociotécnico para melhoria da performance do trabalhador em um ambiente industrial.

Quanto aos objetivos, as pesquisas descritivas visam descrever características de uma determinada população ou fenômeno e procura descobrir e classificar a relação entre variáveis (MARCONI; LAKATOS, 2003). Essa pesquisa caracteriza-se como descritiva, pois analisa:

- Um protocolo sociotécnico para melhoria da performance do trabalhador quanto ao desempenho ambiental e energético no setor industrial.
- A relação de causa e efeito entre fatores que determinam o comportamento dos trabalhadores quanto a eficiência energética;

Quanto aos meios, essa investigação pode ser classificada como:

- Bibliográfica: uma vez que busca compreender melhor o problema de pesquisa por meio de teorias publicadas em diversos tipos de fontes como livros, artigos e teses, e assim, utilizar o conhecimento disponível para fundamentar o protocolo conceitual sociotécnico.
- Levantamento (*survey*): visto que para atingir os objetivos propostos da pesquisa é necessário coletar dados do ambiente de trabalho industrial questionando diretamente uma amostra de pessoas, cujas variáveis comportamentais se deseja analisar.
- *Ex-post facto*: pois, investiga relações de causa e efeito de fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência do fenômeno ocorrido.

Em resumo, essa pesquisa se classifica como descritiva com abordagem quali-quantitativa e que utiliza para seu desenvolvimento meios bibliográficos, levantamentos e a abordagem *ex-post facto*.

4.2 Etapas da pesquisa

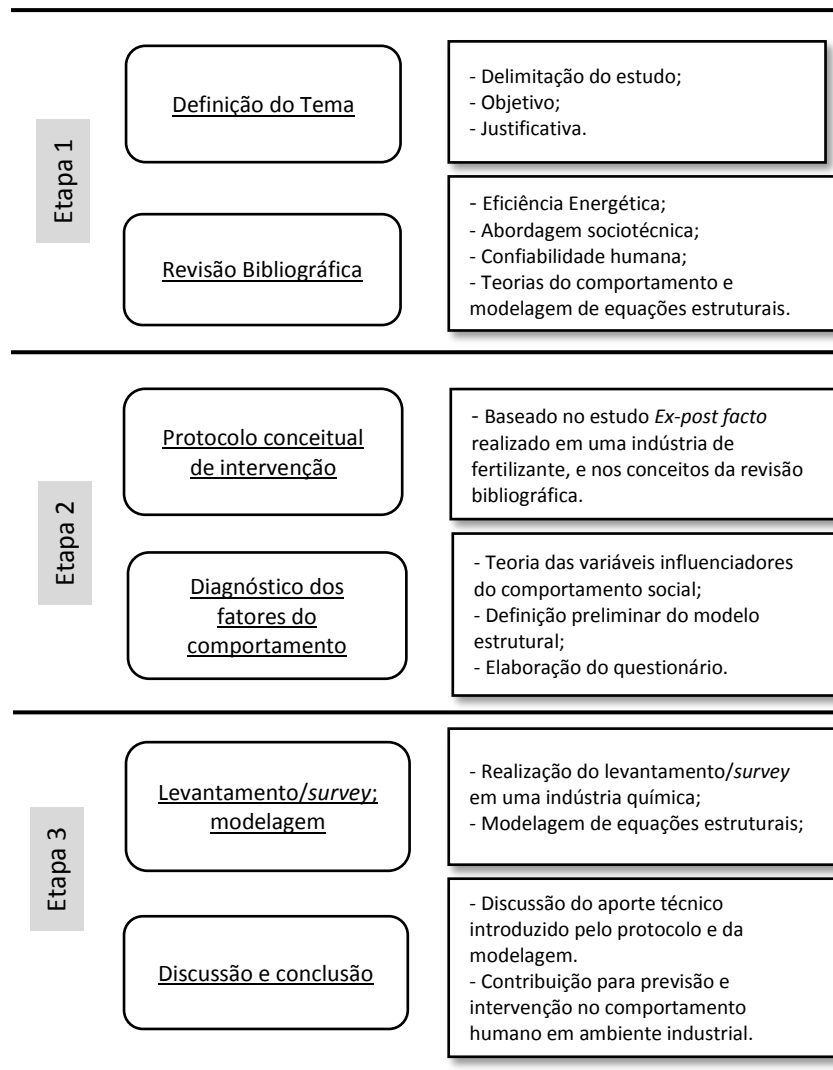
A Figura 23 apresenta as etapas da pesquisa. A etapa 1 é composta por dois itens: a definição do tema e revisão bibliográfica. O tema surgiu a partir de sugestões de futuros estudos da dissertação de mestrado do autor na área de gestão ambiental, bem como da possibilidade de contribuir no aporte de conhecimento para o grupo de pesquisa liderado pelos orientadores. Após a delimitação do estudo, foram estabelecidos os objetivos, assim como a justificativa da relevância da pesquisa. No segundo item, uma revisão da literatura foi realizada para fundamentar a identificação das variáveis influenciadoras do comportamento, e embasar a proposição de uma proposta para aumentar o engajamento dos trabalhadores em ações de eficiência energética. Foi confirmada uma lacuna em estudos do comportamento quanto à eficiência energética em ambientes industriais, e constatado a teoria do comportamento planejado como a abordagem mais aceita em pesquisa do comportamento social. São revisadas questões referentes às iniciativas para identificar, analisar e implementar ações para melhorar o desempenho energético das empresas; o modelo de barreira para eficiência energética; a teoria do sistema sociotécnico; a confiabilidade humana, e como o comportamento humano está inserido nesse quadro.

Na etapa 2, iniciou-se um estudo qualitativo com a utilização da técnica *ex-post facto* de um trabalho realizado pelo grupo de pesquisa organizado pelos orientadores em uma indústria de fertilizante. A empresa demandou um trabalho para melhorar o desempenho ambiental e energético na sua planta industrial. A partir do estudo empírico realizado pelo grupo de pesquisa, e da revisão bibliográfica elaborada pelo autor, o método utilizado foi melhorado e sistematizado em um protocolo o qual foi denominado PROMPT. O protocolo incorpora conceitos e ferramentas utilizadas na abordagem sociotécnica, engenharia de sistemas cognitivos, e da análise da confiabilidade humana com o objetivo de influenciar o comportamento do trabalhador em ambientes industriais controlados.

Em paralelo, um estudo quantitativo é ajustado visando utilizar a técnica estatística de modelagem de equações estruturais no tratamento dos dados relativos ao diagnóstico das variáveis influenciadoras do comportamento. O diagnóstico teve como referência uma estrutura estendida da teoria do comportamento planejado, com a inclusão de duas variáveis latentes referente às normas morais e confiabilidade humana. As variáveis latentes foram preliminarmente definidas para permitir a elaboração do questionário, e posteriormente a coleta de dados.

Na etapa 3 foi realizado o levantamento (*survey*), a modelagem de equações estruturais, a discussão dos resultados e finalmente a conclusão da pesquisa. Após a aplicação do questionário, uma abordagem exploratória foi realizada para avaliar a relação de causa e efeito das variáveis latentes do modelo estrutural estendido da TCP. Para tanto, o software SMART-PLS foi empregado para a modelagem de equações estruturais, visando averiguar as relações causais das variáveis latentes que apresentasse confiabilidade e validade dos resultados. Os dados estatísticos do modelo da TCP sem modificações foram calculados, e usados como linha de base para destacar a melhoria na variância explicada (R^2) da variável que se queria prever — comportamento quanto à eficiência energética. A definição das relações de causa e efeito das variáveis em estudo possibilitou não só a identificação dos determinantes que influenciam o comportamento quanto à eficiência energética, como também discutir os desvios encontrados e sugerir recomendações. Quanto ao protocolo conceitual, é discutido os resultados alcançados no estudo empírico realizado em uma indústria de fertilizante, e o aporte técnico introduzido a partir da estruturação do PROMPT.

Figura 23 Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Descrição da amostra

O levantamento (*survey*), foi realizado com a aplicação de um questionário em uma indústria química localizada no estado brasileiro da Bahia. Essa empresa produz um pigmento químico inorgânico que é usado para colorir quase todos os materiais. Gerentes, supervisores, operadores e colaboradores do setor administrativo participaram como respondentes na pesquisa. Para obter uma amostra representativa e com um valor de 95% no coeficiente de confiabilidade da resposta, foi enviado um e-mail aos funcionários da empresa explicando o objetivo da pesquisa e o link do questionário em anexo. De um total de 102 respondentes, foram validados 99 questionários preenchidos. Essa quantidade foi acima do valor mínimo calculado de 77 observações para alcançar um poder estatístico de 80% visando detectar valores de R^2 de pelo menos 0,1, com nível de significância de 5% (MAYR et al., 2007; HAIR JR et al., 2016).

Foi utilizado a técnica estatística multivariada de modelagem de equações estruturais para tratar os dados coletados. Jöreskog e Sörbom, (1993) distinguiram três possíveis aplicações da modelagem de equações estruturais: (i) estritamente confirmatória; (ii) uso de modelos alternativos e (iii) geração de modelos. Na primeira aplicação, o pesquisador tem um modelo único que é aceito ou rejeitado, com base em se ele corresponde ou não aos dados. O segundo caso é um pouco mais frequente que o primeiro, porém, ainda restrito a situações em que há mais de um modelo apropriado. A terceira situação ocorre quando o modelo inicial não se ajusta aos dados. Nesses casos, o modelo é modificado pelo pesquisador e analisado novamente com os mesmos dados, de modo a descobrir um modelo que tenha significado em termos teóricos e apresente correspondência estatística razoável com os dados coletados. Essa pesquisa corresponde a terceira situação da aplicação da MEE.

4.4 Conteúdo e projeto do questionário de pesquisa

Para realizar o levantamento (*survey*) dessa pesquisa um questionário foi elaborado e aplicado via internet para obter os dados sobre os determinantes do trabalhador quanto ao comportamento em relação à eficiência energética. O questionário é dividido em três seções: a primeira é composta de uma introdução em que é explicado o objetivo da pesquisa e como responder a cada pergunta. A segunda seção inclui informações a serem fornecidas sobre as características demográficas dos participantes, como idade, nível de escolaridade, tempo na organização e ocupação. A última seção é composta das perguntas que medem as variáveis latentes do modelo estrutural. Antes da aplicação, o questionário foi enviado para ser avaliado pela direção da empresa e realização de um pré-teste por voluntários, incluindo gerentes e trabalhadores. Algumas pequenas alterações foram sugeridas para deixar claro o entendimento das questões.

As perguntas incluídas no questionário foram baseadas no modelo da TCP estendida mostrado na Figura 28. Os respondentes avaliam sobre vários aspectos do comportamento quanto à eficiência energética no local de trabalho, adaptados de alguns estudos (ZIERLER; WEHRMEYER; MURPHY, 2017; KUO et al., 2018). Uma escala de Likert de 1 (discordo totalmente) a 7 (concordo totalmente) foi usada para ponderar as respostas, e para verificar a consistência do questionário quanto a respostas distorcidas, calculou-se o α de Cronbach, cujo valor foi de 0,802 acima do valor mínimo de 0,7 para pesquisas sociais (PETERSON, 1994). Os indicadores que mensuram a atitude do trabalhador, norma subjetiva, controle do comportamento percebido e intenção de agir foram adaptados de Ajzen (1991) e Francis et al.

(2004) que fornecem instruções para preparar um questionário da TCP. Adicionalmente, foram utilizados os trabalhos de Wang et al. (2016), Yadav e Pathak (2016) e Zhang, Geng e Sun (2017). Os indicadores de mensuração da norma pessoal foram desenvolvidos seguindo-se trabalhos anteriores (BAMBERG; HUNECKE; BLÖBAUM, 2007; ONWEZEN; ANTONIDES; BARTELS, 2013; FORNARA et al., 2016). Quanto aos indicadores que mensura a VL — fatores modeladores do desempenho — foram adaptados da API770 (LORENZO, 2001) e do SPAR-H (GALYEAN et al., 2011). O Quadro 3 indica as referências utilizadas na elaboração do questionário. No Apêndice A encontra-se a estrutura do questionário/ indicadores, e os dados coletados podem ser verificados no Apêndice B e no link: <https://goo.gl/ST5Jdo>.

Quadro 3 Temas e Literatura do questionário de pesquisa

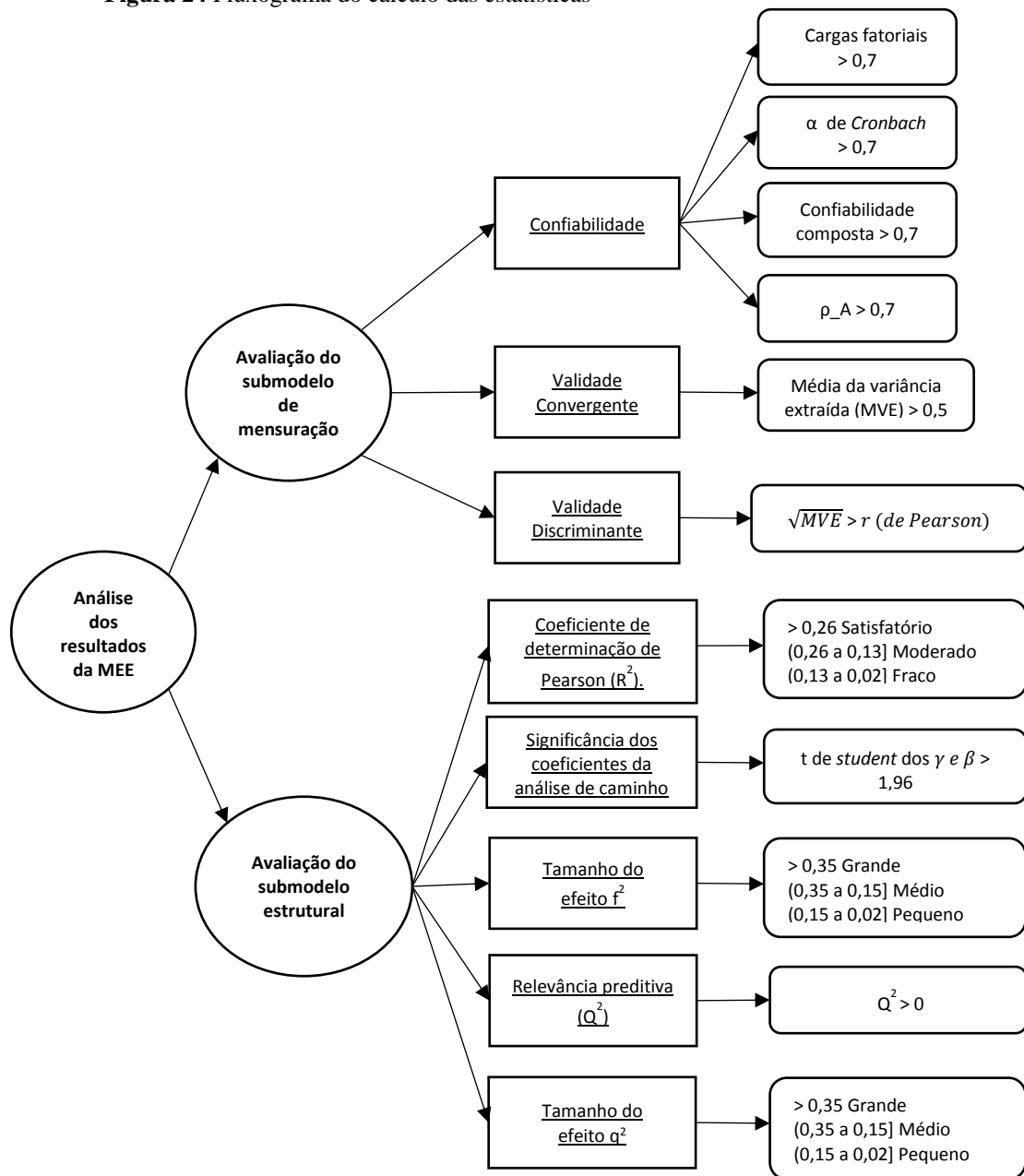
TEMA	REFERÊNCIA DA LITERATURA	Nº DA QUESTÃO	EXEMPLO DE QUESTÃO
Atitude do trabalhador em relação ao comportamento	Zierler; Wehrmeyer e Murphy (2017); Kuo et al. (2018).	Q1 - Q4	Para mim, adotar novas práticas de eficiência energética é estimulante.
Norma subjetiva	Ajzen (1991); Francis et al. (2004); Kuo et al. (2018).	Q5 – Q10	Meus colegas tomam medidas para economizar energia na minha empresa
Controle do comportamento percebido	Wang et al. (2016); Yadav e Pathak (2016)	Q14 – Q17	Adotar o comportamento de economizar energia depende inteiramente de mim
Intenção	Ajzen (1991); Francis et al. (2004); Zierler; Wehrmeyer e Murphy (2017).	Q18 – Q20	Vou me esforçar para realizar procedimentos que aumentem a eficiência energética na minha empresa
Comportamento quanto à eficiência energética	Ajzen (1991); Francis et al. (2004); Zierler; Wehrmeyer e Murphy (2017);	Q21 – Q23	Eu economizo energia no trabalho.
Norma Pessoal	Bamberg et al. (2007); Onwezen; Antonides; Bartels, (2013); Fornara et al., (2016).	Q11 - Q13	Eu tenho um compromisso de economizar energia para contribuir com a melhoria do meio ambiente.
Fator modelador do desempenho	Lorenzo (2001); Galyean et al. (2011).	Q24 – Q28	O stress do dia a dia no trabalho impede a adoção de melhorias no consumo de energia

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Fluxograma de cálculo das estatísticas

Conforme o guia para avaliação do PLS-MEE apresentado na Figura 20, e discutido no item 3.4.4 (Critérios de verificação da modelagem), o fluxograma do cálculo das estatísticas para avaliação dos resultados da MEE é apresentado na Figura 24.

Figura 24 Fluxograma do cálculo das estatísticas



Fonte: Elaborado pelo autor

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO CONCEITUAL SOCIOTÉCNICO

A revisão da literatura fornece a base e o suporte para estruturar não apenas o protocolo que possibilite induzir a conduta dos trabalhadores em um ambiente industrial, como também o diagnóstico das variáveis influenciadoras do comportamento.

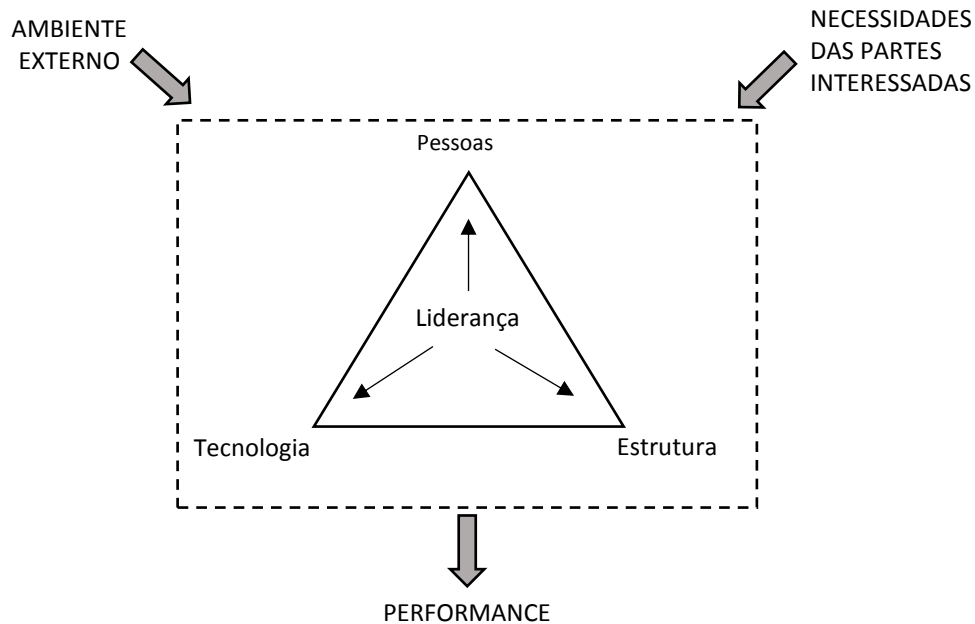
O protocolo de intervenção embasou-se no estudo empírico realizado, assim como na incorporação de conceitos e ferramentas da engenharia de sistemas cognitivos, confiabilidade humana e no regime sociotécnicos das organizações. As Figura 25 e Figura 26 sintetizam os pressupostos do **protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT)** apresentado na Figura 27.

O diagnóstico foi realizado por meio da aplicação de uma versão estendida da TCP, que possui duas variáveis latentes adicionais em relação ao modelo original. A Figura 28 apresenta o modelo estrutural estendido da TCP utilizado no diagnóstico. As hipóteses entre as variáveis latentes do modelo são discutidas nos itens correspondentes.

5.1 Protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT)

A maioria dos autores e citados no referencial teórico possuem como tema de investigação os fatores influenciam a cultura organizacional, a confiabilidade humana ou o comportamento pró-ambiental. Poucos autores contribuem com modelos e estruturas que permitam mudanças nos padrões de comportamento dos trabalhadores.

Dois pressupostos foram adotados no desenvolvimento do protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT). O primeiro refere-se aos elementos que influenciam o desempenho organizacional. Tendo como base as seguintes referências: (i) requisitos da ISO50001; (ii) a teoria da abordagem sociotécnica, e (iii) no comportamento organizacional que aponta a liderança como chave para criar e manter instituições bem sucedidas (KOTTER, 2006), essa tese propõe um arcabouço que permite visualizar os elementos fundamentais para o planejamento de intervenção na empresa, visando melhorar os resultados: pessoas, estrutura, tecnologia e liderança. Como mostra a Figura 25, todos esses elementos estão sob influência das partes interessadas e do ambiente externo.

Figura 25 Elementos influenciadores do desempenho organizacional

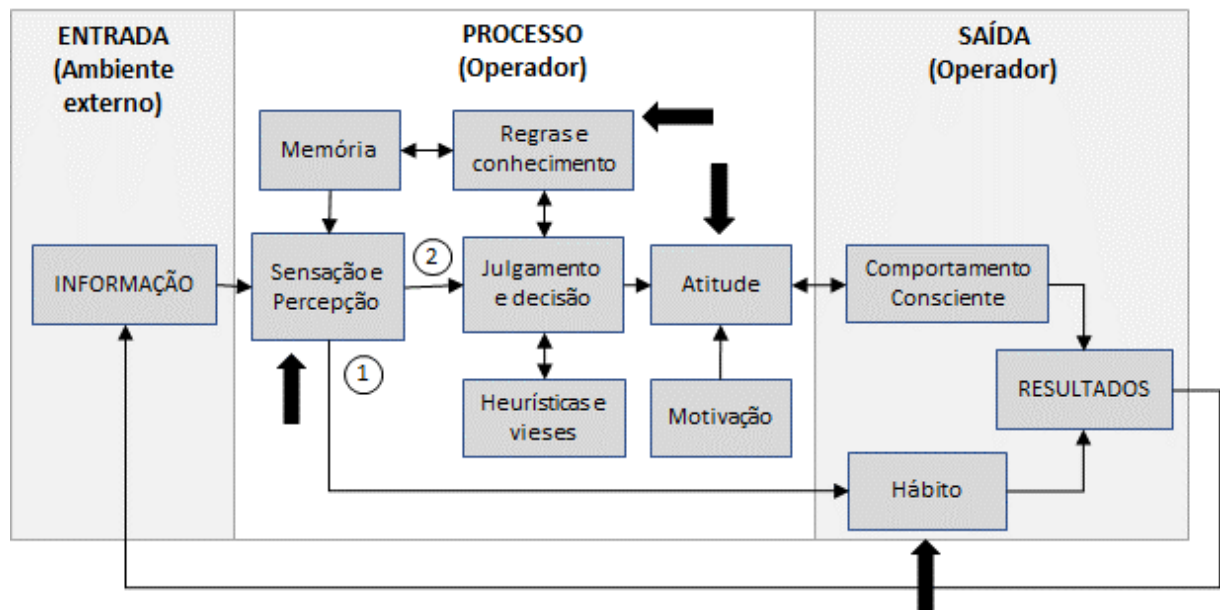
Fonte: Elaborado pelo autor

Pessoas em uma organização atuam individualmente ou em grupos, e compõe o sistema social da empresa. A Estrutura de qualquer empreendimento tem a função de definir os papéis, posições e relacionamentos das pessoas; a divisão do trabalho; aspectos de responsabilidade e autoridade. A Tecnologia fornece os recursos físicos (por exemplo, máquinas, ferramentas e métodos), permitindo que as pessoas realizem suas atividades. No entanto, o fator-chave na gestão de uma empresa são os líderes, que têm o papel de influenciar os outros elementos por meio de ações planejadas e coordenadas.

Dentre os elementos apresentados na Figura 25, foi definido como escopo do PROMPT auxiliar a liderança a definir e implementar ações que influenciem o comportamento dos trabalhadores sob sua coordenação, para a melhoria da eficiência energética.

O segundo pressuposto na elaboração do PROMPT refere-se ao processo de formação do comportamento do trabalhador. Referenciado nos conceitos da engenharia dos sistemas cognitivos, citada na revisão bibliográfica, é proposto na Figura 26 um mapa que retrata as etapas de formação do comportamento pelo indivíduo. As setas mais grossas da figura sinalizam os itens que são foco de intervenção do protocolo.

Figura 26 Mapa cognitivo do trabalhador



Fonte: Adaptado de WICKENS et al., (2015)

A Figura 26 indica que a interação das pessoas com o ambiente organizacional externo começa com a percepção da realidade através dos sentidos. Porém, os erros de percepção podem ser sérios e levar a danos irreversíveis. Apesar de existirem vários fatores que influenciam a percepção, algo para ser percebido deve atrair a atenção. O papel da atenção é agir como um filtro, e permitir que o cérebro selecione entre duas rotas cognitivas. A primeira é o caminho do hábito que se inicia quando o cérebro identifica um gatilho de situações familiares, e automaticamente começa as atividades memorizadas sem pensamento consciente. O tempo de resposta entre perceber a informação e executar um comportamento é rápido, porque todo esse processo é realizado instantaneamente por sinapses mentais consolidadas pela repetição sistemática.

Um dos objetivos do PROMPT é focar o caminho do hábito, pois esse comportamento está ancorado nas habilidades humanas. Apesar da eficácia desse processo mental, podem existir erros devidos a lapsos de memória ou deslizes de atenção causados pela variabilidade da própria condição humana, ou pela falta de verificação das mudanças nas condições externas.

A segunda rota cognitiva é o caminho racional e consciente. Após a informação ser percebida, o processo de julgamento é realizado para a tomada de decisão e a formação da atitude. O cérebro analisa se a informação corresponde a uma regra ou um conhecimento previamente aprendido e armazenado na memória. Todavia, esse processo é influenciado por atalhos e distorções, também chamados de heurísticas e vieses. Geralmente a eficácia do

caminho consciente é menor e a chance de erro aumenta muito, visto que representa cerca de 75% de todo o erro humano em uma planta industrial (SWAIN; GUTTMANN, 1983). Falhas decorrentes desse caminho são enganos e violações resultantes de atividades de observação, interpretação, planejamento e execução.

Em seguida é gerada a atitude que foi definida anteriormente como uma declaração de avaliação de objetos, pessoas ou eventos. As atitudes são importantes para as organizações, porque influencia a intenção de efetivar um comportamento específico, e podem ser alteradas por práticas motivacionais.

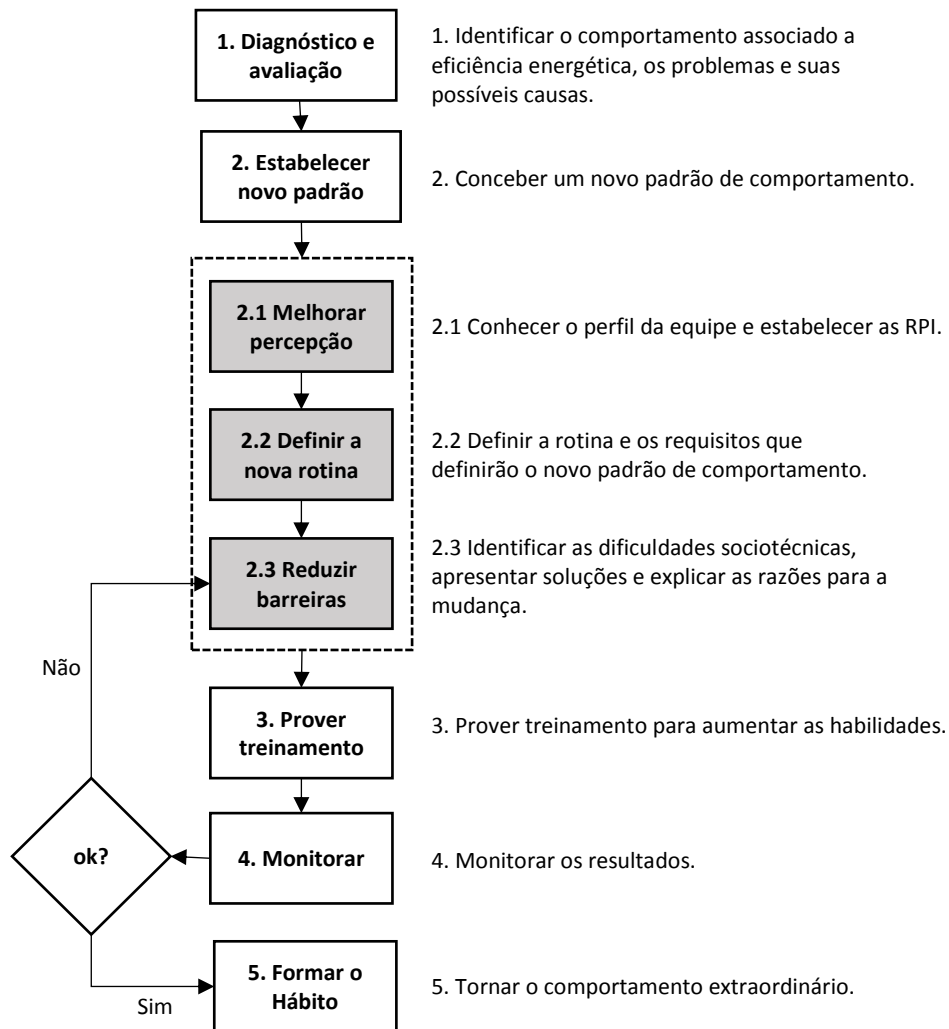
A saída do processo, representado na Figura 26 é o resultado desejado. Isso acontecerá se não houver erros ou desvios. No entanto, quando uma nova tarefa é atribuída, sua execução será no nível consciente, e o aprendizado inicial pode não se sedimentar com o tempo. A aprendizagem definitiva ocorre quando o comportamento consciente se torna automatizado e transforma-se em um hábito (DUHIGG, 2012).

O protocolo para melhoria da performance do trabalhador – PROMPT concebido para auxiliar os líderes a influenciar o comportamento de sua equipe para melhorar a eficiência energética é ilustrado na Figura 27.

As ações de intervenção devem ser planejadas com base no mapa cognitivo do trabalhador quanto aos processos da percepção, regras e conhecimentos, nas atitudes e no hábito. Esses aspectos estão indicados por setas mais grossas na Figura 26.

O diagnóstico e avaliação é a primeira etapa do PROMPT conforme é apresentado Figura 27. Nessa etapa é necessário identificar o comportamento associado à eficiência energética. Nessa identificação é vital a contribuição das pessoas envolvidas com o processo, como os supervisores e os operadores, bem como o apoio de uma pessoa neutra, como um pesquisador/consultor ou um técnico de outra área. O uso de ferramentas da qualidade (por exemplo, *brainstorm*, fluxograma, diagrama de Ishikawa, gráfico de Pareto) e de análise dos fatores humanos/ergonomia (por exemplo, análise de tarefas) são recomendadas. A identificação da tarefa/comportamento crítico deve atender duas condições fundamentais: ser mensuráveis e ter um impacto significativo no desempenho.

Figura 27 Protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT)



Fonte: Elaborado pelo autor

Estabelecer um novo padrão é a segunda etapa, que é dividida em três sub-etapas que serão descritas nos parágrafos seguintes.

(i) Melhorar a percepção: como a realidade percebida pelas pessoas é mais importante do que a realidade em si, o conhecimento sobre a preferência cerebral da equipe ajuda a definir estratégias para direcionar a atenção e aprimorar a comunicação. Uma ferramenta fácil é determinar se o perfil da equipe é mais relacional, experimental, analítico ou prático (HERRMANN, 1991). Adicionalmente, uma pesquisa deve ser realizada para medir o nível de atitudes dos funcionários. Essa informação revelará a tendência dos funcionários ficarem indiferentes ou envolvidos com as mudanças a serem propostas.

Se as mudanças não estiverem alinhadas com as atitudes dos funcionários, haverá o desencadeamento de um processo denominado dissonância cognitiva (ROBBINS; JUDGE, 2013). Esse processo pode ser minimizado se houver uma justificativa aceitável para as mudanças ou se um sistema de recompensa for atrelado a implantação das novas tarefas. Declarações denominadas “**razões para as pessoas se importarem**” (RPI) devem ser apresentadas para gerar motivação e criar uma conexão entre as tarefas diárias e o desempenho desejado. Infelizmente, a maior parte do processo de mudança, assim como o procedimento de educação e treinamento profissional, considera apenas os aspectos racionais sem um vínculo afetivo. As conexões proporcionadas pela RPI são facilitadas quando as estratégias de comunicação usam técnicas como o *storytelling*, associação a imagens, símbolos e metáforas são utilizadas.

De acordo com a teoria da expectativa (ROBBINS; JUDGE, 2013), os funcionários farão o mínimo necessário para permanecer empregados. Eles racionalmente farão as seguintes perguntas: “se eu der o meu melhor, serei reconhecido na minha avaliação de desempenho, gerando uma recompensa que será boa para mim?”. Esse fato reforça o argumento de que o reconhecimento é um dos principais fatores de indução da satisfação e engajamento dos funcionários, a fim de criar um elo emocional com a equipe.

(ii) Definir o comportamento futuro: uma vez que a tarefa crítica tenha sido identificado, uma análise funcional do comportamento antigo é realizada para identificar os antecedentes (*antecedents*) ou gatilhos (A), a rotina (*behavior*) (R ou B) e suas consequências (*consequence*) (C) ou simplesmente análise ARC ou ABC (DANIELS, 1999). Essa análise é baseada na teoria da aprendizagem e condicionamento operante, onde ambientes antecedentes e consequentes são vitais para a compreensão, previsão e modelagem do comportamento humano nas organizações.

Depois de realizar a análise funcional, é essencial proceder à estruturação do novo comportamento. É necessário pensar na nova rotina que as pessoas devem seguir, qual é o gatilho que deve ser relacionado a essa nova rotina, e quais consequências ou recompensas associadas, e qual reforço será imperativo para transformá-la em um hábito.

Ao analisar a nova rotina, é importante verificar se o operador tem habilidade para execução, e em caso negativo, o treinamento profissional deve ser agendado. De acordo com Fogg (FOGG, 2009a), existem duas maneiras de aumentar as habilidades humanas: treinar as pessoas para melhorar sua capacidade de execução das atividades, ou tornar a nova rotina desejada mais fácil e simples de fazer. Quando a tarefa é simplificada, o desenvolvimento de habilidades se torna rápido e descomplicada. As atividades a serem executadas devem ser analisadas com base nos recursos mais escassos no momento, por exemplo, tempo, esforço

físico, esforço mental ou dispositivos de medição, a fim de evitar a necessidade de recursos que o trabalhador não possui (FOGG, 2009b).

(iii) Reduzir barreiras: essa atividade deve ser assumida pelos líderes visando reduzir empecilhos à comunicação, credibilidade e confiança, valores, inércia e de racionalidade limitada (ver Quadro 1). Quando o perfil da equipe é conhecido, torna-se mais fácil adaptar as estratégias para superar barreiras de comunicação. Por exemplo, em uma equipe com um perfil mais analítico, as informações devem ser apresentadas em ordem cronológica, indicando datas para eventos, prazos e limites para os projetos; contudo, isso provavelmente seria ineficaz para equipes com perfil relacional que preferem uma abordagem mais geral, permitindo contribuições e oportunidade de se expressar publicamente (HERRMANN, 1991).

Barreiras de credibilidade e confiança são superadas pelo comprometimento da liderança com a nova rotina, o apoio aos liderados, bem como na eliminação de questões latentes que prejudiquem o novo padrão. Adicionalmente, um senso de urgência deve ser estabelecido para o processo, com metas de desempenho de curto prazo para superar a barreira da inércia. Finalmente, o líder deve construir uma conexão emocional com a equipe por meio de reconhecimento, empatia e visão de futuro.

A terceira etapa do PROMPT, (Figura 27), consiste em realizar treinamento para internalizar as habilidades da nova rotina. O objetivo é alcançar a aprendizagem para uma mudança de comportamento permanente. Em um processo industrial, é importante simplificar os procedimentos existentes e manter listas de verificação para enfatizar os gatilhos que direcionam o comportamento correto.

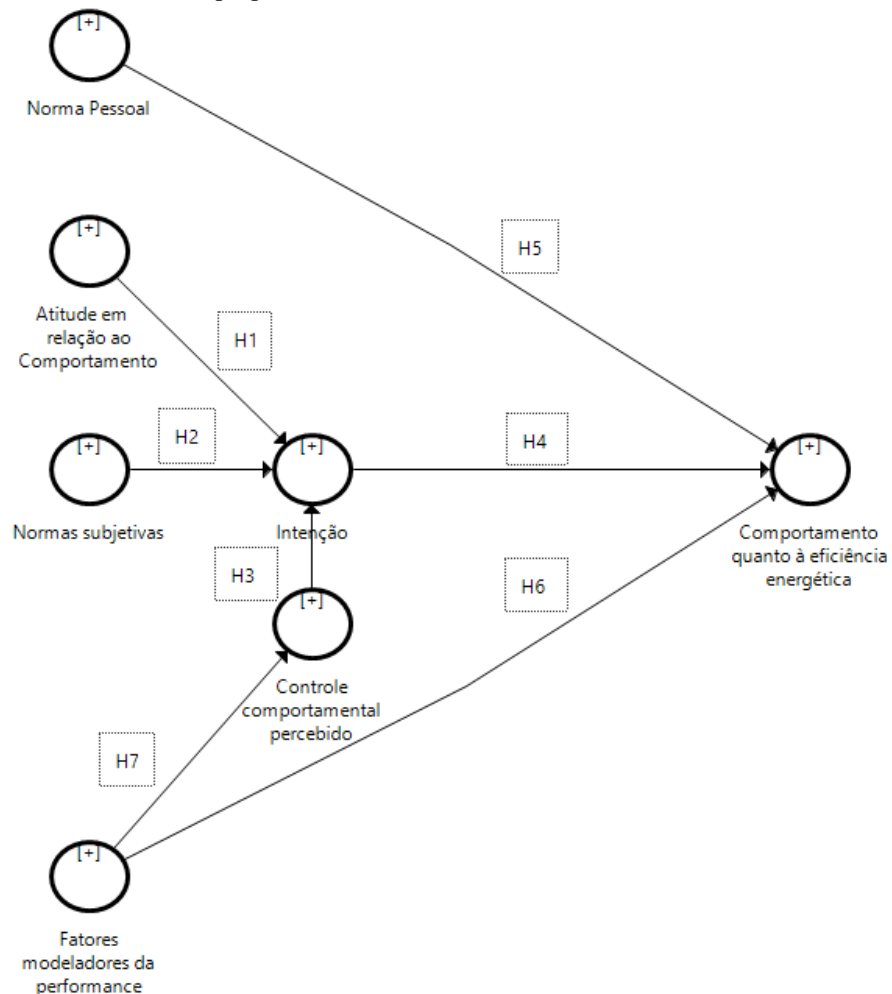
Finalmente, as duas últimas etapas apresentadas na Figura 27 pretendem transformar o comportamento recém-aprendido do modo racional para o modo automático, de maneira a converter o comportamento consciente em um hábito. Este é um ponto importante que reafirma a declaração do norte-americano Booker T. Washington que “excelência é fazer coisas comuns em um nível extraordinário”, ou seja, realizar o básico melhor do que qualquer outra pessoa. Nessa fase, o líder deve não só apresentar os resultados alcançados, como também influenciar a equipe através da aplicação de ações para reduzir as barreiras. O acompanhamento dos supervisores e a verificação pelos pares na execução das rotinas no campo é importante, pois haverá *feedback* imediato durante a execução da tarefa.

5.2 Novo modelo estrutural das variáveis que influenciam o comportamento

Para identificar e avaliar quantitativamente as variáveis que influenciam o comportamento dos trabalhadores na adoção de **ações para melhoria da eficiência energética** (AMEE), foi proposto um novo modelo estrutural com base na teoria do comportamento planejado (TCP), e incorporação de duas variáveis latentes adicionais conforme apresentado na Figura 28.

Consistente com a TCP no âmbito da aplicação de AMEE no ambiente de trabalho, pode-se supor que a intenção de agir aumentará: (i) se o indivíduo considerar que o comportamento quanto à eficiência energética é essencial e significativo, o que ativará uma atitude positiva; (ii) se os indivíduos são influenciados em relação ao que outras pessoas esperam seja feito no local de trabalho e, (iii) se os indivíduos percebem que têm um controle suficiente dos fatores como capacidade, tempo ou oportunidade para realizar o comportamento.

Figura 28 Modelo estrutural proposto



Fonte: Elaborado pelo autor gerado no software SmartPLS

Com base nessas afirmações, são propostas as seguintes hipóteses para a modelagem utilizando equações estruturais (Figura 28), que são avaliadas posteriormente:

- H1: A atitude em relação ao comportamento está positivamente relacionada à intenção do trabalhador em adotar as ações para melhoria da eficiência energética.
- H2: A norma subjetiva está positivamente relacionada com a intenção do trabalhador em adotar as AMEE.
- H3: O controle comportamental percebido está positivamente relacionado à intenção do trabalhador em adotar as AMEE.
- H4: A intenção do trabalhador está positivamente relacionada ao comportamento relacionado à eficiência energética.

A TCP tem sido usado para explicar a conduta dos indivíduos em diferentes contextos como o comportamento organizacional, político, discriminatório, dentre outros. No entanto, a TCP se fundamenta na premissa que as pessoas tomam decisões prioritariamente de forma racional, usa as informações acessíveis e pondera as consequências de suas ações antes de decidirem se devem ou não agir de determinada maneira.

Uma das principais deficiências da TCP é o fato do senso de moralidade dos indivíduos ser ignorado. Para preencher essa lacuna, conforme foi apresentado na revisão bibliográfica, pesquisadores utilizam amplamente o modelo de ativação de norma — MAN (ver Figura 15). Nesse sentido, foi proposto um modelo estrutural estendido da TCP com acréscimo da variável latente norma pessoal, conforme apresentado na Figura 28.

Nesse estudo, norma pessoal é definida como uma norma pela qual o trabalhador decide adotar AMEE, com base em seus princípios morais; daí a seguinte hipótese é acrescentado ao modelo estrutural proposto representado na Figura 28:

- H5: Norma moral pessoal está positivamente relacionada com o comportamento quanto à eficiência energética.

A variável latente controle comportamental percebido incorpora a percepção das pessoas sobre sua competência em realizar um procedimento com êxito. Todavia, mesmo um trabalhador que tem a intenção de agir, o comportamento às vezes não se concretiza. Isso pode ser devido à elementos externos que poderiam suportar ou restringir a ação, tais como estrutura física, dispositivos, procedimentos, tempo e assim por diante, os quais são denominados fatores contextuais por Stern et al. (1999).

O erro humano é outro aspecto que pode diminuir o resultado desejado quando o comportamento acontece. Os erros, conforme apresentado na revisão bibliográfica, são geralmente classificados em duas categorias, erros de execução denominados deslizes ou lapsos, e erros de planejamento caracterizado como enganos, que são deficiências nos processos de julgamento na seleção de um objetivo e dos meios para alcançá-lo (REASON, 1990).

O erro de execução está associado ao hábito quando a ação é feita inconscientemente e o contexto externo não é avaliado corretamente. Os enganos estão relacionados a uma decisão racional que propiciou o trabalhador a agir, mas o resultado não acontece porque o objetivo ou plano estava errado.

A melhor estratégia para alcançar o resultado é prevenir falhas e identificar as causas. Os pesquisadores sabem que ambos os tipos de erros são influenciados por elementos relacionados ao resultado, chamados fatores de modeladores do desempenho (FMD). Isso está de acordo com estudos de comportamento pró-ambientais em que fatores contextuais e fatores internos parecem ter um papel crítico na determinação do resultado (GUAGNANO; STERN; DIETZ, 1995; VON BORGSTEDT; BIEL, 2002; ERTZ; KARAKAS; SARIGÖLLÜ, 2016; LANDRY et al., 2018). É cabível, portanto, acrescentar novas hipóteses às propostas nas seções 5.1 e 5.2:

H6: O fator modelador do desempenho está negativamente relacionado ao controle comportamental percebido.

H7: O fator modelador do desempenho está negativamente relacionado ao comportamento do trabalhador quanto à eficiência energética.

5.3 Considerações finais

Como contribuição adicional dessa pesquisa, é proposto um protocolo de intervenção denominado PROMPT apresentado na Figura 27, cuja aplicação tem as seguintes vantagens:

- Considera o comportamento humano e sua influência na eficiência energética;
- Permite que novos procedimentos se tornem hábitos;
- Contribui para internalização de comportamentos pró-ambientais;
- A maioria dos artigos analisados lidam com barreiras, mas não como superá-las.

No capítulo 6 é apresentado e discutido os resultados obtidos no estudo empírico realizado em uma indústria de fertilizante, e o aporte técnico introduzido a partir da estruturação do PROMPT.

O modelo estrutural para o diagnóstico das variáveis que influenciam o comportamento referente a eficiência energética em um ambiente industrial é apresentado na Figura 28, cujas seguintes hipóteses serão verificadas no capítulo 6:

- H1: A atitude em relação ao comportamento está positivamente relacionada à intenção do trabalhador em adotar as ações para melhoria da eficiência energética.
- H2: A norma subjetiva está positivamente relacionada com a intenção do trabalhador em adotar as AMEE.
- H3: O controle comportamental percebido está positivamente relacionado à intenção do trabalhador em adotar as AMEE.
- H4: A intenção do trabalhador está positivamente relacionada ao comportamento relacionado à eficiência energética.
- H5: Norma moral pessoal está positivamente relacionada com o comportamento quanto à eficiência energética.
- H6: O fator modelador do desempenho está negativamente relacionado ao controle comportamental percebido.
- H7: O fator modelador do desempenho está negativamente relacionado ao comportamento do trabalhador quanto à da eficiência energética.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

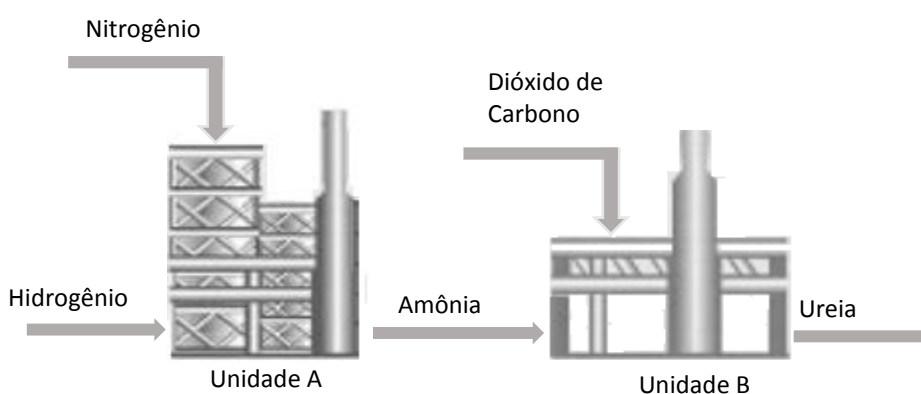
Nesse capítulo, se apresenta e discute dois trabalhos. Primeiramente, o resultado obtido no estudo empírico realizado em uma indústria de fertilizante é analisado à luz das melhorias propostas no método utilizado, o qual foi denominado PROMPT.

Em seguida, se analisa o resultado referente ao novo modelo estrutural das variáveis que preveem o comportamento do indivíduo quanto à eficiência energética em um ambiente industrial controlado. De modo a validar a significância e qualidade da previsão, a estrutura sugerida foi testada usando a análise de equações estruturais por meio da técnica de mínimos quadrados parciais (PLS) e apoio do *software* SMART-PLS.

6.1 Proposição do protocolo para melhoria da performance do trabalhador

O PROMPT foi concebido a partir do aperfeiçoamento e sistematização do método aplicado no estudo empírico realizado em uma indústria de fertilizantes. A fábrica estudada é produtora de ureia e possui duas unidades principais, como mostrado na Figura 29: a produção de amônia na unidade A e a de ureia na unidade B.

Figura 29 Fluxograma da produção de ureia

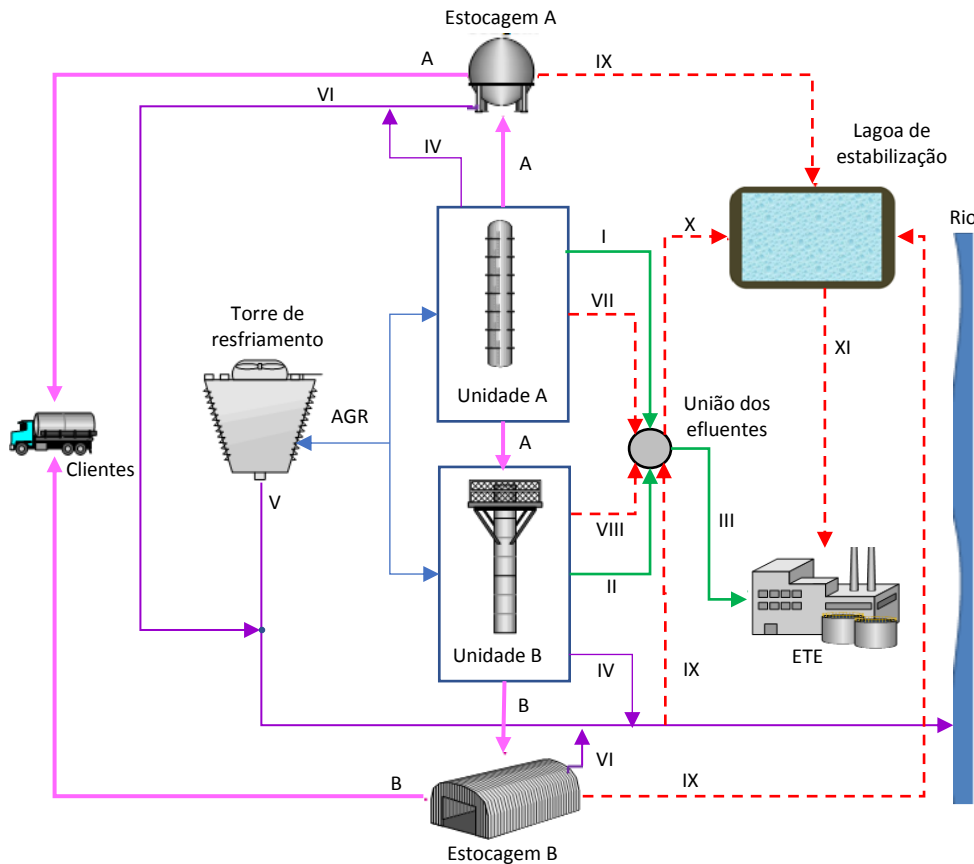


Fonte: Elaborado pelo autor

A amônia é produzida pela reação do nitrogênio do ar com hidrogênio, e a ureia é gerada pela reação entre amônia e dióxido de carbono em meio aquoso. O balanço energético considera a energia presente nas utilidades, combustível, eletricidade, produtos (ureia e amônia) e perdas: efluentes, resíduos, radiação e CO₂ emitidos para a atmosfera.

O sistema de efluentes da empresa é dividido em orgânicos, inorgânicos e contaminados, conforme é apresentado na Figura 30.

Figura 30 Topologia dos efluentes



Fonte: Adaptado pelo autor

O efluente orgânico ou industrial corresponde aos fluxos provenientes das áreas industriais (I e II) que são destinados diretamente à empresa de tratamento de efluentes (ETE) licenciada pelo órgão ambiental (III). O efluente inorgânico e oriundo das áreas administrativas, das áreas industriais que não possuem contaminação (IV), da purga das torres de resfriamento (V) e das áreas de armazenamento (VI). O destino é um corpo receptor perto da empresa. Se os efluentes mencionados acima estão fora da especificação normativa, seja por falta de controle ou devido à uma emergência (VII a IX), eles são desviados para um caminho alternativo (X) à lagoa de estabilização e, posteriormente, para a empresa de tratamento de efluentes (XI).

O perfil do efluente orgânico mostrou a existência de fluxos anormais de água e de contaminação por nitrogênio amoniacal. As oscilações do contaminante dificultavam a adequação do efluente aos padrões da legislação, com riscos de multas. Os operadores rotineiramente desviavam o efluente orgânico para a lagoa de estabilização para evitar efeitos danosos; porém, não de forma esporádica como definido em projeto. Assim, a lagoa de emergência que deveria amortecer os efeitos de eventos pontuais de efluentes contaminados, tornou-se equipamento de processo.

A variabilidade da concentração de contaminantes indicava que a falta de controle do efluente orgânico poderia ser causada por más práticas operacionais relacionadas a equipamentos, gerenciamento de estoques e descarte de efluentes, além de restrições tecnológicas no processo. Para verificar essas hipóteses, foi identificado nas subáreas da empresa, procedimentos e equipamentos, que mais colaboravam para a geração de efluentes contaminados.

Constatou-se que a descontinuidade do processo da unidade B contribuía com quase 43% da contaminação do sistema de efluentes orgânicos. A maior contribuição era devida à necessidade de drenagem dos reatores em paradas que excediam 24 horas de duração, pois a solução de reação é corrosiva e poderia causar danos aos equipamentos. Assim, uma massa de 200 toneladas da solução reativa correspondendo a $2,4 \times 10^3$ GJ em energia era perdida toda vez que a solução tinha que ser descartada na lagoa de estabilização.

Tanques de armazenamento temporário tinham sido instalados na área para receber o conteúdo reacional para futuro reprocessamento. Contudo, devido à frequência de paradas, o conteúdo dos tanques era enviado para a lagoa de estabilização, gerando um grave problema ambiental, desperdício de matéria-prima e energia. Novamente, a lagoa que deveria ser usada eventualmente para amortecer os efeitos de efluentes contaminados ocasionais passou a ter um uso anormal. O incremento das cargas de contaminação do nitrogênio amoniacal dificultava o envio do efluente orgânico para a ETE dentro dos padrões da legislação.

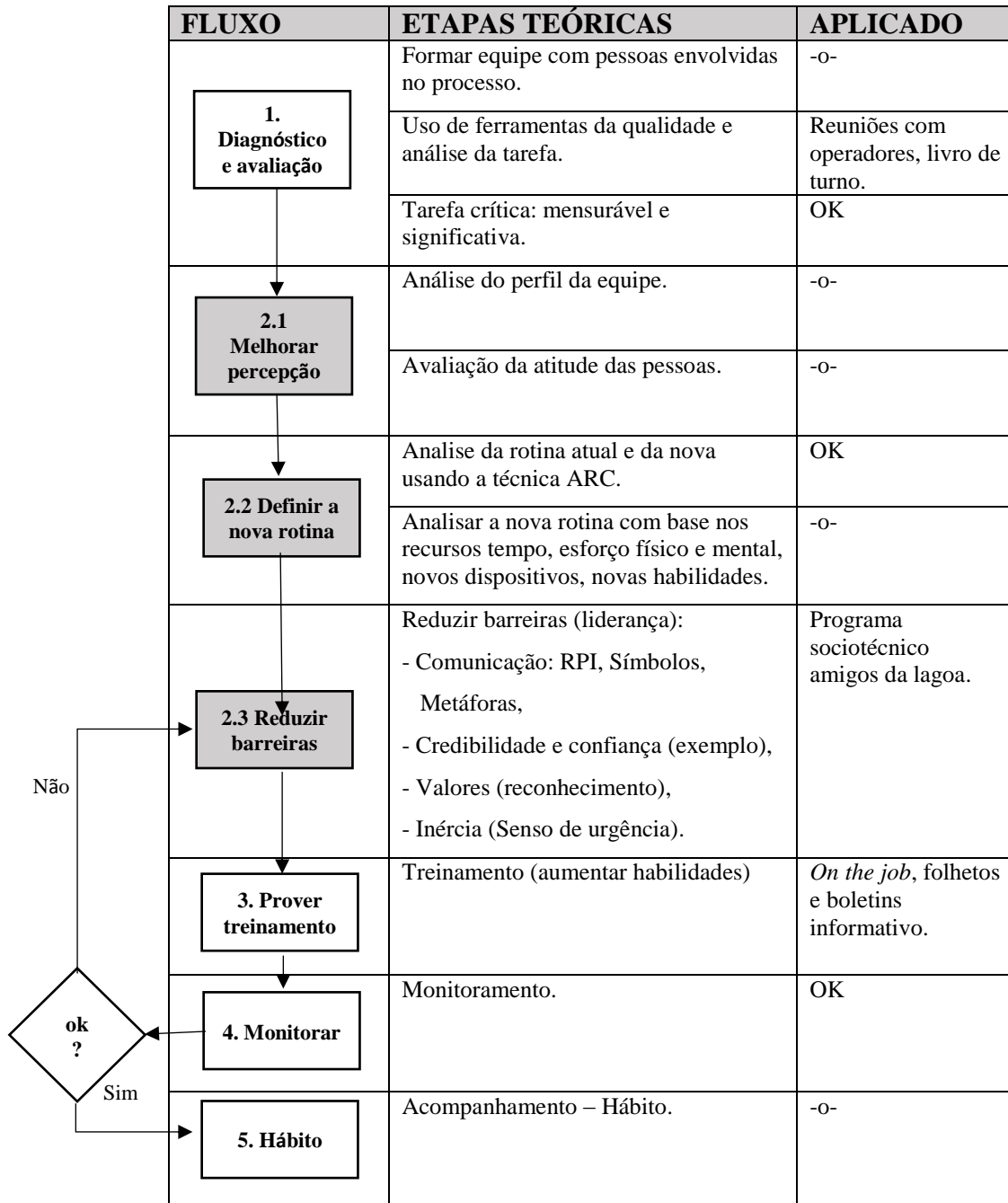
Como a empresa não possui certificação ISO 9001 ou um arranjo efetivo para controlar modificações no processo, quando um procedimento era alterado, sua aplicação não era adequadamente monitorada, gerando uma redução da confiabilidade operacional. Outro aspecto observado foi a falta de cooperação entre as áreas (segurança, manutenção, operação), o que possivelmente provocava vieses no processo de julgamento e tomada de decisão.

A Figura 31 apresenta a comparação entre as etapas do PROMPT e o método aplicado. Na etapa 1 foram realizadas reuniões com especialistas e responsáveis pela operação, no entanto não houve a formação da equipe responsável pelo projeto. O método de tempestade cerebral foi usado para identificar os pontos críticos quanto a perdas de água e energia visando diminuir a contaminação dos efluentes e melhorar a eficiência energética por redução de erros humanos.

Fatores chaves foram examinados para sugerir ações de melhoria, uma vez que poderiam ser barreiras para a adoção das mudanças. Foram identificados aspectos como (i) adoção de procedimentos não oficiais como rotina, (ii) falta de conhecimento sobre questões técnicas da operação, (iii) operadores temerosos, e (iv) a cultura da culpa. Como não foi possível

realizar uma pesquisa de satisfação, as atitudes dos trabalhadores foram determinadas através de entrevistas, observação e leitura do livro de turnos.

Figura 31 Comparação PROMPT x método aplicado



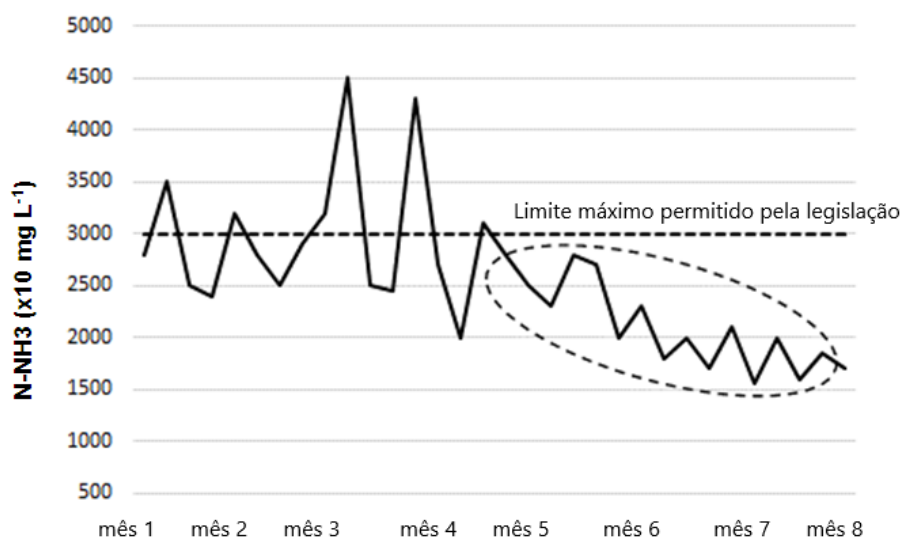
Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado das reuniões para discutir as informações técnicas, e da aplicação da análise ARC, constatou-se que os operadores drenavam o reator sempre que houvesse algum problema no processo de produção e enviava seu conteúdo para o tanque de armazenamento. Essa mistura reativa poderia ser reutilizada em até 24 horas, o que não ocorria rotineiramente, uma vez que o conteúdo do tanque de armazenamento era remetido para a lagoa devido à demora na tomada de decisões para o reprocessamento. O novo procedimento foi proposto com base em um padrão antigo, orientando que todo o inventário dos reatores seria enviado para a conclusão do processo durante as paradas. As atividades foram revisadas para serem mais simples e fáceis de serem realizadas, de modo a remover obstáculos comportamentais para adoção do novo procedimento, visto que o padrão antigo era complexo e possuía uma árvore de decisão de cinco níveis.

Um programa sociotécnico chamado “Amigos da Lagoa de Estabilização” foi proposto para criar uma conexão com o comportamento desejado e mudar a percepção dos trabalhadores sobre a realidade instalada. Boletins foram preparados com informações técnicas e as declarações RPI (razões para as pessoas se importarem) para serem compartilhadas e discutidas em reunião com os operadores do turno.

Os folhetos explicativos desenvolvidos pelo programa “Amigos da Lagoa de Estabilização” foram usados pelos líderes no treinamento dos operadores visando aumentar suas habilidades e demonstrar as razões para as mudanças.

O indicador adotado para monitorar a eficácia do programa foi a concentração do nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) no efluente, pois essa variável é fortemente influenciada pela parada das unidades produtivas, e conseqüentemente a contaminação do efluente e perdas de energia. Antes da implementação do novo padrão, eram comuns os picos de concentração de $\text{NH}_3\text{-N}$ que ultrapassavam o limite máximo permitido pela lei. Para enviar efluentes à ETE, havia a necessidade de diluir com água. Após a implementação do procedimento, a variação e os picos foram reduzidos, e o nível de concentração de $\text{NH}_3\text{-N}$ permaneceu abaixo do limite permitido. Como pode ser observado na Figura 32, frequentemente os valores estavam acima do limite de controle no período da linha de base (mês 1 a 4), cuja média calculada foi $2,95 \times 10^3 \text{ mg L}^{-1}$, e desvio-padrão de 644 mg L^{-1} . A partir do 5º mês, houve queda de 30,6% na média e 40,5% no desvio-padrão devido à mudança de comportamento dos responsáveis pela tarefa de parar o reator.

Figura 32 Concentração de nitrogênio amoniacal

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2 Modelagem das variáveis que influenciam o comportamento

Os dados demográficos do levantamento/*survey* estão apresentados na Tabela 4. Pode-se observar que não há classificação de gênero (masculino-feminino) devido à escassez de entrevistados do sexo feminino, cuja população masculina é majoritária na área operacional das indústrias de produção do setor químico.

Um aspecto importante para os objetivos da pesquisa é que a maioria dos participantes trabalha diretamente no processo produtivo (quase 80%) ao invés do setor administrativo. Essa é uma das contribuições dessa pesquisa, uma vez que os estudos expressivamente se concentram no setor administrativo devido às dificuldades de se obter informações em uma amostra representativa de operadores de processo.

Nota-se também que 99% dos participantes que responderam ao questionário completaram o ensino médio, 87,9%; possuem mais de dez anos de experiência e 60,6% têm maior que 44 anos. Esses dados indicam uma amostra com trabalhadores maduros, experientes e com bom nível educacional.

Tabela 4 - Características demográficas dos participantes

Demografia	Frequências	%
Idade (anos)		
<24	3	3,0 %
25 a 34	11	11,1 %
35 a 44	25	25,3 %
45 a 54	47	47,5 %
>55	13	13,1 %
Nível Educacional		
Ensino Fundamental	1	1,0 %
Ensino médio	2	2,0 %
Técnico	16	16,2 %
Graduação	35	35,4 %
Pós-graduação	45	45,5 %
Experiência (anos)		
<5	3	3,0 %
5 a 10	9	9,1 %
11 a 15	11	11,1 %
16 a 20	15	15,2 %
>21	61	61,6 %
Ocupação		
Administrativo	27	27,3 %
Gerência	18	18,2 %
Supervisão	20	20,2 %
Operacional	34	34,3%

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 Teste do submodelo de mensuração

O teste das hipóteses de causa e efeito das variáveis latentes e validação da modelagem das equações estruturais, foi realizado por meio do tratamento estatístico dos dados obtidos pela aplicação de um questionário (ver Apêndice A) em uma indústria produtora de pigmento químico inorgânico, conforme descrito no item 4.3. Após a verificação dos questionários, uma análise fatorial confirmatória foi desenvolvida para avaliar a confiabilidade, validade convergente e validade discriminante dos indicadores no submodelo de mensuração conforme fluxograma do cálculo das estatísticas (Figura 24). A regra geral é que o valor de carga fatorial de cada indicador deve estar acima de 0,7. Esse valor demonstra que a variável latente, no modelo reflexivo, descreve mais de 50% da variância do indicador, e que o referido indicador apresentou um grau satisfatório de confiabilidade. Hair Jr et al. (2016) orienta que indicadores com carga fatorial abaixo de 0,7 devem ser considerados para remoção quando não aumentar a

confiabilidade composta ou se não afetar a validade teórica das relações entre as variáveis latentes.

Ao considerar essas diretrizes apontadas na literatura, optou-se por manter os indicadores NP1 e IN1 como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do teste do modelo de mensuração

Constructo	Itens	Cargas	Alfa de Cronbach	rho_A	CC ¹	VME ²
Atitude em relação ao comportamento (AT)	AT1	0,782	0,762	0,771	0,845	0,578
	AT2	0,720				
	AT3	0,801				
	AT4	0,735				
Comportamento quanto eficiência energética (CEE)	CEE1	0,843	0,875	0,876	0,924	0,802
	CEE2	0,946				
	CEE3	0,894				
Intenção (IN)	IN1	0,691	0,765	0,799	0,865	0,684
	IN2	0,878				
	IN3	0,896				
Controle comportamental percebido (CCP)	CCP1	0,902	0,817	0,871	0,878	0,645
	CCP2	0,865				
	CCP3	0,706				
	CCP4	0,722				
Fatores modeladores do desempenho (FMD)	FMD1	0,788	0,879	0,886	0,912	0,675
	FMD2	0,872				
	FMD3	0,867				
	FMD4	0,801				
	FMD5	0,772				
Norma Pessoal (NP)	NP1	0,672	0,630	0,708	0,795	0,567
	NP2	0,869				
	NP3	0,704				
Normas Subjetivas (NS)	NS1	0,732	0,873	0,909	0,902	0,606
	NS2	0,751				
	NS3	0,832				
	NS4	0,850				
	NS5	0,708				
	NS6	0,787				

Note: (1) CC = Confiabilidade Composta; (2) VME = Variância média extraída

A confiabilidade está relacionada à consistência interna da variável latente (BORTOLETO; KURISU; HANAKI, 2012), e, para avaliá-la, o alfa de Cronbach, o rho_A, e a confiabilidade composta (CC) são empregados. Valores entre 0,70 e 0,95 para esses critérios representam níveis de confiabilidade satisfatórios (RINGLE et al., 2018). Como o alfa de

Cronbach é uma medida conservadora que tende a subestimar a confiabilidade quando o tamanho da amostra é pequeno, a literatura sugere o uso da Confiabilidade Composta como um substituto (BAGOZZI; YI, 1988; HAIR JR et al., 2016).

Os pesquisadores também consideram o coeficiente rho_A que retorna um valor médio entre o alfa de Cronbach e a CC (DIJKSTRA; HENSELER, 2015). Na Tabela 5, o único valor abaixo de 0,7 é o alfa de Cronbach da variável latente norma pessoal; porém, como os demais critérios são superiores ao limiar mínimo, a confiabilidade do modelo foi considerada adequada.

A validade convergente é o valor ao qual um indicador se correlaciona com os outros indicadores em uma variável latente, e o índice para verificar esse critério é a variância média extraída (VME) (HE; ZHAN, 2018). Os valores da VME das variáveis do levantamento realizado variaram entre 0,567 e 0,802, portanto acima do limiar de 0,500.

Por fim, a validade discriminante deve ser verificada para o modelo de mensuração. Conforme apresentado na revisão bibliográfica, o método de Fornell e Larcker (1981) indica que a raiz quadrada de VME de cada variável latente pode ser usada para averiguar a validade discriminante, e este valor deve ser maior que os valores de correlação das variáveis. Como pode ser visto na Tabela 6 todas as correlações entre as variáveis latentes foram menores que as raízes quadradas da VME, suportando a validade discriminante (PAULRAJ; LADO; CHEN, 2008).

Tabela 6 - Validade Discriminante (critério de Fornell and Lacker)

	AT	CEE	IN	CCP	FMD	NP	NS
AT	0,760						
CEE	0,246	0,895					
IN	0,417	0,614	0,827				
CCP	0,273	0,475	0,614	0,803			
FMD	-0,066	-0,146	-0,063	-0,077	0,821		
NP	0,469	0,610	0,517	0,300	-0,062	0,753	
NS	0,354	0,417	0,471	0,547	-0,110	0,537	0,778

* A diagonal é a raiz quadrada da VME das variáveis latentes e indica o mais alto em qualquer coluna ou linha

Em síntese, com base nos resultados, pode-se afirmar que o submodelo de mensuração é confiável e tem uma validade convergente e discriminante adequada.

6.4 Teste do submodelo estrutural

Após a verificação da validade e confiabilidade do submodelo de mensuração, o submodelo estrutural pode ser analisado (ver Figura 24). O primeiro critério a ser examinado são os valores do R^2 de cada variável latente.

O R^2 é uma medida da variância explicada em cada uma das variáveis endógenas e é, portanto, um critério da qualidade preditiva do submodelo. Conforme apresentado anteriormente, Cohen, (2013) considera valores acima de 0,26 como substanciais, em torno de 0,13 como intermediários e valores inferiores a 0,02 como fracos em estudos da ciência social.

Conforme pode ser verificado na Tabela 7, apenas a hipótese H7 das que foram apresentadas no Capítulo 5, não se encaixa no critério. As demais expressam valores substanciais.

Tabela 7 - Resultados do modelo estrutural

Relação das Hipóteses	Média do Coeficiente de caminho			Desvio-padrão	[t-valor]	Decisão	f ²	Q ²	q ²
	R ²								
H1 AT -> IN	0,459	0,240	0,119	2,023*	Suportado	0,092	0,269	0,035	
H2 NS -> IN	0,459	0,128	0,106	1,208	Não suportado				
H3 CCP -> IN	0,459	0,482	0,081	5,943*	Suportado	0,295	0,269	0,124	
H4 NP -> CEE	0,502	0,395	0,087	4,528*	Suportado	0,227	0,366	0,126	
H5 IN -> CEE	0,502	0,402	0,095	4,251*	Suportado	0,235	0,366	0,132	
H6 FMD -> CEE	0,502	-0,104	0,080	1,290	Não suportado				
H7 FMD -> CCP	0,005	-0,069	0,131	0,600	Não suportado				

* $p < 0.05$

O próximo critério é a magnitude e significância dos coeficientes de análise do caminho (*path analysis*), que indica a força da relação entre duas variáveis latentes. Hubert e Branden (2003) argumentam que a magnitude dos valores deve exceder +0,1 ou -0,1 para que qualquer impacto efetivo dentro do modelo seja considerado. A significância necessita ser pelo menos a um nível de 0,05 em técnicas de reamostragem, como *bootstrapping* (DAVISON; HINKLEY, 1997).

Como a PLS-MEE não assume que os dados sigam a distribuição normal, os procedimentos de *bootstrapping* não paramétricos são usados para verificar se as cargas externas e os coeficientes de caminho são significativos. No *bootstrapping*, são extraídas subamostras com reposição da amostra original para estimar os coeficientes de cada subamostra. Esses formam uma distribuição *bootstrap*, cujo desvio-padrão dos coeficientes

estimados podem ser determinados. Usando o desvio-padrão da distribuição de *bootstrap*, um teste *t de Student* pode ser aplicado.

Como regra geral, a distribuição *t de Student* será aproximada pela distribuição normal, que pode ser usada para determinar valores *t* críticos para teste de significância. Portanto, para a PLS-MEE quando o valor de *t* está acima de 1,96, assume-se que o coeficiente de caminho é significativamente diferente de zero a um nível de significância de 5% (HAIR JR et al., 2016). De acordo com esse critério, as hipóteses H2, H6 e H7 não são suportadas para essa amostra, o que não invalida o modelo estrutural. No entanto, recomenda-se não utilizar essas hipóteses como base para ações de intervenção comportamental no grupo estudado.

O terceiro critério é o tamanho do efeito f^2 , que permite avaliar a contribuição de uma variável latente exógena para um valor de R^2 da variável latente endógena. Para classificar o tamanho do efeito f^2 , os valores apresentados na Tabela 2. No modelo, a VL exógena AT tem um efeito quantitativo pequeno no cálculo do R^2 da VL endógena IN, enquanto a CCP tem um efeito médio. Em relação à CEE, as variáveis NP e IN tiveram impacto médio.

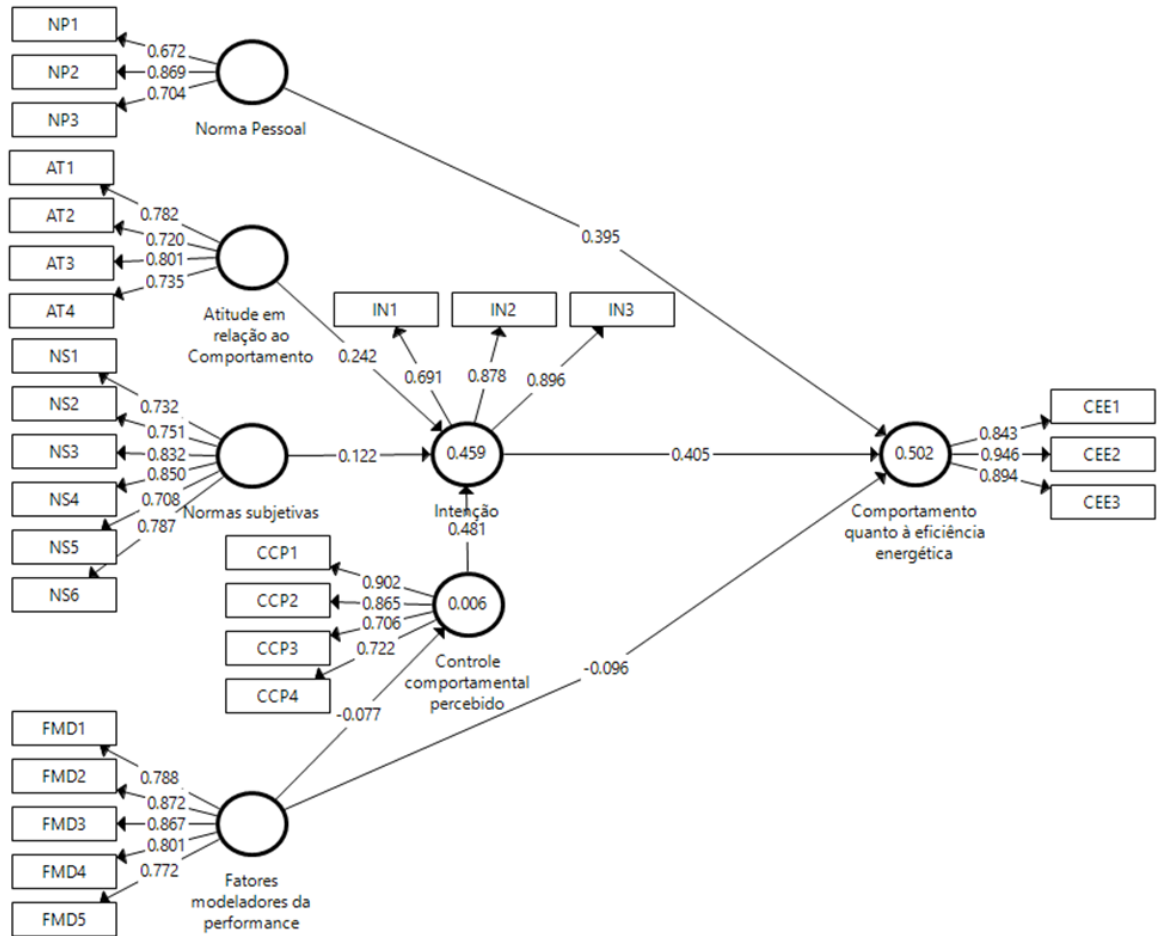
Além de usar a magnitude de R^2 para avaliar a relevância preditiva do modelo interno, o valor da Stone-Geisser (Q^2) foi verificado. Os valores de Q^2 mostrados na Tabela 7 sugerem que o modelo estrutural possui qualidade preditiva aceitável.

Semelhante à abordagem do tamanho do efeito f^2 , o impacto relativo da relevância preditiva de uma variável latente exógena pode ser avaliado por meio do tamanho do efeito q^2 . Valores de 0,02, 0,15 e 0,35 indicam uma relevância preditiva pequena, média ou grande de uma determinada VL exógena. Os valores indicados na Tabela 7 referente aos efeitos q^2 e f^2 para as hipóteses suportadas são aceitáveis.

A partir do cálculo das estatísticas seguindo o fluxograma da Figura 24 foi possível analisar os resultados da modelagem das equações estruturais do modelo apresentado na Figura 28. Pode-se observar que há uma significância do modelo estendido da TCP na previsão do comportamento quanto à eficiência energética.

A Figura 33, gerada a partir da modelagem realizada no *software* SMART-PLS, apresenta de forma visual a estrutura completa que abrange os submodelos estrutural e mensuração, com as variáveis latentes e suas respectivas cargas dos indicadores, os coeficientes da análise de caminho (*path analysis*) entre as VL exógena e endógena, além dos coeficiente de determinação de Pearson (R^2).

Figura 33 Modelo completo (Módulo Estrutural e Mensuração)



Fonte: Elaborado pelo autor gerado pelo SmartPLS

6.5 Discussão

Nesse item serão discutidos os resultados dessa pesquisa, quanto ao protocolo de intervenção para aumentar o engajamento de trabalhadores em ações para a melhoria ambiental e energética, e quanto às variáveis que preveem o comportamento de indivíduos em ambientes industriais controlados.

6.5.1 Protocolo para melhoria da performance do trabalhador

Conforme apresentado na Figura 31 que compara as etapas desenvolvidas no estudo empírico com a proposta sistematizada no PROMPT, verifica-se que foram utilizadas, na etapa 1, ferramentas apropriadas (tempestade cerebral, fluxograma, Pareto) para identificar os problemas e suas possíveis causas. A análise de documentos, reunião com os envolvidos e a observação de tarefas permitiram a coleta de dados. É importante destacar a necessidade de dispendir um tempo adequado na etapa 1, para evitar a escolha de atividades cuja mensuração

seja difícil, ou não afete o desempenho. No entanto, não houve a formação do grupo responsável pela implementação do projeto, atividade importante estabelecida no PROMPT. O procedimento crítico foi identificado e definido como: enviar o conteúdo do reator de ureia para o tanque de armazenamento durante uma parada não programada da unidade e descartá-lo na lagoa de estabilização sempre que houver atraso na sua reutilização.

A etapa 2 é dividida em três subitens, e no subitem 2.1 (mudança de percepção), não foi possível a utilização de ferramentas orientadoras para definir adequadamente a estratégia para abordagem da equipe. O PROMPT recomenda testes de preferência cerebral, e uma pesquisa de atitude para ter uma visão atual da disposição dos funcionários para se envolver em um projeto de mudança comportamental. Análises estatísticas podem evitar conclusões superficiais do ambiente organizacional. Como o uso dos testes não foram autorizados, entrevistas, observação das tarefas e leitura do livro de turnos foram usados para conhecer as atitudes dos trabalhadores.

Em relação ao subitem 2.2 (definir a nova rotina), a análise ARC foi importante para compreender o comportamento atual, planejar ações corretivas para iniciar a nova rotina e bloquear antigos hábitos. Um aspecto fundamental recomendado pelo PROMPT é planejar a nova atividade de forma a torná-la mais simples e fácil do que a atual. Isso reduzirá a demanda pelos recursos da tarefa: tempo, esforço físico, empenho mental e dispositivos ou equipamentos inadequados, conforme indicado por Fogg, (2009a).

As metáforas e símbolos usados nos boletins e folhetos tornaram a comunicação mais lúdica no reforço das declarações de RPI (razões para as pessoas se importarem) durante a execução do subitem 2.3 (reduzir barreiras). Porém, o resultado seria melhor se o perfil de preferência cerebral dos trabalhadores tivesse sido identificado para projetar a adequadamente a abordagem de comunicação, e estabelecer os laços emocionais consistentes com a tarefa. Ademais, houve um envolvimento da liderança aquém do recomendado nesse item, o que reduziu a implementação de práticas para reduzir barreiras quanto à credibilidade e confiança, valores e inércia.

A terceira e quarta etapa do PROMPT (ver Figura 27) foram desenvolvidas satisfatoriamente por meio do *On-the-job training* (OJT), e pela verificação dos resultados obtidos conforme apresentado na Figura 32. Entretanto, a quinta e última etapa do protocolo não foi verificada nesse estudo, pois não foi possível o acesso aos resultados mais atualizados. Essa etapa é alcançada por meio de um monitoramento contínuo, e ações corretivas quando for necessário para evitar o retorno ao padrão antigo.

Em consonância com estudos anteriores, as pessoas atingem melhores níveis de desempenho por meio da influência dos processos de organização, valores e reforços recebidos dos líderes. Todavia, isso pode ser potencializado pelo uso de ferramentas integradas para mudar a percepção, estruturar o comportamento futuro e reduzir as barreiras. Ademais, os resultados indicam que dar motivos para as pessoas se importarem (RPI) baseadas em metáforas ou símbolos, além de compreender o ciclo de comportamento por meio da análise ARC, são fundamentais para tornar os comportamentos conscientemente em hábitos construtivos. Aplicando as ferramentas (*brainstorm*, fluxograma, diagrama de Pareto, análise da tarefa, avaliação de satisfação dos funcionários, análise do perfil comportamental) de forma integrada, esse protocolo pode gerar benefícios econômico-ambientais.

Embora o PROMPT tenha sido inicialmente proposto para atividades de melhoria do desempenho ambiental e energético na indústria, as implicações teóricas são aplicáveis a qualquer área de gerenciamento. Percebe-se que os atuais sistemas de gestão aplicados pelas empresas geralmente não levam em conta o processo de internalização de práticas de eficiência, pois não se entende os fatores humanos.

É comum observar o desempenho das pessoas com base no modelo de caixa preta do comportamento humano, que se concentra principalmente na entrada de informações e no controle de saída. O PROMPT incorpora a teoria do sistema sociotécnico e da confiabilidade humana como temas, bem como um conjunto de ferramentas de suporte, sendo essencial monitorar e entender o resultado da implementação do novo comportamento.

6.5.2 Modelagem das variáveis influenciadoras do comportamento

Os resultados mostraram que o comportamento do trabalhador quanto à eficiência energética é predito pelas normas pessoais e pela intenção de agir. Com base nessas evidências, é possível esperar que o trabalhador que tenha uma atitude positiva em relação à eficiência energética e alto controle comportamental percebido desenvolva uma real intenção de agir. Adicionalmente, quando a norma pessoal é associada a intenção de agir, o comportamento quanto à eficiência energética terá uma grande probabilidade de ocorrer.

Conforme os dados da Tabela 6, pode-se verificar a VL controle comportamental percebido (CCP) tem a maior magnitude e significância de relação causal da variável intenção de agir (IN) quanto à eficiência energética no ambiente de trabalho (hipótese H3). Os indivíduos da amostra por terem um alto nível educacional (Tabela 4), acreditam ter os recursos e capacidades necessárias (por exemplo, conhecimento, experiência, habilidade, tempo

suficiente) para realizar as tarefas. As indústrias químicas mantêm os funcionários sempre treinados para lidar com atividades cada vez mais complexas, e alcançar objetivos desafiadores quanto a produção, qualidade, meio ambiente e segurança. Como os trabalhadores necessitam confiar em suas habilidades para poder atuar, exibem um valor significativo na variável controle comportamental percebido (CCP). Presume-se que a organização que incentivar a educação e treinamento para auxiliar no alcance das metas, aumentará a intenção de realizar o comportamento quanto à eficiência energética dos colaboradores. Esse fato está de acordo com outros estudos sobre a eficácia da variável latente CCP em contribuir para o comportamento pró-ambiental.

Paradoxalmente, o efeito da norma subjetiva (NS) sobre a intenção do trabalhador de desempenhar ações para melhoria da eficiência energética no local de trabalho apresentou valores abaixo das expectativas, e a hipótese H2 do modelo estrutural não foi relevante na amostragem realizada na indústria estudada. Esse fenômeno é contraditório aos estudos que utilizam a teoria do comportamento planejado (TCP), que geralmente apresentam uma influência expressiva da norma injuntiva e descritiva. O poder do grupo no comportamento individual deveria ser significativo, o que não ocorreu na amostra analisada. As seguintes razões foram ponderadas para explicar esse fato: (i) o ambiente industrial é amplamente regulado por normas e procedimentos que o trabalhador necessita cumprir, e qualquer desvio ou não-conformidades deve relatado para correção; (ii) a experiência profissional dos entrevistados é alta (ver Tabela 4); (iii) indivíduos que têm mais tempo de trabalho em um ambiente regulamentado tendem a executar padrões estabelecidos de forma habitual, sem a interferência de terceiros. Portanto, esses fatores influenciaram na baixa significância das normas subjetivas.

A atitude em relação ao comportamento (AT) tem sido referenciada como um importante preditor da intenção, porém, relativamente à hipótese H1, esse estudo constatou que a magnitude da AT sobre a intenção em realizar o comportamento quanto à eficiência energética resultou aquém do esperado. O indicador de relevância preditiva (f^2 e q^2) foi classificado como fraco para H1, como pode ser visto na Tabela 7. Essa ocorrência difere de alguns estudos (LO; PETERS; KOK, 2012; DIXON et al., 2015; ZHANG; GENG; SUN, 2017) cujos valores de AT têm um efeito intermediário ou grande no comportamento pró-ambiental (CPA).

Fishbein e Ajzen (2011) argumentam que a variável latente AT é medida por indicadores quanto ao aspecto instrumental e experiencial (cognitivo e afetivo), e ativada espontaneamente pelas crenças salientes; entretanto, não se espera que haja grande influência nas intenções, quando a relação causal da variável CCP é alta no que tange à variável intenção de agir (IN), fato ocorrido nesse estudo (ver média do coeficiente de caminho na Tabela 7).

Além disso, os estudos de CPA envolvem comportamentos que podem ser controlados apenas pelo indivíduo quanto as suas escolhas de agir ou não, como por exemplo usar transporte público. Esse aspecto não acontece em ambientes industriais regulados por padrões estabelecidos que os indivíduos devem obedecer, e cuja estratégia de mudança da atitude quanto a um comportamento específico tem envolvido apenas a vertente cognitiva da atitude.

O modelo estendido da TCP proposto neste estudo aumentou o poder explicativo da variável latente comportamento quanto à eficiência energética (CEE) em 32% quando comparado ao resultado obtido utilizando a TCP original. Ou seja, o R^2 da variável CEE foi de 0,502 (Figura 33) comparada a 0,380, obtido na modelagem do modelo original (Figura 14). Isso indica que as variáveis adicionais, principalmente a norma pessoal, melhoram o poder de previsão do modelo estendido. Esse fenômeno foi devido à posição da variável NP no modelo estrutural (Figura 28) como preditora do comportamento, diferentemente de vários estudos em que a NP se situa como antecedente da intenção (IN). Os resultados mostraram que a norma pessoal teve um relativo poder de previsão comparável à intenção conforme pode ser verificado no indicador de relevância preditiva (f^2 e q^2) para as hipóteses H4 e H5. Quando a amostra é segregada apenas para os 27 indivíduos do setor administrativo (ver Tabela 4), a variável NP apresenta um valor ainda mais significativo para prever o comportamento quanto à eficiência energética.

O fator modelador de desempenho (FMD) foi empregado como outra variável adicional no modelo TCP estendido. Essa VL foi avaliada como um fator contextual, cuja influência poderia facilitar ou restringir o comportamento desejado. Conforme citado anteriormente, fatores contextuais, como infraestrutura física, instalações técnicas e características do produto, podem ser abordados na TCP como indicadores da variável controle comportamental percebido (CCP). No entanto, não é o que ocorre na literatura pesquisada. Por se tratar de um tema importante para a indústria, optou-se em destacar os fatores contextuais em uma variável latente específica.

Tendo como referência a teoria do erro humano, a variável latente FMD apresentou nesse estudo valores negativos nos coeficientes de caminho, devido à possibilidade de ocorrência de falhas afetarem o desempenho do comportamento. A variável foi analisada como preditora do CCP e do comportamento quanto a eficiência energética (CEE); apesar disso, os resultados não suportaram as hipóteses H6 e H7 em magnitude e significância. Porém, quando a amostra se considera apenas os indivíduos do grupo gestor (gerentes e supervisores), o FMD apresentou significância como preditor da variável CCP. Explica-se esse fato pela visão

sistêmica do grupo gestor quanto aos elementos influenciadores do desempenho organizacional (Figura 28) e dos fatores contextuais que poderiam influenciar os resultados.

Conforme apresentado no item 2.4 referentes as barreiras para eficiência energética, as empresas têm percebido que há uma lacuna entre os níveis de oportunidades implementadas e os resultados que teoricamente poderiam ser alcançados com investimentos em medidas de eficiência energética. Verifica-se que barreiras comportamentais são relevantes para o entendimento da lacuna de eficiência (LOPES et al., 2018), e esse trabalho provê algumas implicações referente ao comportamento quanto à eficiência energética.

Como o controle comportamental percebido CCP foi identificado como fator mais influente nesse estudo, abordagens específicas podem ser adotadas para melhorar a capacidade e habilidades dos trabalhadores industriais em eficiência energética. Além do foco em aspectos tecnológicos e financeiros, os programas de treinamento e desenvolvimento deveriam abordar enfaticamente o impacto ambiental negativo do desperdício de energia.

Embora a variável fator modelador de desempenho não tenha sido significativa no modelo, o entendimento do que pode melhorar ou restringir a performance é um conhecimento fundamental. A análise da confiabilidade humana pode ser utilizada para estimar probabilidades de erro em relação à economia de energia, aplicando-se o fator modelador de desempenho. Com melhor compreensão do ganho financeiro e ambiental, e internalização da crença que todas as atividades são essenciais para economizar energia, desde as mais fáceis como desligar a luz de uma sala, as mais complexas como a parada de uma planta industrial, os trabalhadores industriais possivelmente formarão uma atitude positiva e favorável para economizar energia.

Ademais, vale a pena perceber o papel da norma pessoal para promover o comportamento quanto à eficiência energética. Abordagens para alinhar os valores de proteção ambiental, respeito à natureza e conservação de recursos precisam ser feitas na empresa para que as ações sejam fundamentadas nessas diretrizes.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

7.1 Conclusões

O trabalho da tese aqui apresentado utilizou as abordagens qualitativa e quantitativa em dois estudos específicos. O primeiro propôs e avaliou *ex post facto* um protocolo para melhoria da performance do trabalhador (PROMPT), concebido a partir de um estudo empírico desenvolvido em uma indústria de fertilizantes, e em conceitos da engenharia de sistemas cognitivos, confiabilidade humana e da teoria de sistemas sociotécnico.

Os resultados do estudo empírico numa indústria de fertilizante mostraram que medidas sócio-ambientais tem potencial para melhorar o desempenho ambiental e energético. Observou-se que houve redução de 30,6% do nível de contaminação por $\text{NH}_3\text{-N}$ do efluente líquido da indústria de fertilizantes. A partir desse resultado, um protocolo (PROMPT) foi proposto. Essa ferramenta apoia a liderança na implementação de procedimentos apropriados, e formação de equipes confiáveis para lidar com barreiras, erro humano e mudança comportamental.

O segundo estudo foi realizado em uma indústria química e apresenta um novo modelo estrutural das variáveis determinantes que preveem o comportamento do trabalhador industrial. De modo a verificar a significância e qualidade da previsão, o modelo foi testado por meio da modelagem de equações estruturais (MEE) usando a técnica de mínimos quadrados parciais (*partial least square* - PLS) e apoio do *software* SMART-PLS.

A teoria do comportamento planejado (TCP) é amplamente utilizada em estudos do comportamento social, portanto foi escolhida como base para identificar as variáveis que preveem a conduta do trabalhador quanto à eficiência energética. No entanto, para melhorar o poder de previsão da TCP, foi proposto um modelo estendido incluindo as variáveis norma pessoal (NP) e fatores modeladores do desempenho (FMD). Em seguida, um levantamento quantitativo (*survey*) foi efetuado para coletar os dados e avaliar a estrutura proposta usando a modelagem de equações estruturais que é um método estatístico de análise multivariada de dados. As estatísticas do modelo original TCP foram calculadas e usadas como linha de base para demonstrar a melhoria no poder estatístico do modelo estendido. No ambiente industrial experimentado, foi realizada a modelagem do comportamento dos trabalhadores relacionado à eficiência energética, e foi possível obter um aumento de 31,6% do coeficiente de determinação de Pearson (R^2) em relação ao resultado obtido pelo modelo original TCP.

A modelagem desenvolvida mostra as variáveis mais e menos aderentes à previsão teórica; essa classificação orienta os gestores sobre os aspectos que precisam de reforço por parte da gestão, ou de maior treinamento. No estudo sobre eficiência energética, os resultados identificaram que a intenção de agir (IN) e a norma pessoal (NP) são as principais variáveis que influenciam o comportamento do trabalhador industrial quanto à eficiência energética. Já as variáveis controle comportamental percebido (CCP) e atitude (AT) atuam como preditoras da intenção de agir (IN). Logo, o trabalhador que tenha uma atitude positiva em relação à eficiência energética e alto controle comportamental percebido desenvolverá uma real intenção de agir. Por conseguinte, conclui-se que a organização deve incentivar a educação e treinamento das pessoas abordando os seguintes pontos: (i) o aspecto emocional da atitude; (ii) o lado técnico para aumentar habilidades dos indivíduos e conseqüentemente o CCP; (iii) os valores pessoais referentes à questão ambiental e energética, visando maior eficácia do comportamento quanto à eficiência energética (CEE).

Conforme discutido no item 6.5.2, as hipóteses referentes a duas variáveis do modelo estendido (normas subjetivas e fatores modeladores de desempenho) não foram estatisticamente significativas, ao contrário do que era esperado pela TCP e confiabilidade humana. No entanto, o conhecimento da dinâmica do grupo no comportamento organizacional, e o entendimento de como fatores contextuais podem aumentar ou restringir o desempenho são informações que devem ser objeto de maior atenção, de modo a influenciar a ação dos trabalhadores em direção a eficiência energética nas unidades industriais.

A contribuição para a literatura dessa pesquisa ocorre quando se verifica a hipótese de que o desempenho ambiental e energético na indústria pode ser melhorado quando se influencia o comportamento dos trabalhadores, com base em variáveis que possibilitem prever sua conduta. Ou seja, ao se utilizar o PROMPT e a modelagem por equações estruturais, é possível melhorar o desempenho ambiental e energético por meio do uso de ferramentas para mudar a percepção, estruturar o comportamento futuro e reduzir as barreiras. Adicionalmente, as razões para as pessoas se importarem (RPI) baseadas em metáforas ou símbolos, e a análise ARC são importantes para a internalização de novas rotinas.

Finalmente, pode-se apontar que a aplicação do PROMPT e a modelagem por equações estruturais abrange as seguintes vantagens conforme descrito no capítulo 5: (i) leva em conta o comportamento humano e sua influência desempenho ambiental e energético; (ii) permite que novos procedimentos se tornem hábitos; (iii) contribui para internalização de comportamentos pró-ambientais; (iv) apresenta uma solução para muitas pesquisas analisadas que lidam com barreiras para eficiência energética, mas não como superá-las.

7.2 Limitações e estudos futuros

Apesar do objetivo da tese ter sido alcançada quanto a desenvolver o PROMPT, suportado pelas variáveis que preveem o comportamento do indivíduo quanto à eficiência energética, existem algumas limitações para essa pesquisa: (i) a investigação foi realizada unicamente em indústria do setor químico/petroquímico; (ii) apenas o efeito racional e voluntário no comportamento individual são considerados; (iii) outros aspectos motivacionais como incentivo e punição não foram apreciados; (iv) não foi possível verificar a implementação completa do protocolo.

O trabalho aqui apresentado poderia prosseguir utilizando outras estratégias, por meio do estudo em um maior número de empresas, que está sujeito ao tempo e recursos do pesquisador, mas possibilitaria conclusões mais abrangentes sobre o tema. A análise qualitativa poderia envolver o teste de outras teorias comportamentais que possibilitasse solucionar as limitações apresentadas.

O protocolo foi concebido para a implementação de atividades para melhoria do desempenho ambiental e energético em empresas industriais. Contudo, pode ser usado para em outros sistemas de gerenciamento, como qualidade ou segurança. Apesar do método ter potencial, como mostrado nesse estudo, pesquisas com aplicação de todas as etapas e ferramentas associadas podem ser conduzidas, e a modelagem utilizando outras técnicas matemáticas com lógica fuzzy ou redes neurais. Essas abordagens podem ser objetos de futuros trabalhos de mestrado e doutorado.

Adicionalmente, o potencial de uma abordagem sociotécnica poderia ir além da visão centrada em energia, qualidade ou segurança. Essas perspectivas poderiam ser ampliadas para considerar o desempenho social corporativo, o desempenho ambiental corporativo ou a sustentabilidade corporativa.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. **Desperdício de energia custou mais de R\$ 60 bi para o Brasil nos últimos três anos**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-custou-mais-de-r-60-bi-para-o-brasil-nos-ultimos-tres-anos/>>. Acesso em: 17 mar. 2018.
- AJZEN, I. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In: **Action Control**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1985. p. 11–39.
- AJZEN, I. The theory of planned behavior. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 50, n. 2, p. 179–211, dez. 1991.
- AJZEN, I. The theory of planned behaviour is alive and well, and not ready to retire: a commentary on Sniehotka, Plescia, and Araújo-Soares. **Health Psychology Review**, v. 9, n. 2, p. 131–137, 12 jan. 2015.
- AKYUZ, E.; CELIK, M. Application of CREAM human reliability model to cargo loading process of LPG tankers. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 34, p. 39–48, 2015.
- ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. DE. Fundamentos de metrologia científica e industrial. **407p., Editora Manole**, 2008.
- ANGELO, C.; FEITOSA, C. **País poderá viver drama climático em 2040**. Disponível em: <<https://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/pais-podera-viver-drama-climatico-em-2040>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- AVILA, S. F. . C. H. . S. C. . G. A. **Iniciatives of energy efficiency toward sustainability, opportunities & challenges**. Rio Oil Gas. **Anais...Rio de Janeiro: Rio Oil & Gas Expo and Conference 2014**, 2014
- BACKMAN, F. Barriers to Energy Efficiency in Swedish Non-Energy-Intensive Micro- and Small-Sized Enterprises—A Case Study of a Local Energy Program. **Energies**, v. 10, n. 1, p. 100, 14 jan. 2017.
- BAGOZZI, R. P.; YI, Y. On the evaluation of structural equation models. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 16, n. 1, p. 74–94, mar. 1988.
- BALBINOTTI, G.; PAUPITZ, A. Internationally Management of Socio-technical Projects ??? A Case Study in a Vehicle Assembly. **Procedia Manufacturing**, v. 3, n. Ahfe, p. 6345–6352, 2015.
- BAMBERG, S.; SCHMIDT, P. Incentives, morality, or habit? Predicting students' car use for University routes with the models of Ajzen, Schwartz, and Triandis. **Environment and Behavior**, v. 35, n. 2, p. 264–285, 26 mar. 2003.
- BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5. ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 2002.
- BELL, J.; HOLROYD, J. **Review of human reliability assessment methods** **Health & Safety Laboratory**. Norwich: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr679.pdf>>.

- BERTOLDO, R.; CASTRO, P. The outer influence inside us: Exploring the relation between social and personal norms. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 112, p. 45–53, set. 2016.
- BLOMQVIST, E.; THOLLANDER, P. An integrated dataset of energy efficiency measures published as linked open data. **Energy Efficiency**, v. 8, n. 6, p. 1125–1147, 20 dez. 2015.
- BOLLEN, K. A. A New Incremental Fit Index for General Structural Equation Models. **Sociological Methods & Research**, v. 17, n. 3, p. 303–316, fev. 1989.
- BOLLEN, K.; LENNOX, R. Conventional wisdom on measurement: A structural equation perspective. **Psychological bulletin**, v. 110, n. 2, p. 305, 1991.
- BOOMSMA, C. et al. The feasibility of saving energy in challenging organisational contexts: Testing energy visualisation in a social services office in the United Kingdom. **Energy Research & Social Science**, v. 15, p. 58–74, maio 2016.
- BORING, R. L.; BLACKMAN, H. S. **The origins of the SPAR-H method's performance shaping factor multipliers**. IEEE Conference on Human Factors and Power Plants. **Anais...IEEE**, 2007
- BORSBOOM, D.; MELLENBERGH, G. J.; VAN HEERDEN, J. The concept of validity. **Psychological review**, v. 111, n. 4, p. 1061, 2004.
- BORTOLETO, A. P.; KURISU, K. H.; HANAKI, K. Model development for household waste prevention behaviour. **Waste Management**, v. 32, n. 12, p. 2195–2207, 2012.
- BOSTROM, R. P.; HEINEN, J. S. MIS Problems and Failures: A Socio-Technical Perspective. Part I: The Causes. **MIS Quarterly**, v. 1, n. 3, p. 17, set. 1977.
- BOTETZAGIAS, I.; DIMA, A.-F.; MALESIOS, C. Extending the Theory of Planned Behavior in the context of recycling: The role of moral norms and of demographic predictors. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 58–67, 1 fev. 2015.
- BROMAN TOFT, M.; SCHUITEMA, G.; THØGERSEN, J. Responsible technology acceptance: Model development and application to consumer acceptance of Smart Grid technology. **Applied Energy**, v. 134, p. 392–400, dez. 2014.
- BUNSE, K. et al. Integrating energy efficiency performance in production management - Gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6–7, p. 667–679, 2011.
- CAGNO, E. et al. Quick-E-scan: A methodology for the energy scan of SMEs. **Energy**, v. 35, n. 5, p. 1916–1926, maio 2010.
- CAGNO, E.; TRIANNI, A. Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures: an exploratory study in small and medium-sized enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 82, p. 70–83, 2014.
- CARRICO, A. R.; RIEMER, M. Motivating energy conservation in the workplace: An evaluation of the use of group-level feedback and peer education. **Journal of environmental psychology**, v. 31, n. 1, p. 1–13, 2011.

- CASTAÑO-MARTÍNEZ, M.-S.; MÉNDEZ-PICAZO, M.-T.; GALINDO-MARTÍN, M.-Á. Policies to promote entrepreneurial activity and economic performance. **Management Decision**, v. 53, n. 9, p. 2073–2087, 2015.
- CHIARONI, D. et al. Overcoming internal barriers to industrial energy efficiency through energy audit: a case study of a large manufacturing company in the home appliances industry. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, n. 4, p. 1031–1046, 26 maio 2017.
- CHIN, W. W. The partial least squares approach to structural equation modeling. **Modern methods for business research**, v. 295, n. 2, p. 295–336, 1998.
- CHIU, T.-Y.; LO, S.-L.; TSAI, Y.-Y. Establishing an Integration-Energy-Practice Model for Improving Energy Performance Indicators in ISO 50001 Energy Management Systems. **Energies**, v. 5, n. 12, p. 5324–5339, 2012.
- COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. [s.l.] Routledge, 2013.
- COLTMAN, T. et al. Formative versus reflective measurement models: Two applications of formative measurement. **Journal of Business Research**, v. 61, n. 12, p. 1250–1262, 2008.
- DANIELS, A. C. **Bringing out the best in people**. [s.l.] McGraw Hill Professional, 1999.
- DAVISON, A. C.; HINKLEY, D. V. Introduction. In: **Bootstrap methods and their application**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. v. 1p. 1–10.
- DIAMANTOPOULOS, A. et al. Guidelines for choosing between multi-item and single-item scales for construct measurement: a predictive validity perspective. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 40, n. 3, p. 434–449, 2012.
- DIETZ, T. et al. A Value-Belief-Norm Theory of Support for Social Movements: The Case of Environmentalism. **Research in Human Ecology**, v. 6, n. 2, p. 81–97, 1999.
- DIJKSTRA, T. K.; HENSELER, J. Consistent Partial Least Squares Path Modeling. **MIS Quarterly**, v. 39, n. 2, p. 297–316, 2 fev. 2015.
- DIXON, G. N. et al. Saving energy at the workplace: The salience of behavioral antecedents and sense of community. **Energy Research and Social Science**, v. 6, p. 121–127, 2015.
- DUHIGG, C. **O poder do hábito: por que fazemos o que fazemos na vida e nos negócios**. [s.l.] Objetiva, 2012.
- EBOLI, L.; FORCINITI, C.; MAZZULLA, G. Formative and reflective measurement models for analysing transit service quality. **Public Transport**, v. 10, n. 1, p. 107–127, 2018.
- EDWARDS, J. R.; BAGOZZI, R. P. On the nature and direction of relationships between constructs and measures. **Psychological methods**, v. 5, n. 2, p. 155, 2000.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An introduction to the bootstrap**. 1. ed. [s.l.] CRC press, 1994.
- EMBREY, D.; KONTOGIANNIS, T.; GREEN, M. **Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004. v. 1

EMERY, F. E.; TRIST, E. L. The causal texture of organizational environments. **Human relations**, v. 18, n. 1, p. 21–32, 1965.

EPE. **Brazilian Energy Balance**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

ERTZ, M.; KARAKAS, F.; SARIGÖLLÜ, E. Exploring pro-environmental behaviors of consumers: An analysis of contextual factors, attitude, and behaviors. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 10, p. 3971–3980, 2016.

FAUL, F. et al. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. **Behavior research methods**, v. 41, n. 4, p. 1149–1160, 2009.

FISHBEIN, M.; AJZEN, I. **Predicting and changing behavior: The reasoned action approach**. [s.l.] Taylor & Francis, 2011.

FLEITER, T.; SCHLEICH, J.; RAVIVANPONG, P. Adoption of energy-efficiency measures in SMEs—An empirical analysis based on energy audit data from Germany. **Energy Policy**, v. 51, p. 863–875, dez. 2012.

FOGG, B. **A Behavior Model for Persuasive Design**. Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology. **Anais...**New York, NY, USA: ACM, 2009aDisponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1541948.1541999>>

FOGG, B. J. **Fogg Behavior Model**. Disponível em: <<http://behaviormodel.org/index.html>>. Acesso em: 18 jul. 2017b.

FORNARA, F. et al. Predicting intention to improve household energy efficiency: The role of value-belief-norm theory, normative and informational influence, and specific attitude. **Journal of Environmental Psychology**, v. 45, p. 1–10, 2016.

FORNELL, C.; BOOKSTEIN, F. L. Two structural equation models: LISREL and PLS applied to consumer exit-voice theory. **Journal of Marketing research**, p. 440–452, 1982.

FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. **Journal of Marketing Research**, v. 18, n. 1, p. 39, fev. 1981.

FRANCIS, J. et al. **Constructing questionnaires based on the theory of planned behaviour: A manual for health services researchers**. Disponível em: <<http://openaccess.city.ac.uk/1735/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FREDERIKS, E. R.; STENNER, K.; HOBMAN, E. V. Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1385–1394, jan. 2015.

GALYEAN, W. J. et al. **SPAR-H Step-by-Step Guidance**. United States: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1027888>>.

GAO, L. et al. Application of the extended theory of planned behavior to understand individual's energy saving behavior in workplaces. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, n. April, p. 107–113, 2017.

GERTMAN, D.; BLACKMAN, H.; MARBLE, J. **The SPAR-H human reliability analysis method**. Washington, DC: [s.n.].

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

GRIFFIN, R. W.; MOORHEAD, G. **Organizational behavior**. 10. ed. [s.l.] Cengage Learning, 2011.

GUAGNANO, G. A.; STERN, P. C.; DIETZ, T. Influences on Attitude-Behavior Relationships. **Environment and Behavior**, v. 27, n. 5, p. 699–718, 1995.

HÄCKEL, B.; PFOSSER, S.; TRÄNKLER, T. Explaining the energy efficiency gap - Expected Utility Theory versus Cumulative Prospect Theory. **Energy Policy**, v. 111, n. May 2016, p. 414–426, 2017.

HAIR, J. et al. Multivariate data analysis: a global perspective. **New Jersey. Pearson. Ed**, v. 7, p. 816, 2010.

HAIR, J. F. et al. **A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)**. London: Sage Publications, 2014.

HAIR, J. F.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. PLS-SEM: Indeed a silver bullet. **Journal of Marketing theory and Practice**, v. 19, n. 2, p. 139–152, 2011.

HAIR JR, J. F. et al. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)**. 2^a ed. London: Sage Publications, 2016.

HE, X.; ZHAN, W. How to activate moral norm to adopt electric vehicles in China? An empirical study based on extended norm activation theory. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3546–3556, 2018.

HERRMANN, N. The Creative Brain*. **The Journal of Creative Behavior**, v. 25, n. 4, p. 275–295, dez. 1991.

HIRST, E.; BROWN, M. Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 3, n. 4, p. 267–281, jun. 1990.

HRUSTIC, A. et al. A Simplified Energy Management System Towards Increased Energy Efficiency in SMEs. **World Renewable Energy Congress 2011**, p. 1513–1520, 2011.

HUBERT, M.; BRANDEN, K. VANDEN. Robust methods for partial least squares regression. **Journal of Chemometrics**, v. 17, n. 10, p. 537–549, out. 2003.

IEA, I. E. A.-. **Energy Technology Perspectives 2017**. Paris: OECD, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, Q. E T.-I. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2008)**INMETRO Rio de Janeiro, , 2009.

ISO 19011. **Guidelines for auditing management systems**, 2011.

ISO 50001. **Energy management systems — Requirements with guidance for use**, 2011.

JACKSON, T. Negotiating Sustainable Consumption: A Review of the Consumption Debate and its Policy Implications. **Energy & Environment**, v. 15, n. 6, p. 1027–1051, 7 nov. 2004.

JARVIS, C. B.; MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M. A critical review of construct indicators and measurement model misspecification in marketing and consumer research. **Journal of consumer research**, v. 30, n. 2, p. 199–218, 2003.

JÖRESKOG, K. G.; SÖRBOM, D. **LISREL 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language**. [s.l.] Scientific Software International, 1993.

KANNAN, R.; BOIE, W. Energy management practices in SME—case study of a bakery in Germany. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 6, p. 945–959, abr. 2003.

KEE, D.; JUN, G. T.; HASLAM, R. A systemic analysis of South Korea Sewol ferry accident – Striking a balance between learning and accountability. **Applied Ergonomics**, v. 59, p. 504–516, 2017.

KLÖCKNER, C. A. A comprehensive model of the psychology of environmental behaviour—A meta-analysis. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 5, p. 1028–1038, out. 2013.

KLÖCKNER, C. A.; BLÖBAUM, A. A comprehensive action determination model: Toward a broader understanding of ecological behaviour using the example of travel mode choice. **Journal of Environmental Psychology**, v. 30, n. 4, p. 574–586, 2010.

KLÖCKNER, C. A.; MATTHIES, E. Structural Modeling of Car Use on the Way to the University in Different Settings: Interplay of Norms, Habits, Situational Restraints, and Perceived Behavioral Control. **Journal of Applied Social Psychology**, v. 39, n. 8, p. 1807–1834, ago. 2009.

KOTTER, J. P. **Leading Change**. [s.l.] Harvard Business Press, 2006.

KRAJANGSRI, T.; PONGPENG, J. Effect of Sustainable Infrastructure Assessments on Construction Project Success Using Structural Equation Modeling. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 3, p. 04016056, maio 2017.

KUO, T. C. et al. Identifying sustainable behavior of energy consumers as a driver of design solutions: The missing link in eco-design. **Journal of Cleaner Production**, v. 192, p. 486–495, 2018.

LANDRY, N. et al. Learned helplessness moderates the relationship between environmental concern and behavior. **Journal of Environmental Psychology**, v. 55, p. 18–22, fev. 2018.

LIOSIKIENĖ, G.; MANDRAVICKAITĖ, J.; BERNATONIENĖ, J. Theory of planned behavior approach to understand the green purchasing behavior in the EU: A cross-cultural study. **Ecological Economics**, v. 125, p. 38–46, maio 2016.

LO, S. H.; PETERS, G. J. Y.; KOK, G. A Review of Determinants of and Interventions for Proenvironmental Behaviors in Organizations. **Journal of Applied Social Psychology**, v. 42, n. 12, p. 2933–2967, 2012.

LOMBORG, B. **Global Warming's Technology Deficit**. Disponível em: <<https://www.project-syndicate.org/commentary/global-warming-s-technology-deficit?barrier=accessreg>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

LOPES, J. R. et al. Energy efficiency improvement in non-intensive energy enterprises: A framework proposal. **Energies**, v. 11, n. 5, 2018.

LOPES, M. A. R.; ANTUNES, C. H.; MARTINS, N. Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4095–4104, 2012.

LORENZO, D. K. **A manager's guide to reducing human errors: Improving human performance in the process industry** API Publication 770. Washington, DC: [s.n.]. Disponível em: <https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=API_PUBL_770&item_s_key=00379693>.

LUTHANS, F. **Organizational behavior: An evidence-based approach**. 13. ed. London: Information Age Publishing, 2015.

LYNCH, D.; MARTIN, P. How energy efficiency programs influence energy use: an application of the theory of planned behaviour. **European Council for an Energy Efficient Economy Summer Study**, p. 2037–2048, 2010.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. [s.l.] 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

MARCOULIDES, G. A.; SAUNDERS, C. Editor's comments: PLS: a silver bullet? **MIS quarterly**, p. iii–ix, 2006.

MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R.; GARCÍA-VALIÑAS, M. A.; NAUGES, C. Households' pro-environmental habits and investments in water and energy consumption: determinants and relationships. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 174–83, 15 jan. 2014.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. [s.l.] Saraiva, 2009.

MAYR, S. et al. A short tutorial of GPower. **Tutorials in Quantitative Methods for Psychology**, v. 3, n. 2, p. 51–59, 1 set. 2007.

MCDONALD, F. Developing an Integrated Conceptual Framework of Pro-Environmental Behavior in the Workplace through Synthesis of the Current Literature. **Administrative Sciences**, v. 4, n. 3, p. 276–303, 2014.

MCKANE, A. Thinking Globally: How ISO 50001-Energy Management can make industrial energy efficiency standard practice. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, 2010.

MCLEOD, R. W. Human factors in barrier management: Hard truths and challenges. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 110, p. 31–42, 2017.

- MEATH, C.; LINNENLUECKE, M.; GRIFFITHS, A. Barriers and motivators to the adoption of energy savings measures for small- and medium-sized enterprises (SMEs): the case of the ClimateSmart Business Cluster program. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3597–3604, 2016.
- MURTAGH, N. et al. Individual energy use and feedback in an office setting: A field trial. **Energy Policy**, v. 62, p. 717–728, 2013.
- MYKONIATIS, K.; ANGELOPOULOU, A. **The system dynamics architecture of UTASiMo: A simulation-based task analysis tool to predict human error probability**. 2017 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management, CogSIMA 2017. **Anais...IEEE**, mar. 2017Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7929604/>>
- NUNNALLY, J. C.; BERNSTEIN, I. H. **Psychometric Theory (McGraw-Hill Series in Psychology)**. [s.l.] McGraw-Hill New York, 1994. v. 3
- ONWEZEN, M. C.; ANTONIDES, G.; BARTELS, J. The Norm Activation Model: An exploration of the functions of anticipated pride and guilt in pro-environmental behaviour. **Journal of Economic Psychology**, v. 39, p. 141–153, dez. 2013.
- PARAMONOVA, S.; THOLLANDER, P.; OTTOSSON, M. Quantifying the extended energy efficiency gap-evidence from Swedish electricity-intensive industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 472–483, nov. 2015.
- PAULRAJ, A.; LADO, A. A.; CHEN, I. J. Inter-organizational communication as a relational competency: Antecedents and performance outcomes in collaborative buyer–supplier relationships. **Journal of operations management**, v. 26, n. 1, p. 45–64, 2008.
- PETERSON, R. A. A Meta-Analysis of Cronbach’s Coefficient Alpha. **Journal of Consumer Research**, v. 21, n. 2, p. 381, 1 set. 1994.
- PETRICK, S.; REHDANZ, K.; WAGNER, U. Interactions Between Selected Energy Use and Production Characteristics of German Manufacturing Plants. p. 867–874, 2011.
- PRINDLE, W.; FINLINSON, S. How organizations can drive behavior-based energy efficiency. In: **Energy, sustainability and the environment**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 305–335.
- RASMUSSEN, M.; STANDAL, M. I.; LAUMANN, K. Task complexity as a performance shaping factor: A review and recommendations in Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis (SPAR-H) adaption. **Safety Science**, v. 76, p. 228–238, 2015.
- REASON, J. **Human Error**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- REINARTZ, W.; HAENLEIN, M.; HENSELER, J. An empirical comparison of the efficacy of covariance-based and variance-based SEM. **International Journal of research in Marketing**, v. 26, n. 4, p. 332–344, 2009.
- REN21. **Renewables 2018 global status report**. Disponível em: <<http://www.ren21.net/gsr-2018/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

RINGLE, C. M. et al. Partial least squares structural equation modeling in HRM research. **The International Journal of Human Resource Management**, p. 1–27, 2018.

RINGLE, C. M.; DA SILVA, D.; BIDO, D. DE S. Modelagem de equações estruturais com utilização do SmartPLS. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56–73, 2014.

ROBBINS, S. P.; JUDGE, T. A. **Organizational behavior, 15th Edn.** 15. ed. [s.l.] Boston: Pearson, 2013.

ROHDIN, P.; THOLLANDER, P. Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. **Energy**, v. 31, n. 12, p. 1500–1508, 2006.

ROSSITER, J. R. The C-OAR-SE procedure for scale development in marketing. **International journal of research in marketing**, v. 19, n. 4, p. 305–335, 2002.

SARSTEDT, M. et al. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): A useful tool for family business researchers. **Journal of Family Business Strategy**, v. 5, n. 1, p. 105–115, 1 mar. 2014.

SCHWARTZ, S. H. Normative influences on altruism¹. In: **Advances in experimental social psychology**. [s.l.] Elsevier, 1977. v. 10p. 221–279.

SCHWARTZ, S. H.; HOWARD, J. A. Explanations of the Moderating Effect of Responsibility Denial on the Personal Norm-Behavior Relationship. **Social Psychology Quarterly**, v. 43, n. 4, p. 441, dez. 1980.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 2001.

SNIEHOTTA, F. F.; PRESSEAU, J.; ARAÚJO-SOARES, V. Time to retire the theory of planned behaviour. **Health Psychology Review**, v. 8, n. 1, p. 1–7, 2014.

SORRELL, S. et al. Reducing barriers to energy efficiency in public and private organizations. **Science and Policy Technology Research (SPRU), University of Sussex, Sussex, UK**, 2000.

SORRELL, S.; MALLETT, A.; NYE, S. Barriers to industrial energy efficiency: A literature review. 2011.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, 12 fev. 2015.

STEG, L. et al. An Integrated Framework for Encouraging Pro-environmental Behaviour: The role of values, situational factors and goals. **Journal of Environmental Psychology**, v. 38, p. 104–115, jun. 2014.

STEPHENSON, J. et al. Energy cultures: A framework for understanding energy behaviours. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6120–6129, 2010.

- STEPHENSON, J. et al. **Energy Cultures - A Framework for Interdisciplinary Research**. World Renewable Energy Congress 2011. **Anais...**Linkoping: 2011Disponível em: <http://www.ep.liu.se/ecp_article/index.en.aspx?issue=57;vol=3;article=36>
- STRAGIER, J.; HAUTTEKEETE, L.; MAREZ, L. DE. Reducing Households ' Energy Use : A Segmentation of Flanders on Adoption Intention of Smart Metering Technology. **Energy**, n. 3, p. 945–951, 2011.
- SVENSSON, E.; HARVEY, S. Pinch Analysis of a Partly Integrated Pulp and Paper Mill. **World Renewable Energy Congress 2011, May 8-13**, n. World Renewable Energy Congress, p. 1521–1528, 2011.
- SWAIN, A. D.; GUTTMANN, H. E. **Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Final report**. [s.l.] Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA), 1983.
- SWEENEY, J. C. et al. Energy saving behaviours: Development of a practice-based model. **Energy Policy**, v. 61, p. 371–381, 2013.
- TAUFIQUE, K. R.; VAITHIANATHAN, S. A Fresh Look at Understanding Green Consumer Behavior among Young. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 46–55, 2018.
- THOLLANDER, P. et al. International study on energy end-use data among industrial SMEs (small and medium-sized enterprises) and energy end-use efficiency improvement opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 282–296, 2015.
- THOLLANDER, P.; DANESTIG, M.; ROHDIN, P. Energy policies for increased industrial energy efficiency: Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5774–5783, nov. 2007.
- THOLLANDER, P.; PALM, J. Improving Energy Efficiency in Industrial SMEs. In: **Improving Energy Efficiency in Industrial Energy Systems**. London: Springer London, 2013. p. 15–34.
- THOLLANDER, P.; PALM, J. Industrial Energy Management Decision Making for Improved Energy Efficiency—Strategic System Perspectives and Situated Action in Combination. **Energies**, v. 8, n. 6, p. 5694–5703, 2015.
- THOLLANDER, P.; PALM, J.; ROHDIN, P. Categorizing Barriers to Energy Efficiency : An Interdisciplinary Perspective. **Energy Efficiency**, p. 49–63, 2010.
- TRIANNI, A.; CAGNO, E.; FARNÉ, S. Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. **Applied Energy**, v. 162, p. 1537–1551, 2016.
- TRIST, E. L. et al. **Organizational Choice (RLE: Organizations): Capabilities of Groups at the Coal Face Under Changing Technologies**. [s.l.] Routledge, 2013.
- TUDELA, A.; HABIB, K. M. N.; IDRIS, A. O. Semantic Approach to Capture Psychological Factors Affecting Mode Choice: Comparative Results from Canada and Chile. In: **Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making**. [s.l.] Emerald Group Publishing Limited, 2013. p. 625–642.

UDO, G.; BAGCHI, K.; MAITY, M. Erratum to: Exploring Factors Affecting Digital Piracy Using the Norm Activation and UTAUT Models: The Role of National Culture. **Journal of Business Ethics**, v. 135, n. 3, p. 605–605, 16 maio 2016.

VAN DER WERFF, E.; STEG, L. One model to predict them all: Predicting energy behaviours with the norm activation model. **Energy Research & Social Science**, v. 6, p. 8–14, mar. 2015.

VAN EIJNATTEN, F. M. Developments in the socio-technical systems design (STSD). **Organizational Psychology**, v. 4, p. 61, 1998.

VINING, J.; EBREO, A. Predicting recycling behavior from global and specific environmental attitudes and changes in recycling opportunities. **Journal of applied social psychology**, v. 22, n. 20, p. 1580–1607, 1992.

VINZI, V. E.; TRINCHERA, L.; AMATO, S. PLS path modeling: from foundations to recent developments and open issues for model assessment and improvement. In: **Handbook of partial least squares**. [s.l.] Springer, 2010. p. 47–82.

VON BORGSTEDTE, C.; BIEL, A. Pro-Environmental Behaviour: Situational Barriers and Concern for the Good at Stake. **Göteborg Psychological Reports**, v. 32, n. 1, p. 1–10, 2002.

WANG, B. et al. Analysis of factors influencing residents' habitual energy-saving behaviour based on NAM and TPB models: Egoism or altruism? **Energy Policy**, v. 116, n. C, p. 68–77, maio 2018.

WANG, S. et al. Predicting consumers' intention to adopt hybrid electric vehicles: using an extended version of the theory of planned behavior model. **Transportation**, v. 43, n. 1, p. 123–143, 4 jan. 2016.

WANG, S.; LIN, S.; LI, J. Exploring the effects of non-cognitive and emotional factors on household electricity saving behavior. **Energy Policy**, v. 115, p. 171–180, 2018.

WANG, Z.; ZHANG, B.; LI, G. Determinants of energy-saving behavioral intention among residents in Beijing: Extending the theory of planned behavior. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 6, n. 5, p. 053127, set. 2014.

WEBB, T. L.; SHEERAN, P. Does changing behavioral intentions engender behavior change? A meta-analysis of the experimental evidence. **Psychological Bulletin**, v. 132, n. 2, p. 249–268, 2006.

WICKENS, C. D. et al. **Engineering psychology & human performance**. [s.l.] Psychology Press, 2015.

WORRELL, E. **The Next Frontier to Realize Industrial Energy Efficiency**. Renewable Energy. **Anais...** Linköping University Electronic Press, 2011 Disponível em: <<https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/225579>>

YADAV, R.; PATHAK, G. S. Young consumers' intention towards buying green products in a developing nation: Extending the theory of planned behavior. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 732–739, nov. 2016.

ZHANG, X.; GENG, G.; SUN, P. Determinants and implications of citizens' environmental complaint in China: Integrating theory of planned behavior and norm activation model. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 148–156, 2017.

ZHANG, Y.; WANG, Z.; ZHOU, G. Antecedents of employee electricity saving behavior in organizations: An empirical study based on norm activation model. **Energy Policy**, v. 62, p. 1120–1127, 1 nov. 2013.

ZIERLER, R.; WEHRMEYER, W.; MURPHY, R. The energy efficiency behaviour of individuals in large organisations : A case study of a major UK infrastructure operator. **Energy Policy**, v. 104, n. January, p. 38–49, 2017.

APÊNDICE A Questionário

Itens do Questionário

Seção A: Introdução

Seção B: perfil demográfico

Idade

1. Abaixo de 22
2. 23 a 34
3. 35 a 44
4. 45 a 54
5. Mais de 55

Nível de educação

1. Ensino médio ou abaixo
2. Ensino médio
3. Técnico
4. Graduação
5. Pós-graduação

Experiência de trabalho

1. Abaixo de 5
2. 5 a 10
3. 11 a 15
4. 16 a 20
5. Mais de 21

Ocupação

1. Administrativo
2. Operacional
3. Supervisor
4. Gestão

Seção C: itens de mensuração das variáveis latentes

Intenção

IN1. Estou disposto a economizar energia na minha empresa.

IN2. Eu procuro me engajar nos programas e atividades de eficiência energética na minha empresa.

IN3. Vou me esforçar para realizar procedimentos que aumentem a eficiência energética na minha empresa.

Atitude em relação ao comportamento

AT1. Adotar práticas de eficiência energética é uma medida inteligente.

AT2. Economizar insumos energéticos (eletricidade, gás, gasolina, óleo combustível, vapor, água, ar comprimido etc.) é significativo para reduzir as emissões de carbono.

AT3. É gratificante adotar práticas de eficiência energética para contribuir com o meio ambiente.

AT4. Para mim, adotar novas práticas de eficiência energética é estimulante.

Controle comportamental percebido

CCP1. Em minha opinião, eu tenho conhecimento e habilidade para implementar práticas de eficiência energética.

CCP2. Tenho certeza de que posso executar ações para economizar insumos energéticos na minha empresa.

CCP3. Adotar o comportamento de economizar energia depende inteiramente de mim.

CCP4. As dificuldades fora do meu controle que podem me impedir de economizar insumos energéticos são poucas.

Normas subjetivas

NS1. Meus colegas tomam medidas para economizar energia na empresa.

NS2. Os departamentos da empresa são rápidos em adotar práticas de eficiência energética.

NS3. Minha percepção é de que os gerentes da empresa adotam o comportamento de economizar de energia.

NS4. A gestão da empresa espera que eu tenha um comportamento efetivo quanto à eficiência energética.

NS5. Meus colegas acham que eu deveria economizar energia na empresa.

NS6. As pessoas cuja opinião eu valorizo são a favor que eu adote ações para melhorar a eficiência energética.

Norma pessoal

NP1. O desperdício de insumos energéticos na empresa iria contra meus princípios de proteção ambiental.

NP2. Eu tenho o compromisso de economizar energia para contribuir com a melhoria do meio ambiente.

NP3. Eu me sentiria culpado por não economizar energia na empresa.

Fatores modeladores do desempenho

FMD1. O pouco tempo disponível no trabalho impossibilita a adoção de novos procedimentos para economizar energia.

FMD2. O estresse do dia a dia no trabalho dificulta a adoção de melhorias no consumo de energia.

FMD3. A complexidade do processo de trabalho requer esforço físico e mental que dificulta adotar ações para melhoria da eficiência energética.

FMD4. A atual ergonomia (organização e interação do trabalhador com o equipamento) prejudica a execução de práticas de eficiência energética.

FMD5. O processo de trabalho (planejamento, comunicação, cultura, suporte à gestão etc.) dificulta adotar ações para melhoria da eficiência energética.

Comportamento quanto à eficiência energética

CEE1. Eu economizo energia no trabalho.

CEE2. Economizar insumos energéticos (eletricidade, gás, gasolina, óleo combustível, vapor, água, ar comprimido, etc.) é um comportamento natural para mim.

CEE3. Eu adotei ações para melhoria da eficiência energética no trabalho.

APÊNDICE B Respostas do Questionário

IDA	GRD	EXP	OCF	AT1	AT2	AT3	AT4	NS1	NS2	NS3	NS4	NS5	NS6	NP1	NP2	NP3	CCP1	CCP2	CCP3	CCP4	IN1	IN2	IN3	CCE1	CCE2	CCE3	FMD1	FMD2	FMD3	FMD4	FMD5	
4	5	5	1	7	7	7	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	6	7	5	5	7	7	7	6	5	5	5	5	5	2	2	
4	4	5	1	7	7	7	6	5	4	5	4	2	6	7	7	7	3	4	7	1	7	6	6	7	6	6	4	3	3	2	1	
2	4	2	3	6	4	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	5	6	7	3	6	6	5	6	6	5	5	4	5	3	1		
5	4	5	4	7	7	7	7	6	5	6	6	6	7	6	6	6	6	6	5	2	7	6	6	6	5	5	1	1	1	1	1	
3	3	4	2	6	2	6	7	2	1	1	3	1	1	5	6	5	1	5	5	2	6	5	6	6	7	6	7	7	7	7		
5	4	5	1	7	5	7	3	4	3	3	3	3	6	6	7	3	5	3	1	7	5	6	7	4	3	4	5	3	3	3		
3	4	4	1	7	7	6	6	6	3	7	7	5	7	7	7	7	5	7	5	5	7	7	7	7	7	7	7	5	5	6	7	
4	5	5	2	7	7	6	6	5	4	5	5	4	6	7	4	6	6	6	7	4	7	6	5	5	5	5	5	2	2	1	2	
3	3	3	2	7	7	7	6	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	7	7	7	7	7	7	5	5	6	5	7	
4	3	5	2	7	7	7	5	5	5	7	6	6	6	7	6	6	6	6	6	5	7	6	7	7	7	7	5	6	6	5	5	
4	4	5	4	7	7	7	7	5	3	5	5	5	5	7	5	6	6	6	6	4	7	6	6	6	6	5	2	2	3	2	5	
5	3	5	3	7	7	7	6	5	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7	7	7	2	3	3	2	1	
4	3	5	2	7	7	7	6	5	6	6	6	6	5	7	6	6	5	5	5	5	6	5	4	6	5	6	5	3	3	2	2	
4	4	5	3	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	3	6	5	5	5	5	6	3	6	5	4	5	5	
3	5	3	4	7	7	7	7	4	4	5	7	5	6	6	7	6	5	6	5	5	7	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	
4	4	5	2	7	7	7	7	5	6	7	7	4	6	7	7	7	4	5	4	5	7	4	5	6	6	5	4	5	3	7	7	
3	4	3	2	7	7	7	7	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	4	7	7	7	7	7	7	7	7	1	1	1	1	1	
1	4	1	2	7	7	7	6	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	1	1	1	1	
4	5	4	1	7	7	7	7	5	5	6	6	5	5	6	7	7	7	7	6	5	7	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
5	5	5	2	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	5	5	5	1	3	
4	5	5	1	7	7	7	6	7	5	6	6	5	7	7	7	7	4	5	5	4	7	6	7	7	7	7	6	7	6	3	3	
4	4	2	1	7	7	7	7	5	6	6	7	5	7	7	6	6	6	6	7	5	7	7	7	5	5	5	4	1	1	1	1	
4	3	5	1	7	7	7	7	6	5	6	6	6	6	6	7	7	6	7	6	6	7	6	7	7	7	7	3	3	3	3	4	
4	3	5	3	7	7	7	6	5	5	7	7	4	6	6	7	6	6	5	5	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1	5	
4	4	5	2	7	7	7	7	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	3	7	7	6	6	6	6	2	2	3	5	5	
3	5	4	4	7	7	7	7	5	4	6	6	6	7	7	7	7	5	6	5	5	7	6	6	6	6	5	6	6	5	4	6	
4	5	5	1	7	7	7	6	6	6	6	7	4	6	7	7	7	6	6	5	3	7	6	7	7	7	7	1	1	2	2	6	
4	5	5	4	7	7	7	6	6	7	6	6	7	6	7	7	7	6	6	4	7	7	7	7	7	7	7	4	3	3	4	5	
4	3	5	2	7	7	7	7	5	4	4	6	6	5	6	7	6	6	6	6	3	6	7	6	6	6	6	4	4	4	4	4	
4	2	5	2	7	7	7	6	5	4	7	7	5	6	7	7	7	5	6	5	4	7	7	7	7	7	7	7	5	6	5	4	4
3	5	5	1	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	7	5	6	5	5	7	7	7	7	7	6	6	6	3	5	2	
3	5	4	3	7	7	7	6	5	4	5	6	4	4	6	6	4	4	6	4	3	6	5	6	4	4	4	5	5	4	4	5	
2	5	2	2	7	7	7	7	6	6	6	7	5	7	7	7	7	6	6	3	3	7	7	7	7	7	6	4	5	4	1	3	
5	4	5	3	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7	4	7	6	7	6	6	6	1	2	1	1	1	
4	5	5	4	7	7	7	7	6	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	2	3	1	1	1	
4	4	5	2	7	7	7	7	6	6	6	6	7	6	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	2	1	2	1	2	
3	5	5	2	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	6	3	7	7	7	7	7	7	1	1	3	5	6	
4	2	5	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	1	2	1	
4	4	5	2	7	7	7	7	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	4	3	6	6	6	5	5	6	2	2	1	1	1	
4	3	5	2	7	7	6	7	6	5	7	7	6	6	7	6	6	5	7	5	4	7	6	7	6	6	6	6	6	5	4	5	
4	4	5	2	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	5	
4	4	5	3	7	5	6	6	5	4	5	5	4	5	6	6	6	5	5	3	3	6	6	6	6	3	6	4	3	3	5	5	
2	5	2	4	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	7	7	7	7	7	7	6	4	4	3	2	
1	4	1	1	7	7	7	7	7	6	7	7	6	7	7	7	7	4	6	4	4	7	7	7	7	7	6	5	6	5	4	5	
4	5	5	4	7	7	7	7	6	5	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	4	7	7	7	7	6	6	5	6	1	2	2	
3	5	5	4	7	7	7	7	5	5	7	6	3	3	7	7	6	4	3	1	4	6	5	6	5	5	3	7	5	6	3	4	
3	4	5	2	7	7	7	7	6	5	6	6	7	7	7	7	7	6	7	5	5	7	7	7	7	7	7	5	6	6	7	7	
4	5	5	3	7	7	7	7	6	3	5	3	5	4	5	5	5	2	4	5	3	7	3	6	3	3	6	5	3	5	5	6	
4	5	5	4	7	7	7	6	5	6	6	6	7	6	6	7	6	6	3	6	5	3	7	6	7	7	6	6	6	5	5	5	
4	5	5	1	6	6	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	3	5	6	3	6	3	5	6	5	5	5	3	3	1	1	
2	5	3	1	7	7	7	7	4	2	3	3	4	5	4	5	5	3	4	3	4	5	4	5	6	6	5	2	1	2	4	4	
3	3	5	3	7	7	7	7	3	3	6	7	3	7	4	6	6	6	7	3	2	7	7	7	6	6	6	1	1	1	6	7	
5	4	5	3	7	7	7	7	5	3	5	5	5	4	5	6	6	6	6	6	5	7	6	7	6	6	6	2	3	2	6	6	
2	4	3	2	7	7	7	7	6	5	6	6	6	6	5	7	6	6	6	4	4	7	7	7	7	7	6	4	2	3	2	2	
4	5	5	3	7	7	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	3	6	6	6	5	7	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	
4	4	5	1	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	6	5	6	6	5	7	5	5	7	6	6	4	5	4	2	2	
4	5	5	2	7	7	7	7	5	6	7	7	6	7	7	7	7	5	7	4	6	7	7	7	6	6	5	6	7	5	6	4	
4	4	5	1	7	7	7	6	6	5	7	6	1	4	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6	6	6	2	2	2	1	2	
5	4	5	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	6	2	2	2	2	
4	4	5	1	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	6	6	7	6	7	6	7	6	2	2	6	1	3	3	
4	3	5	3	7	7	7	7	6	6	6	7	6	7	6	7	6	6	6	6	5	7	6	6	6	6	7	5	5	5</			

IDA	GRD	EXP	OCF	AT1	AT2	AT3	AT4	NS1	NS2	NS3	NS4	NS5	NS6	NP1	NP2	NP3	CCP1	CCP2	CCP3	CCP4	IN1	IN2	IN3	CCE1	CCE2	CCE3	FMD1	FMD2	FMD3	FMD4	FMD5
4	4	5	3	7	7	7	7	5	5	6	7	7	7	7	7	7	6	7	5	5	7	7	7	7	7	7	3	6	2	2	2
3	5	2	2	7	7	7	7	5	4	5	6	5	6	6	6	6	6	6	7	5	7	6	6	6	6	6	5	4	3	2	4
2	4	3	2	7	7	7	6	3	3	7	7	3	7	7	7	7	5	7	7	1	7	5	5	7	6	4	2	6	1	5	1
2	5	2	1	7	7	7	7	5	4	6	7	7	7	7	7	7	4	4	2	3	7	6	5	7	6	5	2	2	2	2	4
5	5	5	4	7	6	7	7	4	5	5	7	4	6	7	7	7	5	6	4	3	7	6	6	6	6	5	4	4	4	4	4
4	5	5	4	7	7	7	5	6	5	5	5	6	7	6	6	7	3	3	1	1	7	2	5	6	2	2	2	4	7	4	6
3	5	4	2	7	7	7	7	4	5	6	7	5	7	7	7	6	5	6	5	6	7	7	7	7	7	6	6	6	5	6	5
5	1	5	3	7	7	7	7	6	5	6	7	7	7	7	7	7	5	6	3	4	7	7	7	6	5	5	7	6	6	6	6
3	4	4	2	7	7	7	7	6	6	6	6	6	7	6	3	7	7	7	7	5	5	7	7	7	6	6	5	2	5	4	4
4	5	4	3	7	7	7	7	6	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7	7	7	6	7	1	1	2	1	2
5	4	5	4	7	7	7	7	6	5	7	7	6	7	7	7	7	6	7	6	3	7	7	7	7	7	3	3	2	2	2	6
3	5	3	4	7	6	6	7	5	3	5	6	6	6	5	6	5	6	7	6	5	7	6	7	5	4	4	6	6	6	3	5
4	3	4	2	5	6	7	6	6	6	6	7	6	6	7	2	5	7	5	5	7	6	7	7	7	6	6	5	5	4	3	
4	3	5	1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7	7	7	7	7	1	1	1	1	1
3	5	4	1	7	7	7	7	5	6	7	7	7	7	7	7	7	5	7	6	6	7	5	7	6	6	6	4	1	1	1	2
4	3	5	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	3	2	2	1	1	
4	4	5	2	7	7	7	7	6	5	6	6	6	6	6	7	5	6	6	5	4	7	7	7	7	7	3	4	5	2	3	
3	4	4	2	7	7	7	7	5	5	6	7	4	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7	7	7	7	6	7	7	6	4	5
3	5	4	4	7	7	7	7	5	5	7	7	6	7	7	7	7	7	7	5	4	7	7	7	7	7	5	6	5	4	6	
4	5	5	3	7	6	7	6	5	2	4	6	6	7	2	7	7	5	6	3	3	7	7	7	7	7	2	4	4	1	1	
3	3	2	1	7	7	7	6	5	5	5	6	5	7	7	7	6	5	5	4	7	7	5	5	6	6	6	6	6	5	6	
2	4	3	4	7	7	7	7	5	5	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	7	7	7	5	5	7	5	6	6	6	
4	5	5	1	7	5	7	7	6	6	7	7	1	6	7	7	7	6	4	7	5	7	6	7	6	6	6	7	1	1	1	1
3	5	3	1	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	6	2	1	2	1	7	3	6	7	6	6	3	2	4	1	1
2	4	4	3	7	7	7	7	4	4	4	5	5	5	6	7	7	5	6	3	4	7	7	7	6	7	7	3	3	2	2	4
3	5	4	4	7	7	7	7	6	7	7	6	6	6	6	6	6	5	5	6	5	7	6	6	6	5	5	5	4	4	5	3
3	5	5	2	7	6	7	6	6	6	7	7	4	5	6	6	6	5	5	3	3	7	6	6	6	5	5	3	3	1	1	1
3	5	3	1	7	7	7	7	5	5	6	6	4	6	7	7	3	5	6	5	5	7	6	7	7	6	6	2	3	2	1	3
5	5	5	1	7	7	7	7	5	6	6	6	5	6	7	7	7	5	5	5	3	7	7	7	7	6	6	5	3	2	2	2
2	4	2	2	6	6	6	6	3	3	5	5	3	5	6	7	5	4	5	2	1	6	6	6	6	6	5	1	1	1	1	1
1	3	1	1	7	7	7	7	5	5	6	6	5	6	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6	5	5	5
4	5	3	1	7	6	7	6	6	7	7	6	6	6	7	7	6	5	6	7	1	7	5	6	7	7	6	1	1	1	1	1

APÊNDICE C Produção científica decorrente da tese

Qualis A1 na Engenharia II, Qualis B1 na área Engenharia III, Qualis B1 na Engenharia IV, Lopes, J.R., Ávila, S., Kalid, R., Rodríguez, J.L.M. Energy efficiency improvement in non-intensive energy enterprises: A framework proposal. **Energies**, v 11, n. 5, 2018.
<https://doi.org/10.3390/en11051271>

Qualis A1 na Engenharia I, Qualis A1 na Engenharia II, Qualis A2 na área Engenharia III, Lopes, J.R., Kalid, R., Rodríguez, J.L.M., Ávila, S., 2018. Ávila, S., Ávila, S. A new model for assessing industrial worker behavior regarding energy saving considering the theory of planned behavior, norm activation model and human reliability. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 268–278, 1 jun. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.042>

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: pei@ufba.br

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

