

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ENGENHARIA DE ENERGIA

**APLICAÇÃO DA ISO 50.001:2018 PARA COMPARAR DESEMPENHO
ENERGÉTICO ENTRE TRÊS LINHAS DE PRODUÇÃO DE NÃOTECIDO**

por

Bruna Trierveler Albella

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, outubro de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

APLICAÇÃO DA ISO 50.001:2018 PARA COMPARAR DESEMPENHO
ENERGÉTICO ENTRE TRÊS LINHAS DE PRODUÇÃO DE NÃOTECIDO

por

Bruna Trierveler Albella

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos

Banca examinadora:

Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos, DELAE / UFRGS

Prof. Dr. Sérgio L. Haffner – DELAE / UFRGS

Eng. Alexandre Ramos – Fitesa

Porto Alegre, 05, outubro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Alessandra e Arthur, que sempre me incentivaram e apoiaram, desde os estudos para o vestibular, até os momentos de ausência durante a elaboração deste trabalho. Mais do que isso, agradeço por nunca terem deixado de acreditar em mim e no meu potencial.

Agradeço ao meu irmão Lorenzo e meu namorado Gustavo, por estarem sempre do meu lado. Aos meus avós, Helga e Jaime, que nunca deixaram de perguntar: “Quando vai ser a formatura?”. Ao meu avô Jaime dedico essa conquista.

Agradeço a todos os colegas e amigos que me acompanharam nesses longos anos de formação direta ou indiretamente. Aos meus colegas de trabalho, que contribuíram de forma muito enriquecedora para a elaboração deste estudo, e também da minha formação como profissional. Por fim, agradeço ao Professor Flávio, por ter me orientado e acompanhado na elaboração deste estudo.

TRIERVELER ALBELLA, B. **Aplicação da ISO 50.001:2018 para Comparar Desempenho Energético entre três Linhas de Produção de Não-tecido**. 2022. 27. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

Temas como energia limpa e eficiência energética têm se tornado cada vez mais relevantes e urgentes. As mudanças climáticas e as altas taxas de emissão de gases de efeito estufa enfatizam a necessidade de reduzir a pegada de carbono atrelada a qualquer que seja o processo ou produto. Para guiar este processo existem diversas ferramentas, entre elas se destaca a ABNT NBR ISO 50.001:2018 que estabelece um Sistema de Gestão de Energia (SGE). Muito embora exista o apelo sustentável, a redução de custos é, provavelmente, o maior motivador para a implementação de um sistema de gestão de energia. Considerando o contexto acima mencionado, o presente trabalho, através da aplicação da metodologia proposta pela ISO 50.001:2018, analisou comparativamente o desempenho energético de três linhas de produção em uma indústria não-tecido. Para o comparativo realizado, foram criados indicadores de desempenho energético (IDE) para as etapas do processo produtivo, considerando usos significativos da energia (USE). Através da análise dos dados de medição de consumo energético combinados com os dados de controle de processo, foi possível comparar o desempenho energético das linhas de produção quando produzindo uma mesma tecnologia de produto. O objetivo, ao analisar os indicadores por tecnologia de produto é, principalmente, encontrar oportunidades de redução de custo de três formas: identificando ineficiências; definindo a priorização entre as linhas para produzir cada tecnologia de produto; reestruturando a precificação do produto que hoje enxerga a energia através de um custo médio. Ao fim do estudo, foi possível identificar ganhos em duas das três vertentes analisadas, com destaque mais significativo para a análise de precificação, visto que possui alta aplicabilidade e rápida implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética Industrial; Indicadores de Desempenho Energético; ISO 50.001:2018;

TRIERVELER ALBELLA, B. **Application of ISO 50.001 for Comparing Energy Performance between Three Nonwoven Production Lines.** 2022. 27. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

Topics such as Green Energy and Energy Efficiency have become increasingly important and urgent, the climate changes and the high greenhouse gas emission rates have been emphasizing the necessity to reduce the carbon footprint related to any process or product. There are a lot of different tools that can help on this process, between them there is a highlight for ABNT NBR ISO 50.001:2018 which establishes an Energy Management System (EMS). Even though there is the sustainable appeal, the cost reduction is probably the greatest motivator for an EMS implementation. Considering the above-mentioned context, the present paper, by the ISO 50.001:2018 methodology adoption, analyzed and compared the energy performance of three nonwoven production lines. For this propose, it was created energy performance indicators (EPI) for the significant-energy-uses (SEU) production steps. Through the available monitoring data for energy consumption and process analysis, it was possible to compare the energy performance of the production lines when producing the same product technology. The goal of analyzing the KPI by product technology is mostly find cost reduction opportunities by three different ways: finding process inefficiencies; prioritizing each production line is more efficient for each product technology; improve product pricing process, once today the energy cost is considered an average cost. By the end of the study, it was possible to identify gains in two of the three possible analyses, putting emphasis on the pricing process, once there is high applicability and fast implementation.

KEYWORDS: Industrial Energy Efficiency; Energy Performance Indicators; ISO 50.001:2018.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	Eficiência Energética.....	3
2.2	ABNT NBR ISO 50.001:2018 - Sistemas de Gestão de Energia.....	4
2.3	Processo produtivo do Nãotecido.....	6
3	METODOLOGIA	9
3.1	Definição do Problema.....	9
3.2	Modelagem.....	10
3.3	Delimitação das Informações e Base de Dados.....	11
3.4	Unidades de Medida dos IDE.....	11
3.5	Método de Análise.....	12
4	REVISÃO ENERGÉTICA COMPARATIVA PARA 3 LINHAS DE NÃOTECIDO	12
4.1	Análise do Uso e Consumo de Energia	12
4.2	Identificação dos USE e Variáveis Relevantes.....	13
4.3	Definição dos IDE.....	15
4.4	Análise Estatística da Base de Dados.....	16
4.5	Análise Comparativa dos IDE entre Linhas de Produção	18
4.6	Análise Comparativa dos IDE por Tecnologia.....	22
5	CONCLUSÃO	24

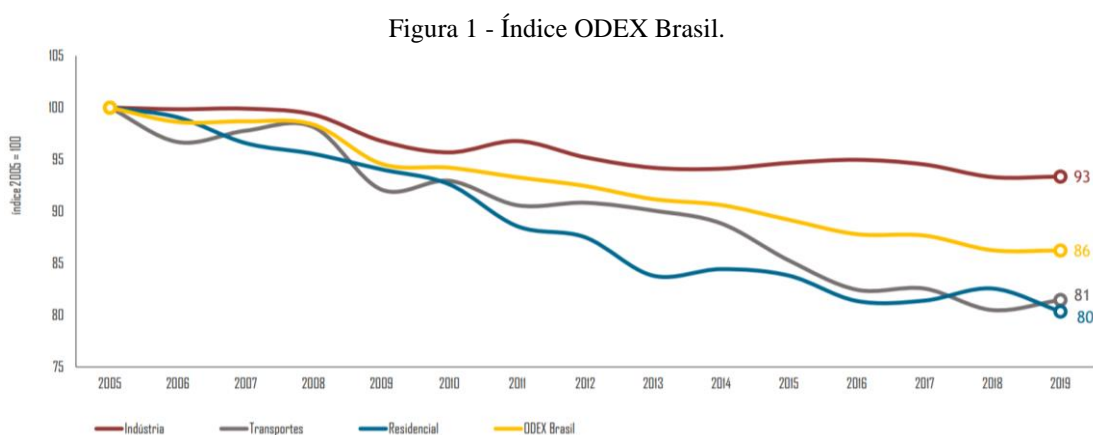
1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as indústrias tornaram-se importantes agentes no processo de desenvolvimento sustentável, os esforços do Estado as motivaram a agir, principalmente, através de suas políticas energéticas e as estratégias de controle dos impactos ambientais em suas operações. Os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (ODS) transcrevem de forma clara a necessidade de envolver as indústrias, bem como focar na eficiência. Adotados em 2015, os ODS são um conjunto de 17 objetivos desdobrados em 169 metas, onde neste trabalho destaca-se 3 delas (ONU, 2022):

- Meta 7.3: Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética;
- Meta 9.4: Até 2030, reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados;
- Meta 12.6: Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.

Como consequência deste e outros programas, nota-se mais comum a inclusão da variável ambiental nas organizações de forma estratégica, seja por pressão de acordos globais e/ou regulamentações, ou por representar oportunidades de redução de custo. Em países desenvolvidos, como Estados Unidos e membros da União Europeia, as indústrias encontram apoio governamental através de, entre outros, incentivos fiscais para a realização de auditorias energéticas (ALTOÉ et al., 2017). É preciso destacar que, além dos incentivos financeiros, toda vez que uma empresa revisita sua forma de produzir, buscando melhorias de eficiência energética, ela atinge um ganho de competitividade e, redução de custo (FLEITER; SCHLEICH; RAVIVANPONG, 2012).

A transição energética e o foco na eficiência são observados na evolução do indicador ODEX. Criado em 1990 na Comunidade Europeia, o ODEX é o índice que avalia a evolução da eficiência energética sobre um ano base. Enquanto na Europa o índice representou um ganho de eficiência total de 10% entre 2005 e 2016 (EEA, 2019), no Brasil, para o mesmo período, o ganho foi de 12%, indicando uma evolução alinhada. O que não se assemelha é a participação do segmento industrial nesta evolução. Na Europa este é o segmento que mais evoluiu, com ganho de 11%, já no Brasil observa-se o oposto, aqui a indústria apresentou 7% de ganho, o menor entre todos os segmentos, como pode ser observado na Figura 1.



Fonte: Atlas da Eficiência Energética Brasil (EPE, 2020)

A pequena contribuição da indústria no incremento da eficiência se torna ainda mais alarmante quando relacionada à expressividade do segmento no consumo total de energia do país. Atualmente o setor industrial corresponde a 37,4% do consumo de energia elétrica do Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional - ano base 2021 (EPE, 2022). Nas indústrias em geral, o consumo de energia elétrica representa

um dos maiores custos do processo produtivo, podendo chegar até 40% dos custos totais dependendo do ramo em questão (FIRJAN, 2017).

É notória a existência de um grande potencial a ser explorado, embora não seja um desenvolvimento muito trivial. Uma das ferramentas existentes para auxiliar neste processo é a ISO 50.001, que estabelece um Sistema de Gestão de Energia (SGE). O objetivo dessa norma é permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, o uso e o consumo de energia. (BARROS, BORELLI e GREDA, 2015). Leite (2014) realizou um diagnóstico energético para um terminal portuário embasando-se na ISO 50.001. O diagnóstico energético realizado possibilitou, além da identificação dos usos e consumos de energia, a realização dos cálculos de emissões diretas e indiretas de GEE, através da ferramenta disponibilizada pelo Programa *GHG Protocol*. A contabilização de emissões permitiu identificar que as empilhadeiras movidas a diesel são as maiores responsáveis pelas emissões de CO₂ no terminal portuário, seguidas pela energia elétrica (emissão de CO₂ de Escopo 2) e pelas empilhadeiras a GLP.

Já El Majaty, Touzani e Kasseh (2022) utilizaram a metodologia da ISO 50.001 para realizar uma auditoria energética em um prédio administrativo no Marrocos. Através da linha de base energética, obteve-se uma correlação entre temperatura ambiente e consumo de energia elétrica. Foi possível identificar os sistemas de climatização para aquecimento e resfriamento como os maiores usos significativos de energia, seguidos pela iluminação interna. Com base na estruturação do sistema de gestão de energia, construiu-se um plano de ação contendo cinco projetos, que ao longo de três anos, representam uma economia de 20% do consumo de energia elétrica.

Pelser, Vosloo e Mathews (2018) desenvolveram um relatório para monitoramento da performance energética em uma indústria de cimento na África do Sul. A implementação do sistema de gestão de energia seguiu a ISO 50.001 e baseou-se na aquisição de dados nos sistemas de medição de consumo elétrico, e controle de produção. Com isso, pôde-se criar indicadores setorizando a produção de cimento e relacionado com a quantidade em toneladas produzida, isso possibilitou que fossem analisados indicadores unitários de eficiência. Mais do que indicar 25% de redução no consumo de energia elétrica, após um período de 14 meses, o estudo ressalta o uso de um sistema de monitoramento de dados como fundamental neste processo.

Marimon e Casadesús (2017) abordam de forma ampla os benefícios e dificuldades da implementação da ISO 50.001 através de um estudo estatístico. Com aplicação de questionários à 87 empresas certificadas pela ISO 50.001, foram obtidas informações relacionadas à motivação, benefícios, processo de implementação e resultados da implementação da ISO 50.001. Como principais dificuldades no processo de implementação foram apontadas as questões operacionais como: necessidade de ferramentas de medição contínua, complexidade dos dados e questões organizacionais como: falta de comprometimento das lideranças e mudança na cultura da empresa. Ainda com as dificuldades apresentadas, os benefícios se destacam, divididos entre benefícios ecológicos: economia de energia e redução dos impactos ambientais; e benefícios produtivos: melhoria na produtividade, performance e até segurança.

A redução de custos é provavelmente o maior argumento para que organizações implementem um sistema de gestão de energia, com ele a organização pode melhorar sua performance energética através de uma abordagem sistemática respeitando restrições legais e técnicas (FIEDLER E MIRCEA, 2012). A análise da performance energética pode trazer redução de custo de algumas formas diferentes, seja auxiliando na priorização das ineficiências a serem tratadas, identificando o menor consumo energético para entrega de um mesmo produto, ou até mesmo na precificação do produto final. O que todas estas oportunidades têm em comum é a necessidade de informações detalhadas e segmentadas de consumo e produção, nem sempre disponíveis nas empresas. A dificuldade aumenta quando se trata de processos

contínuos, em que os intervalos das campanhas produtivas não são bem definidos, questionando a real aplicabilidade desta metodologia.

Diante do contexto apresentado, o objetivo deste estudo é realizar uma análise quali-quantitativa em uma indústria produtora de nãotecido através da metodologia proposta pela ISO 50.001. Utilizou-se levantamento de dados e criação dos indicadores de desempenho energético, para estabelecer comparativos de eficiência dos equipamentos e processos atrelados àquela aplicação específica. O objetivo final do estudo é verificar aplicabilidade da ISO 50.001 em processos contínuos quando deseja-se:

- Identificar ineficiências no processo;
- Definir qual linha de produção representa o menor custo energético para um mesmo produto;
- Implementar uma metodologia de custeio por categoria de produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir apresenta-se alguns conceitos, definições e normas necessários a contextualização e entendimento do assunto tratado neste trabalho.

2.1 Eficiência Energética

Em muitos casos, eficiência energética é confundida com redução do consumo de energia em uma determinada área, fábrica ou equipamento, o que por si só não indica um real estado de eficiência. Pode parecer contraditório, uma vez que o objetivo final é reduzir o consumo de energia, porém, o “conceito de eficiência energética está associado a fazer mais (ou, pelo menos, a mesma coisa) com menos, mantendo o conforto e a qualidade. Em outras palavras, consumir menos e produzir mais, ou seja, a eficiência precisa relacionar consumo com produção” (EPE, 2022).

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), a utilização racional de energia pode ser simplesmente chamada de eficiência energética e consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. A ISO 50.001:2018 define Eficiência Energética como:

Razão ou outra relação quantitativa entre uma saída de desempenho (resultado mensurável), serviços, produtos, commodities ou energia e uma entrada de energia. Como por exemplo a Eficiência de conversão, relação entre a energia requerida/energia consumida. (ISO 50.001:2018, p17)

Uma vez alinhado o conceito físico de eficiência energética, pode-se abordar pelo viés comportamental. O uso racional da energia elétrica também pode ser tratado como uma definição de eficiência energética. A utilização da menor quantidade de energia possível, tanto técnica quanto economicamente, para a obtenção de produtos e serviços pode ser viabilizada através da eliminação de desperdícios e uso de equipamentos mais eficientes. Esta abordagem é introduzida por Patterson (1996) ao mencionar os indicadores físico-termodinâmicos.

Os indicadores físico-termodinâmicos são índices de eficiência híbridos que medem a saída em unidades físicas, em vez de termodinâmicas. Essas unidades físicas são especificamente projetadas para refletir o serviço de uso final que os consumidores exigem, e assim, podem ser facilmente comparadas ao longo do tempo, por exemplo, energia/m² para construções ou energia/kJ para sistemas de aquecimento à uma temperatura específica (PATTERSON, 1996).

Devido à relativa heterogeneidade do setor industrial, em termos de variedade de produto, qualquer tentativa de conceber uma medida de produção física agregada não será efetiva. São sugeridos então, indicadores por unidade de massa ou então unidade de produto acabado. Em outras palavras, estes conceitos

permitem também definir eficiência energética como a utilização de energia de forma a obter o máximo benefício com o menor consumo, evitando os desperdícios ou o uso inadequado, sem diminuir a qualidade de vida ou produtividade.

2.2 ABNT NBR ISO 50.001:2018 - Sistemas de Gestão de Energia

A ISO 50.001 Sistemas de Gestão de Energia é uma norma, criada pela *International Organization for Standardization* (ISO), que define os requisitos de um Sistema de Gestão de Energia. A norma especifica os requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um Sistema de Gestão de Energia, com o objetivo de permitir que uma organização siga uma abordagem sistemática para alcançar a melhoria contínua do desempenho energético, incluindo eficiência energética, segurança energética, uso de energia e consumo. (MARIMON, CASADÉUS, 2017).

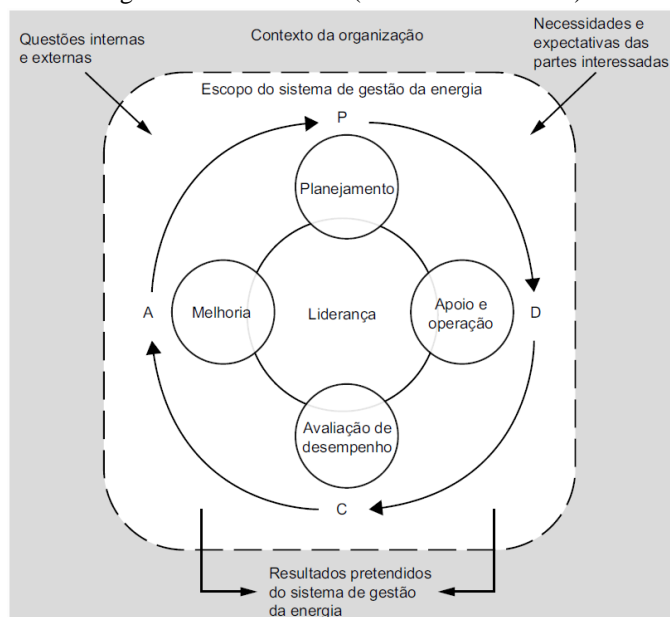
Barros, Borelli e Greda (2015) apresentam os benefícios provenientes da implementação da ISO 50.001 e afirmam que não deve ser encarada como dispêndio de tempo e recursos financeiros, pois a Norma fornece subsídios para que as organizações adotem medidas, independentemente de ações governamentais, que revertam em benefícios para a própria empresa e para a sociedade.

Destacam ainda alguns dos objetivos que podem ser atribuídos para sua implementação:

- auxiliar as empresas na melhoria de utilização dos seus recursos de consumo de energia;
- auxiliar na avaliação e priorização de forma a possibilitar a implementação de novas tecnologias eficientes de energia;
- fornecer uma estrutura que promova eficiência energética através da cadeia de fornecedores;
- permitir à empresa obter diferencial quando comparada aos seus concorrentes, através da demonstração de seu compromisso com a limitação de impactos ambientais.

A estrutura da ISO 50.001 é projetada de acordo com outras normas de sistema de gestão, em especial a ISO 9.001 (Sistemas de Gestão da Qualidade) e a ISO 14.001 (Sistemas de Gestão Ambiental). Todos os três sistemas de gestão são baseados na estrutura de melhoria contínua do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), apresentado na Figura 2:

Figura 2 - Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act).

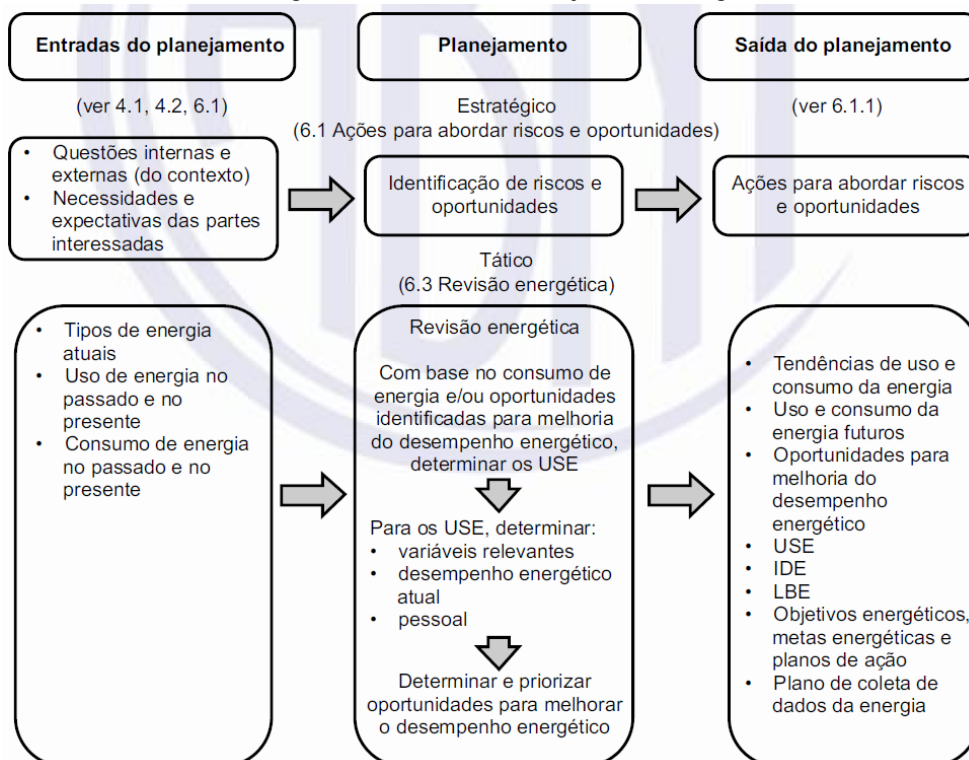


Fonte: ABNT ISO NBR 50.001:2018

- **Planejar (Plan):** Estabelecer objetivos, metas e planos de ação necessários visando alcançar resultados em conformidade com as oportunidades de melhoria de desempenho energético e com a política energética da organização. Na fase de planejamento, cabe estabelecer ainda os indicadores de desempenho energético.
- **Fazer (Do):** Implementar os planos de ação da gestão da energia.
- **Verificar (Check):** Monitorar e medir as características principais dos processos da organização, visando determinar o desempenho energético em relação à política e aos objetivos energéticos, divulgando os resultados obtidos.
- **Agir (Act):** Contempla a tomada de decisões e ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o Sistema de Gestão de Energia.

A fim de direcionar o conteúdo proposto pela norma com o estudo que foi desenvolvido neste trabalho, o detalhamento será limitado à etapa de planejamento do ciclo PDCA, o qual pode ser observado no diagrama conceitual apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Processo de Planejamento Energético.



Fonte: ABNT ISO NBR 50.001:2018

O diagrama da Figura 3 explicita quais devem ser as entradas para o planejamento, a sua metodologia de elaboração, e por fim quais devem ser as saídas. Alguns termos e siglas presentes no diagrama ainda não foram mencionados neste trabalho, e por isso são apresentados abaixo:

- **Desempenho Energético:** resultado mensurável relacionado à eficiência energética, ao uso da energia e ao consumo da energia;

- **Indicador de Desempenho Energético (IDE):** medida ou unidade de desempenho energético, conforme estabelecido pela organização. Podem ser expressos como uma métrica simples, razão ou um modelo, dependendo das naturezas das atividades sendo medidas;
- **Linha de Base Energética (LBE):** referência quantitativa que fornece uma base para comparação do desempenho energético. Uma linha de base energética se baseia em dados de um período de tempo e/ou condições. Uma ou mais linhas de base energética são utilizadas para a determinação da melhoria do desempenho energético.
- **Uso Significativo da Energia (USE):** uso da energia responsável por substancial consumo da energia e/ou que ofereça potencial considerável para melhoria do desempenho energético. Os USE podem ser instalações, sistemas, processos ou equipamentos.
- **Variáveis Relevantes:** fator quantificável que impacta de forma significativa o desempenho energético e se altera rotineiramente.

Uma vez definidos os termos necessários para a compreensão do processo de planejamento apresentado no diagrama conceitual, é possível seguir com o detalhamento.

O planejamento é dividido entre estratégico e tático. No planejamento estratégico são abordados os riscos e oportunidades definidos pelas pessoas de alto nível de tomada de decisão, o qual não é objeto de interesse neste estudo. Já o planejamento tático, pode ser chamado de Revisão Energética. A Revisão Energética é a etapa na qual ocorre uma análise da eficiência energética, do uso e consumo da energia, com base em dados históricos e mapeamento do processo produtivo. A ISO 50.001:2018 aponta que:

O processo de identificação do tipo de energia e a avaliação do uso e consumo da energia levam a organização a estabelecer áreas de uso significativo da energia e identificar oportunidades de melhoria do desempenho energético. Na determinação de seus USE, a organização determina o critério para o que é um consumo substancial da energia e/ou o que é um potencial considerável para melhoria do desempenho energético. Os USE podem ser estabelecidos dependendo das necessidades da organização, como por instalação (por exemplo, armazém, fábrica, escritório), por processo ou sistema (por exemplo, iluminação, vapor, transporte, eletrólise, sistema motriz) ou equipamento (por exemplo, motor, caldeira). (ISO 50.001:2018, p25).

A entrada para a Revisão Energética é a coleta de dados energéticos. Os dados são fundamentais no monitoramento do desempenho energético. Planejar quais dados coletar, como coletá-los e com que frequência os coletar ajuda a assegurar a disponibilidade dos dados necessários para manter a revisão de energia utilizada e os processos de monitoramento, medição, análise e avaliação. Os dados podem variar desde uma contagem numérica simples até sistemas completos de monitoramento e medição conectados a um aplicativo (software) capaz de consolidar dados e fornecer análises automáticas.

2.3 Processo produtivo do Não tecido

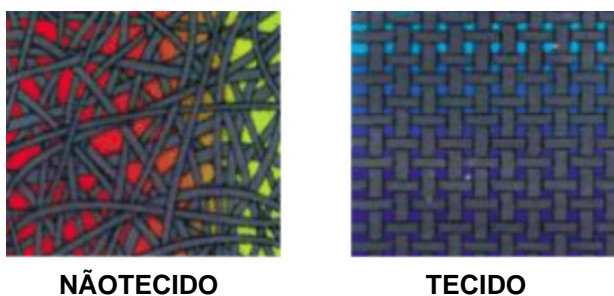
Conforme a norma NBR-13370, não tecido é “uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direccionalmente ou acaso, consolidados por processo mecânico, químico, ou térmico sendo possível combinações destes”. O não tecido também é conhecido como tecido não tecido (TNT) e é majoritariamente produzido através do processo de extrusão de polipropileno (PP). Suas aplicações podem ser divididas entre:

- descartáveis higiênicos: fraldas descartáveis, absorventes, lenços umedecidos;
- duráveis: agricultura (proteção contra pragas e radiação), colchões e sofás (estofado interno e proteção para molas), filtros, calçados (forros internos), entre outros;

- descartáveis médicos: máscaras, vestimenta cirúrgica, toucas, entre outros.

Para melhor entendimento do que é um não-tecido, é importante saber o que é tecnicamente um tecido. Conforme a ABNT/TB-392, tecido é “uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outro conjunto de fios de trama, formando ângulo de (ou próximo a) 90°”. Na Figura 4 estão apresentadas imagens ilustrativas de um tecido e um não-tecido demonstrando a grande diferença na maneira como as fibras ficam tramadas:

Figura 4 - Não-tecido x Tecido.

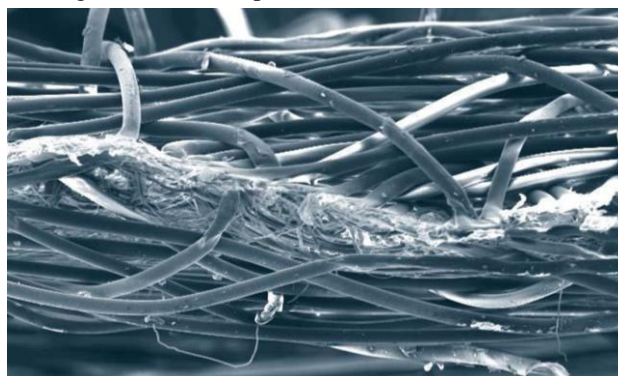


Fonte: ABINT, 2021.

Uma vez entendido o que é o não-tecido, pode-se introduzir os aspectos de seu processo produtivo, de forma geral. A produção de não-tecido é um processo contínuo no qual o polipropileno é recebido em formato de *pellets*, os quais são armazenados em silos e então direcionados às linhas de produção. Após passar pelas bombas dosadoras, o polímero é derretido por extrusoras e então direcionado à uma matriz de fiação, onde o filamento será formado e em seguida estirado. Normalmente o material é formado por uma sobreposição de camadas, ou seja, a máquina possui uma sequência de “conjuntos” denominados cabeças de extrusão, podendo variar de 1 até 8 cabeças a depender da configuração da linha de produção. Após a composição das camadas, é necessário então que o material seja consolidado através de uma calandra, e então bobinado.

As linhas de produção alvo deste estudo possuem duas diferentes tecnologias de extrusão, *Spunbonded* e *Meltblown*. O filamento do *Spunbonded* passa por um processo de estiramento, resultando em comprimento contínuo, diâmetro bem definido, e um material mais resistente. Já o *Meltblown* tem sua formação do filamento através do processo de sopro, resultando em filamentos bem mais finos e um material com alta cobertura e filtração. Esta diferença será importante para definir os consumos energéticos das diferentes tecnologias e pode ser observada na Figura 5.

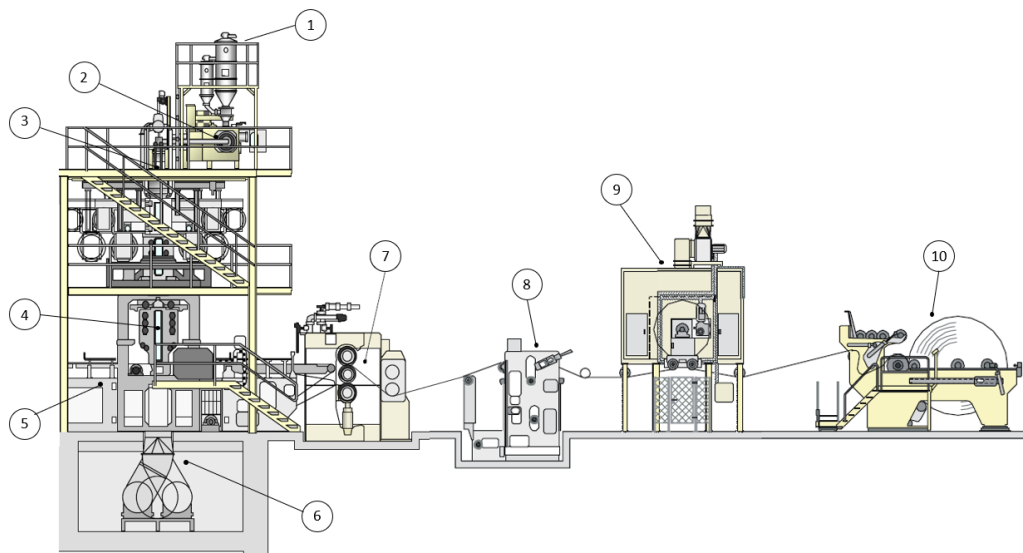
Figura 5 - Foto ampliada de um não-tecido SMS.



Fonte: Treinamento Interno.

A Figura 6 apresenta o processo de forma mais detalhada, a qual guiará a explicação da funcionalidade de cada equipamento:

Figura 6 - Composição de uma linha de produção de nãotecido.



Fonte: Manual de Operação Interno.

- 1. Unidade Dosadora:** toda matéria-prima, e/ou aditivos utilizados são colocados no armazenamento intermediário a partir de silos, sendo alimentados nas extrusoras como misturas homogêneas.
- 2. Extrusora Parafuso:** tem como função puxar uniformemente a resina granulada, fundir o polímero e deixá-lo na temperatura adequada, para assim homogeneizar o material fundido e produzir a pressão necessária ao processo de extrusão.
- 3. Matriz de Extrusão:** na matriz aquecida eletricamente, o material fundido que entra é distribuído uniformemente na largura de produção do canal de circulação. Na abertura de saída da matriz, é montado o conjunto da fieira para formar os filamentos.
- 4. Ar de Estiramento:** o ar é automaticamente controlado, aspirado do lado de fora, filtrado e levado à temperatura desejada. Na parte inferior da cabine de resfriamento, o ar de estiramento é guiado para os filamentos de ambos os lados. Por causa da geometria do canal, é criada uma contrapressão na cabine de resfriamento. Os filamentos são depois acelerados na área de estiramento e estirados até suas dimensões definitivas. Esta etapa do processo só está presente na tecnologia de extrusão denominada *Spunbonded*.
- 4. Ar de Aspersão:** Diferente do *Spunbonded*, na tecnologia *Meltblown* o filamento não é estirado com ar frio, e sim, soprado com ar quente. Neste caso o polímero é conduzido por um fluxo intenso de ar quente através de duas lâminas, chamadas facas de ar, que por sua vez provocam a aspersão do polímero fundido na forma de *spray*.
- 5. Esteira:** feita de malha de arame permeável ao ar, serve para descarregar, pré-solidificar e transportar os filamentos. Ela é tensionada pneumáticamente e a sua velocidade tem como função variar a gramatura do material a ser formado.
- 6. Caixa de Sucção:** A caixa de sucção tem a função de succionar o ar de processo, originado da unidade de estiramento. O ar que sai do processo é aspirado através da esteira e, em parte, é alimentado novamente no processo.

7. **Calandra:** é composta por dois cilindros, sendo um liso e o outro gravado, aquecidos por óleo térmico que circula em seus interiores. Entre os cilindros, os filamentos aleatórios são termoligados e prensados através da fusão dos filamentos nos pontos de estampar e soldar. Isto é o que confere ao nãotecido suas propriedades definitivas.
8. **Umificador:** é usado para espalhar contínua e uniformemente sobre a superfície da manta de nãotecido uma emulsão de água e óleo tensoativo. O material é guiado até o cilindro de aplicação no umificador, este cilindro encosta num banho e coleta o fluido emulsionado e o espalha sobre a superfície da manta. A principal funcionalidade deste processo é alterar uma propriedade intrínseca do polipropileno, faz com que deixe de ser fóbico, e repelir a água, e passe a ser fílico, atraindo a água.
9. **Tambor Secador:** sua função é retirar a água da manta de nãotecido, aplicada no processo anterior, deixando apenas o óleo tensoativo recobrando seus filamentos. Ele funciona com controle preciso de temperatura e de circulação de ar no seu interior para garantir a completa secagem da manta de nãotecido.
10. **Bobinador:** a manta de nãotecido já com acabamento e seca é guiada para o bobinador e enrolada sobre eixos de enrolamento, formando o que se chama de rolo jumbo, atingindo em média 7 toneladas e 130km de metragem linear de nãotecido. O rolo jumbo é automaticamente removido, para que o novo eixo possa ser enrolado sem que sejam necessárias paradas.

Após as etapas acima mencionadas, o rolo jumbo é direcionado a máquina de corte na qual essa grande bobina de nãotecido será recortada em pequenas bobinas de diâmetro e largura menores, sob um tubete de papelão e então seguirá para o processo de embalagem, no qual as bobinas serão empilhadas em pequenos pacotes e então, normalmente, envoltas por plástico filme. Os processos de recorte e embalagem não serão detalhados pois não são foco deste estudo.

3 METODOLOGIA

Este estudo seguiu a metodologia proposta pela ISO 50.001:2018 para a elaboração de uma revisão energética em uma indústria produtora de nãotecido. O objetivo foi obter os indicadores de desempenho energético individualizados por linha de produção e segmentados pelos principais consumidores. Assim, além de entender o perfil de consumo de cada linha de produção, foi possível: mapear os principais pontos de ineficiência; identificar as linhas de produção que representam o menor custo energético; e verificar a variação do custo energético entre diferentes produtos.

3.1 Definição do Problema

O processo produtivo do nãotecido ocorre de forma contínua, mesmo quando há a necessidade de efetuar as trocas das receitas de produto, o processo se ajusta e segue de forma contínua. Este modelo produtivo torna a análise da eficiência de processo um tanto quando complexa, uma vez que as delimitações de intervalos são difíceis de serem definidas. A principal consequência deste contexto é a utilização de um indicador genérico de eficiência contemplando o consumo total de energéticos e os volumes totais de produção, desconsiderando as particularidades de cada tecnologia empregada. Isso afeta significativamente a identificação dos pontos de maior ineficiência, e por consequência a priorização de melhorias.

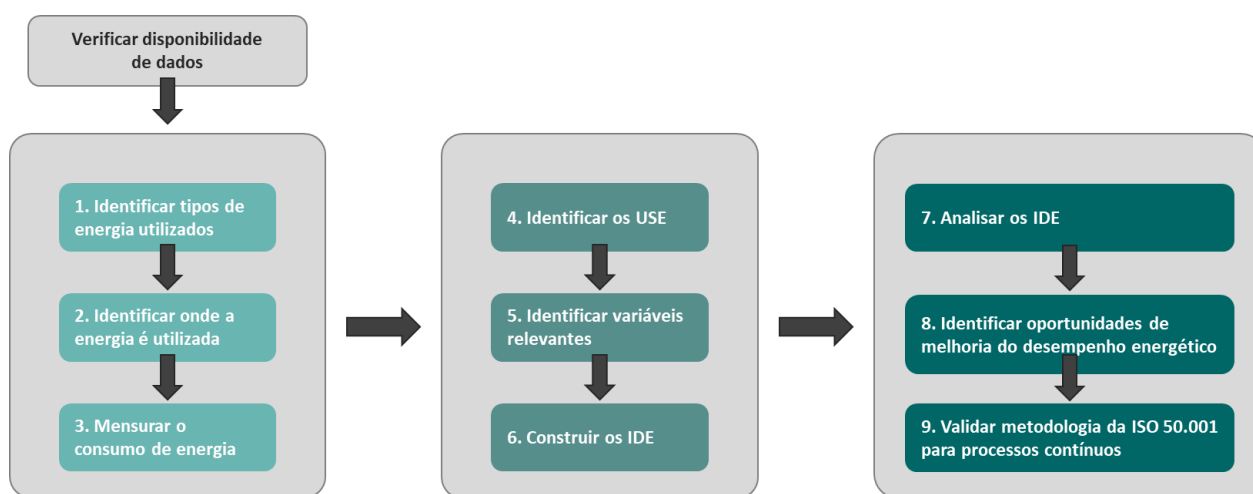
O impacto destas simplificações é ainda maior se for considerado que este indicador generalista de eficiência é levado em conta na programação de produção, definindo que linha de produção atenderá cada tecnologia de produto. Além disso, também é utilizado na composição de custo do produto final. Dessa

forma, embora existam tecnologias variadas que utilizem combinações de equipamentos variados, a precificação é homogênea.

3.2 Modelagem

A fim de avaliar de forma objetiva o desempenho energético das linhas de produção, o problema será modelado com base na metodologia de revisão energética proposta pela ISO 50.001:2018. O diagrama esquemático apresentado na Figura 7 demonstra de forma compacta, todas as etapas que foram desenvolvidas.

Figura 7 – Diagrama Esquemático da Metodologia Utilizada.



Fonte: Autora.

A modelagem completa pode ser estruturada em 9 etapas sequenciais, agrupadas em 3 grandes blocos. Na etapa 1 é delimitado o universo de análise, onde são definidos os insumos energéticos utilizados na linha de produção; a etapa 2 mapeia onde a energia é utilizada, ou seja, quais são os grupos de equipamentos por estágio da linha de produção que a usam; a etapa 3 dimensiona os consumos segmentados conforme a disponibilidade de informações. Para as 3 etapas acima mencionadas, é fundamental delimitar qual base de dados estará disponível para análise.

Uma vez definidas as premissas necessárias, bem como a base de dados a ser utilizada, é possível seguir para a etapa 4. A identificação dos usos significativos de energia (USE) é fundamental para que se realize o diagnóstico de onde estão os focos de atuação na busca pela melhoria na eficiência energética. Após identificar os USE, na etapa 5 serão analisados quais os fatores relevantes que influenciam no consumo de energia de cada um, afinal, nem todos os aumentos ou reduções de consumo de energia necessariamente representam uma oscilação na eficiência do processo. Conhecendo os USE, e os principais fatores que o influenciam, é possível iniciar a etapa 6, e construir os indicadores de desempenho energético.

De posse dos Indicadores de Desempenho Energético (IDE), inicia-se a etapa 7, com o objetivo de analisá-los, encontrar correlações entre os indicadores da mesma linha de produção e também comparar os indicadores entre as diferentes linhas de produção. Após a análise, na etapa 8 é possível utilizar as variações identificadas nos IDE como guia para um levantamento de oportunidades de melhorias, assim, as linhas de produção com os melhores indicadores servem como referência para as demais. Por fim, na etapa 9, é estudada a aplicabilidade da ISO 50.001 para avaliar a eficiência energética do processo produtivo de não-tecido contínuo.

3.3 Delimitação das Informações e Base de Dados

A indústria na qual este estudo foi realizado optou por não se identificar nem divulgar seus dados confidenciais que possam afetar sua competitividade. Desta forma, os dados serão protegidos por um fator multiplicativo, isso será detalhado ao longo desta sessão. O estudo restringiu-se a um conjunto limitado de linhas de produção que são capazes de entregar o mesmo produto final, possibilitando assim uma comparação justa e coerente entre os indicadores que foram utilizados. A indústria compartilhou seus diagramas elétricos da instalação, e permitiu que fossem feitas visitas em campo. Além disso, foi disponibilizado o banco de dados de dois sistemas de controle:

- Sistema de monitoramento de energia: esse sistema foi implementado internamente para que se acompanhe o consumo de energia elétrica e gás natural em diversos pontos da instalação industrial, o qual permite coleta dados online e gera um banco de dados com intervalo de 15 minutos entre as coletas.
- Sistema de controle de processo: esse sistema é utilizado para acompanhar os parâmetros produtivos e gera pontos de dados instantâneos com valores referentes à diversos aspectos técnicos. Serão utilizados: tecnologia do produto e vazão instantânea de matéria-prima.

Os dados provenientes de ambos os sistemas terão sua confidencialidade garantida ao serem multiplicados por fatores não informados, um fator para os dados de consumo absoluto e outro para os indicadores de eficiência. Esta forma de proteger as informações não afetará a avaliação do estudo, uma vez que não se tem interesse nos valores absolutos de consumo, e sim na relação percentual comparativa entre eles. Para ambos os sistemas, o banco de dados disponibilizado foi para um período de 6 meses (de janeiro a junho) de ano não identificado. O intervalo de coleta de todos os dados é de 15 minutos.

3.4 Unidades de Medida dos IDE

Os indicadores utilizados neste estudo se baseiam em duas grandezas principais, produção e consumo energético, para cada uma delas, algumas premissas foram assumidas e são apresentadas a seguir:

- Métrica de Produção: embora os produtos finais comercializado pela indústria sejam bobinas, o processo de individualizá-las não ocorre de forma contínua e representa um percentual quase insignificante de consumo energético. A métrica principal do processo contínuo de produção até a formação do rolo jumbo, está relacionada com a vazão de matéria-prima, ou seja, as toneladas processadas de material.
- Métrica de Consumo Energético: para o consumo de energia elétrica não são necessárias modificações, uma vez que o dado bruto já é obtido em [kWh]; já os dados de consumo de gás natural são monitorados através de seu volume, em [m³]. A fim de compatibilizar os consumos energéticos, os dados provenientes do consumo de gás natural serão trabalhados para que a análise seja realizada na mesma base energética. A Equação 1 identifica o processo de conversão realizado, na qual o poder calorífico do gás natural indicado foi retirado da fatura de gás natural fornecida pela indústria, considerando as propriedades da distribuidora em questão.

$$1 \text{ m}^3 = 9.400 \text{ kcal} = 10,925 \text{ kWh} \quad (1)$$

Assim, com a finalidade de obter números com uma amplitude que simplifique a manipulação, todos os indicadores de desempenho energético serão apresentados conforme a Equação 2

$$IDE = \frac{E}{M} \left[\frac{kWh}{kg} \right] \quad (2)$$

na qual E em [kWh] é a medida para os consumos de energia elétrica (EE) e gás natural (GN), e M em [kg] é representa a quantidade de produto.

3.5 Método de Análise

Todas as análises foram realizadas através da ferramenta Microsoft Excel. Considerando a grande quantidade de dados disponibilizados para a construção dos indicadores, a análise foi majoritariamente estatística e comparativa a fim de identificar comportamentos ao longo do tempo. Também foram feitas análises através de métodos gráficos para verificar a validade das correlações propostas. Conforme mencionado na sessão 3.4, toda análise se deu em duas bases unitárias, consumos em [kWh] e volumes produzidos em [kg].

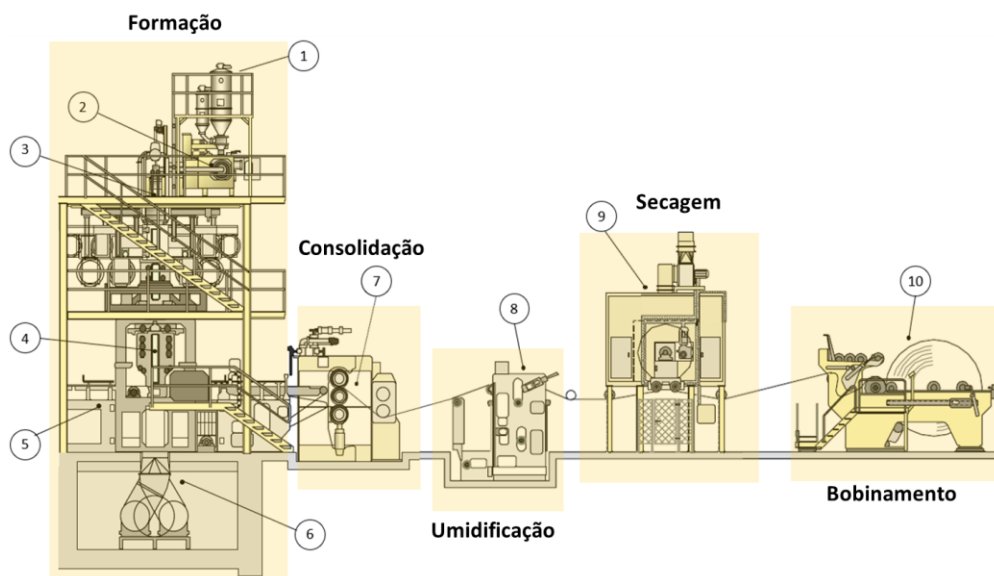
Além do tratamento dos dados obtidos, foram realizadas inspeções e verificações em campo, inicialmente para compreender e mapear os conjuntos de equipamento, e ao final, uma visita em buscas das diferenças que justifiquem as variações na eficiência identificadas.

4 REVISÃO ENERGÉTICA COMPARATIVA PARA 3 LINHAS DE NÃOTECIDO

4.1 Análise do Uso e Consumo de Energia

Dado que o processo produtivo segue o mesmo fluxo para as três linhas de produção, esta sessão é desenvolvida de forma unificada. A etapa inicial da revisão energética passa por identificar os tipos de insumos energéticos utilizados no processo. Foi possível observar que há, exclusivamente, utilização de gás natural e de energia elétrica. A Figura 8 foi utilizada para dividir a linha de produção em subprocessos/equipamentos.

Figura 8 – Processo produtivo segmentado por subprocessos



Fonte: Adaptada de Manual de Operação Interno

Optou-se por considerar 5 subprocessos, pois é possível identificar a contribuição individual de cada um deles no processo produtivo. Iniciando pela formação, ela compreende todos os equipamentos desde a chegada da matéria-prima até a formação da manta de nãotecido. A formação se dá pela combinação de conjuntos denominados cabeças de extrusão, que podem ser da tecnologia *Spunbonded* (S) ou *Meltblown* (M) interligados por uma esteira que possibilita a sobreposição das camadas. A consolidação, composta

apenas pela calandra confere resistência ao material em função da temperatura e gravação de seus rolos. O subprocesso de umidificação é composto por um rolo aplicador e uma bandeja na qual a solução fica armazenada para umedecer o rolo. É importante também considerar aqui o preparo da solução que ocorre simultaneamente, neste processo é necessário que a solução seja aquecida. O processo de secagem ocorre através da circulação de ar quente dentro do tambor secador. Por fim, o bobinamento ocorre de forma contínua mesmo quando é feita a substituição de eixo.

Com base nessa estrutura de subprocessos, foram mapeados todos os equipamentos consumidores de energia elétrica e gás natural. Este levantamento é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Levantamento dos Equipamentos Consumidores de Energia por Subprocesso

Subprocessos	Consumidores de Energia Elétrica	Consumidores de Gás Natural
Formação <i>Spunbonded</i>	Bombas dosadoras Motor Extrusora Aquecimento Extrusora: Resistências Chiller: Ar de Processo Trocador de Calor Ventiladores: Ar de Processo Ventiladores: Sucção Ar de Processo Aquecimento Rolo Pressor: Resistências Motores Esteira	-
Formação <i>Meltblown</i>	Bombas dosadoras Extrusora Motor Extrusora Aquecimento: Resistências Compressor: Ar de Processo Fan Coil Ventilador: Sucção Ar de Processo Motores Esteira	Queimador: Ar de Processo
Consolidação	Motores	Queimador: Óleo Térmico
Umidificação	Motores	Aquecedor de Passagem: Água quente
Secagem	Ventilador Motores	Queimador: Ar de Secagem
Bobinamento	Motores Ponte Rolante	-

Fonte: Autora.

4.2 Identificação dos USE e Variáveis Relevantes

A partir da estruturação dos subprocessos, da identificação dos consumidores de energia, e dos diagramas unifilares disponibilizados pela indústria, foi possível obter uma representatividade aproximada de cada subprocesso no processo final. Para ambos, energia elétrica e gás natural, utilizou-se como base a potência instalada dos conjuntos de equipamentos. Esta simplificação é possível pois não se está efetuando a divisão do consumo real entre os equipamentos, e sim busca-se uma aproximação da representatividade a fim de identificar os usos significativos de energia.

A partir desta análise foi possível construir a Tabela 1, na qual é apresentada percentualmente a representatividade de cada subprocesso no uso de energia elétrica, enquanto na Tabela 2 a mesma construção é feita para o uso de gás natural.

Tabela 1 – Divisão do Uso de Energia Elétrica entre os Subprocessos

Linha	Formação	Consolidação	Umidificação	Secagem	Bobinamento	Total
A	94,3%	2,5%	0,5%	1,3%	1,5%	100%
B	87,9%	5,2%	0,8%	2,9%	3,2%	100%
C	92,4%	4,2%	0,4%	1,8%	1,1%	100%

Fonte: Autora

Tabela 2 – Divisão do Uso de Gás Natural entre os Subprocessos

Linha	Formação	Consolidação	Umidificação	Secagem	Bobinamento	Total
A	52,5%	21,5%	7,2%	18,8%	-	100%
B	-	43,5%	13,0%	43,5%	-	100%
C	37,4%	21,4%	5,7%	35,6%	-	100%

Fonte: Autora

Ao comparar o uso de energia elétrica das 3 linhas de produção, nota-se que a etapa de formação é responsável pelo uso de aproximadamente 90% da eletricidade, mesmo que existam algumas variações entre as linhas. Dentre os equipamentos do subprocesso de formação, há um destaque expressivo para os ventiladores de processo e sucção, e o aquecimento das extrusoras como maiores usos significativos de energia. Já para o uso do gás natural, é perceptível uma distribuição mais homogênea entre os subprocessos, com destaque para a baixa representatividade do processo de umidificação em todas as linhas de produção. Pode-se notar que a linha de produção B não consome gás no subprocesso de formação. Para que seja possível analisar este comportamento, foi preciso detalhar qual a combinação de cabeças de extrusão faz parte do processo de formação para cada linha de produção. O Quadro 2 apresenta esta configuração de forma simplificada, de modo que a letra S representa uma cabeça de extrusão da tecnologia *Spunbonded*, e a letra M representa uma cabeça de extrusão da tecnologia *Meltblown*.

Quadro 2 – Configuração dos Equipamentos de Formação

Linha	Configuração
A	S M M S
B	S S
C	S M S

Fonte: Autor

A configuração das cabeças de extrusão de cada linha de produção permite observar que a linha de produção B não consome gás natural na etapa de formação, pois não possui cabeças de extrusão da tecnologia *Meltblown*. Além disso, ela possui menos cabeças de extrusão que as demais, o que também explica a menor representatividade da etapa de formação, pois é necessária uma menor quantidade de equipamentos. Como era esperado, a linha A, que possui a maior quantidade de cabeças de extrusão, é a linha na qual a formação representa um maior percentual do total. Outra observação é feita com relação a proporção do consumo de gás natural na etapa de formação, a linha A possui duas cabeças de *Meltblown*, enquanto a linha C apenas uma, confirmando a maior representatividade da etapa de formação no consumo de gás da linha A quando comparada com a linha C.

Com base no levantamento apresentado, é possível identificar as variáveis relevantes. Elas têm por objetivo destacar os fatores rotineiros que influenciam no desempenho energético. As variáveis relevantes

são utilizadas de duas formas, para construir a linha de base energética, e para definir quais os indicadores de desempenho energético devem ser utilizados para acompanhamento do processo. Embora não seja objetivo deste estudo construir a linha de base energética para estimar o consumo futuro, as variáveis relevantes foram identificadas, sendo elas: temperatura ambiente, tempo de máquina parada, espessura do material produzido (esta variável é controlada indiretamente pelo volume total produzido no período) e o mix produtivo.

Há um destaque significativo para esta última variável. Embora o processo seja contínuo, existem diferentes famílias de produtos, as quais utilizam diferentes combinações de equipamento e por isso há uma incoerência em compará-los energeticamente. Por este motivo, as famílias de produto foram levadas em consideração para construir os indicadores de desempenho energético.

4.3 Definição dos IDE

Os indicadores de desempenho energético devem expressar grandezas mensuráveis e, principalmente, comparáveis. O fato de uma mesma linha de produção produzir diferentes tecnologias de produtos, faz com que seja necessário, além de relacionar os consumos com uma grandeza física, também agrupar os dados referentes a produções das mesmas famílias de produtos. Na visita em campo, foi possível conversar com especialistas do time de processos da indústria e mapear a existência de duas famílias principais de produtos, vinculadas a combinação das cabeças de extrusão no processo de formação. Elas são chamadas de Família SMS, quando existe a utilização das cabeças de *Spunbonded* e também de *Meltblown*; e família SSS quando são utilizadas apenas as cabeças de *Spunbonded*. É importante ressaltar que embora os nomes sejam definidos através das siglas, não há uma relação direta entre a sigla e a quantidade de cabeças de extrusão utilizadas, ela apenas indica a formação “sanduíche” do processo.

Dentro destas duas famílias de produto existem duas subdivisões, onde cada uma das duas famílias pode produzir material hidrofílico ou hidrofóbico (material que atrai ou repele a água). A matéria-prima do não-tecido, o polipropileno, é naturalmente fóbico e repele a água. Quando é necessário alterar a propriedade intrínseca do material, é então aplicada uma solução na manta que posteriormente precisará ser seca, processo no qual são utilizados o umidificador e o tambor secador. Com base nestas informações foi possível construir o Quadro 3, relacionando os subprocessos com as famílias de produto.

Quadro 3 – Relação entre Subprocessos e Famílias de Produtos

Subprocessos	SMS Fílico	SMS Fóbico	SSS Fílico	SSS Fóbico
Formação <i>Spunbonded</i>	x	x	x	x
Formação <i>Meltblown</i>	x	x	-	-
Consolidação	x	x	x	x
Umidificação	x	-	x	-
Secagem	x	-	x	-
Bobinamento	x	x	x	x

Fonte: Autora

A partir das relações obtidas, algumas simplificações foram feitas para construir os IDE. Conforme apresentado em 4.2, o uso da energia elétrica na etapa de formação representa aproximadamente 90% do total. Desta forma o IDE de consumo de energia elétrica é analisado de forma unificada para a linha de produção inteira. Embora as linhas de produção possuam mais de uma extrusora de *Meltblown*, elas são idênticas entre si, e representam o mesmo subprocesso. Por isso os queimadores também são analisados de forma conjunta. A consolidação trata-se de apenas um equipamento robusto, o qual terá sua análise

individual. Por fim, os processos de umidificação e secagem, como um não é utilizado sem o outro, e a contribuição no produto final pode ser considerada uma só, serão analisados de forma integrada.

Com as simplificações acima mencionadas, foi construído o Quadro 4, para apresentar de forma simplificada todos os IDE que serão construídos para cada linha de produção, quando possível. Além de serem linhas de produção diferentes, existe uma dependência do mix produzido no período de dados disponibilizados. Todos os IDE são apresentados na mesma unidade de medida [kWh/kg].

Quadro 4.5: Relação entre IDE e Famílias de Produtos

Subprocessos	SMS Fílico	SMS Fóbico	SSS Fílico	SSS Fóbico
Energia Elétrica Total	X	X	X	X
Gás Natural <i>Meltblown</i>	X	X	-	-
Gás Natural Consolidação	X	X	X	X
Gás Natural Secagem	X	-	X	-

Fonte: Autor

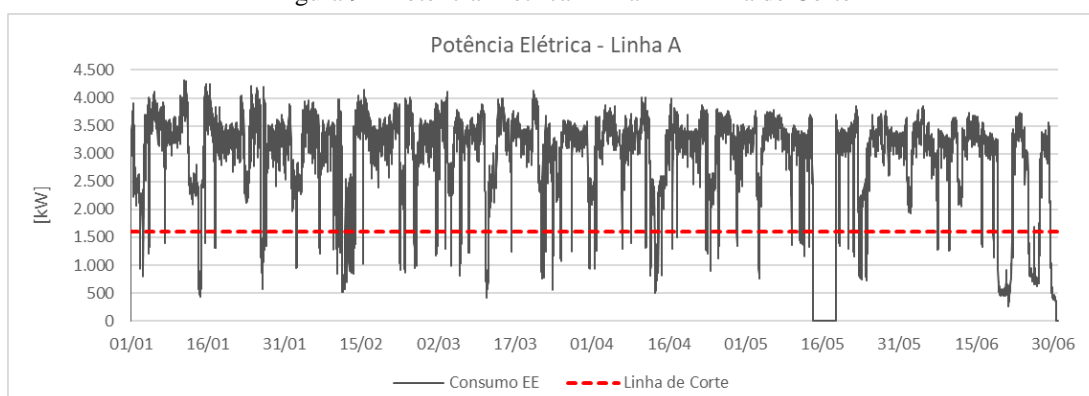
4.4 Análise Estatística da Base de Dados

A base de dados utilizada neste estudo é composta pela combinação de duas fontes de dados, os consumos energéticos, provenientes do sistema de medição de energia, e os volumes produzidos, com as respectivas tecnologias, provenientes do controle de processo. Como já mencionado na sessão 3.3, os dados fornecidos se referem a um intervalo de 6 meses, de janeiro a junho de um ano não informado. O intervalo das coletas é de 15 minutos.

Ao tratar a base de dados foi necessário combinar as duas fontes em um banco de dados único. De modo que para considerar um ponto de dados como válido, foi preciso que a combinação das duas fontes existisse. Caso qualquer uma delas não estivesse disponível, problema ocasionado principalmente por falha no sistema de coleta, a amostra era considerada inválida. Após este primeiro filtro, foi necessário desconsiderar os momentos em que a linha de produção estivesse parada, seja por manutenção corretiva ou preventiva. Para filtrar apenas as amostras em que a linha estava de fato produzindo material, utilizou-se uma linha de corte no consumo de energia elétrica. Este valor foi definido em conjunto com os especialistas de manutenção da indústria.

A Figura 9 apresenta, através da linha cinza, potência elétrica da “linha A” em kW. Para esta situação foi definido como consumo energético mínimo 1.600 kWh, identificado pela linha tracejada vermelha, para a máquina ser considerada em produção.

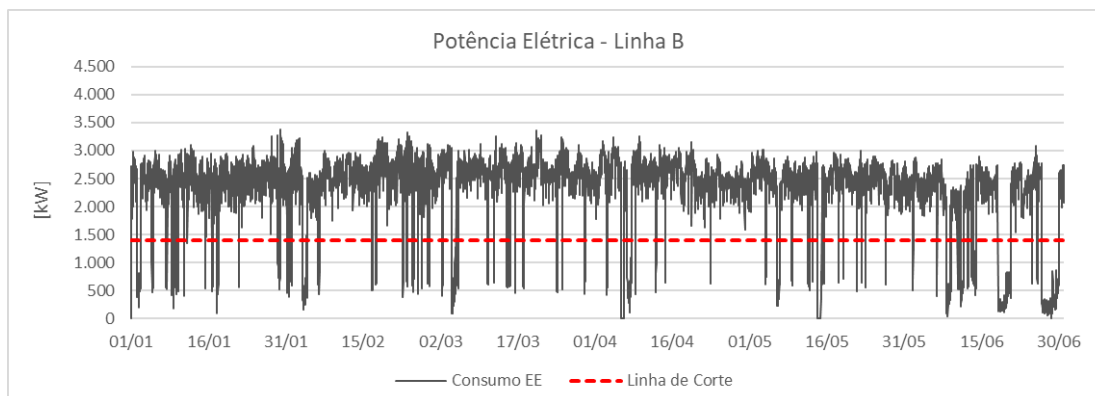
Figura 9 – Potência Elétrica Linha A x Linha de Corte



Fonte: Autora

A Figura 10 apresenta a potência elétrica da “linha B” também em kW. Para esta situação foi definido como consumo energético mínimo 1.400 kWh para a máquina ser considerada em produção.

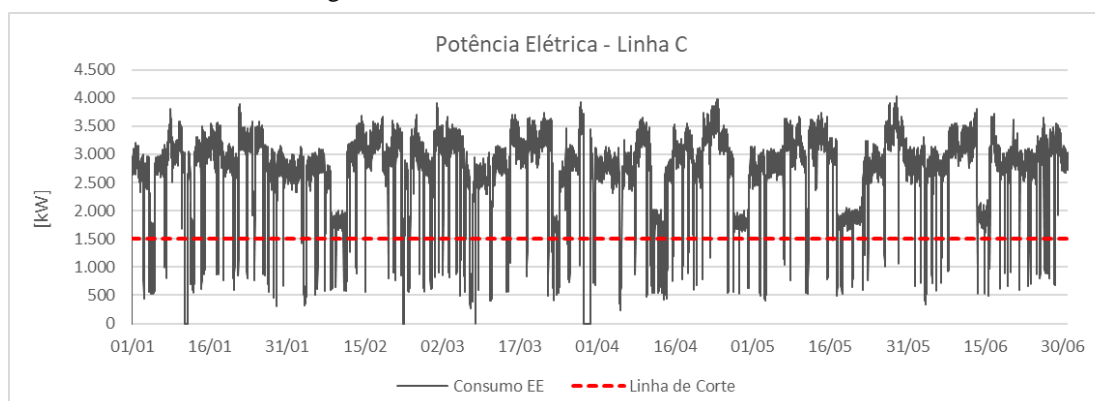
Figura 10 – Potência Elétrica Linha B x Linha de Corte



Fonte: Autora

Por fim, a figura 11 apresenta potência elétrica da “linha C” também em kW. Foi definido como consumo energético mínimo 1.500 kWh para a máquina ser considerada em produção.

Figura 11 – Potência Elétrica Linha C x Linha de Corte



Fonte: Autora

Com base nas premissas apresentadas acima para o tratamento dos dados, foi possível construir a Tabela 3. Nela são apresentados os percentuais de dados invalidados ao longo do processo. Pode-se perceber que para todas as linhas de produção foi possível manter uma base superior a 70% de dados válidos, configurando assim uma base de dados adequada para análise realizada.

Tabela 3 – Quantificação de Dados Válidos

Linha	Total de Amostras	Amostras Válidas	Amostras Produzindo
A	17.375	81%	70%
B	17.375	84%	73%
C	17.375	94%	86%

Fonte: Autora

A partir deste ponto são consideradas apenas as amostras em que as linhas de produção estavam produzindo. Para cada linha, as amostras foram divididas percentualmente entre as 4 famílias para definir que análises comparativas seriam feitas. Pode-se observar esta divisão na Tabela 4 apresentada abaixo.

Tabela 4 – Produção Percentual por Famílias de Produto

Linha	SMS Fílico	SMS Fóbico	SSS Fílico	SSS Fóbico
A	0%	78%	0%	22%
B	0%	0%	62%	38%
C	30%	22%	15%	33%

Fonte: Autora

É possível ver que a linha de produção C é a única que produz uma quantidade expressiva das 4 tecnologias e que a única tecnologia produzida pelas três linhas de produção é o SSS Fóbico. Além disso, embora a linha A tenha tecnicamente condições de produzir SMS Fílico, ela não é utilizada para este fim, impossibilitando um comparativo de eficiência entre linhas para esta tecnologia.

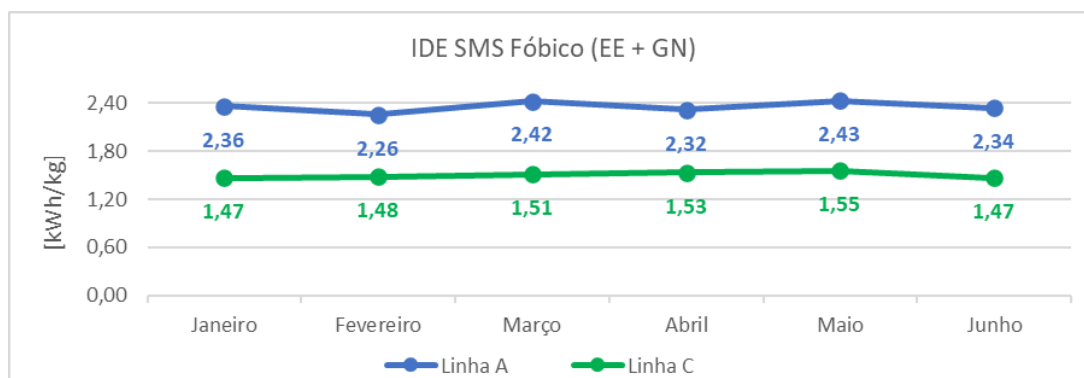
4.5 Análise Comparativa dos IDE entre Linhas de Produção

A primeira análise realizada teve por objetivo comparar o desempenho energético das três linhas de produção quando produzindo a mesma tecnologia. Como mencionado na Sessão 4.4, a tecnologia SMS Fílico é produzida apenas pela “Linha C”, por este motivo não é apresentada sua análise individual nessa Sessão.

A. IDE SMS Fóbico:

Conforme já discutido, a tecnologia SMS Fóbico é produzida pelas linhas de produção A e C. A Figura 12 apresenta a evolução do indicador de eficiência somado de energia elétrica (EE) e gás natural (GN), medido em [kWh/kg] ao longo do período analisado, discretizado por mês.

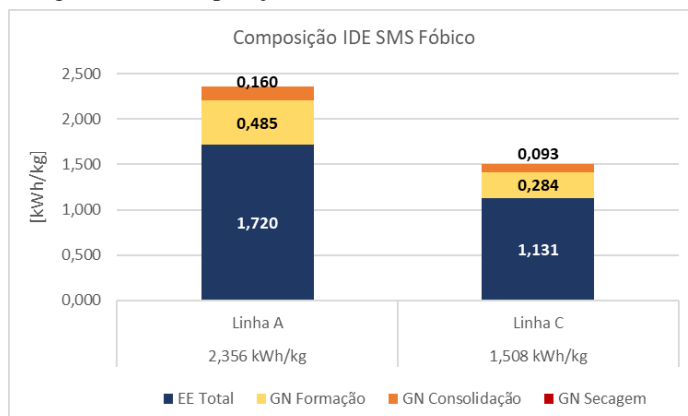
Figura 12 – IDE SMS Fóbico: Linha A x C



Fonte: Autora

É possível perceber uma constância na diferença entre os indicadores de cada linha de produção, de modo que a “Linha A” possui um consumo total aproximadamente 55% maior que a “Linha C”. Para analisar em qual dos subindicadores esta variação é mais significativa, a Figura 13 traz a composição do indicador médio para as duas linhas de produção e o valor do indicador médio total no eixo horizontal.

Figura 13 – Composição do IDE SMS Fóbico: Linha A x C



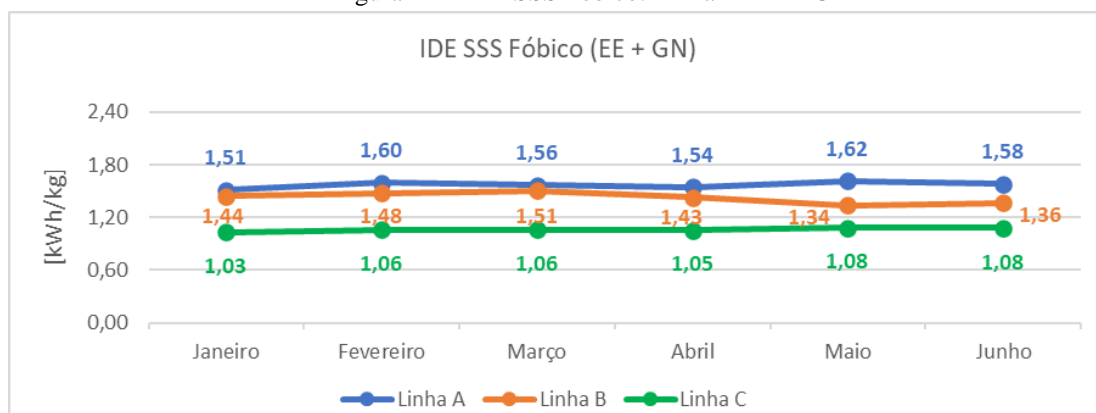
Fonte: Autora

Nota-se então, que embora exista uma diferença em todos os subindicadores, as maiores variações percentuais ocorreram nos consumos de gás natural. Ao debater os resultados com os especialistas da indústria, o resultado é coerente, uma vez que a “Linha A” é a mais antiga e a “Linha C” a mais nova (e também, mais eficiente). A “Linha A” também possui mais cabeças de *Meltblown* que a “Linhas C”, o que explica o fato de o indicador GN de Formação possuir a maior variação percentual. Mas, além disso, existe outro fator que influenciou na diferença entre os indicadores das duas linhas, a espessura do material. A espessura do material na linha A é em média 30% maior que a linha C, isso implica em condições de processo diferentes, como por exemplo limitação de velocidade, o que pode afetar a eficiência elétrica unitária. Outra implicação da espessura, é relacionada ao consumo do gás, pois ele é proporcional à quantidade de material que precisa aquecer ou secar, logo quanto maior a espessura, maior a necessidade de gás.

B. IDE SSS Fóbico:

Para a tecnologia SSS Fóbico, no histórico disponibilizado constam dados para as três linhas de produção. A Figura 14 apresenta a evolução do indicador de eficiência somado de energia elétrica e gás natural, medido em [kWh/kg] ao longo do período analisado, discretizado por mês.

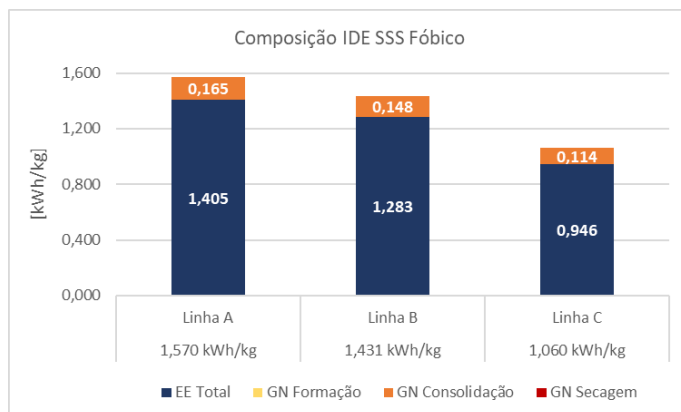
Figura 14 – IDE SSS Fóbico: Linha A x B x C



Fonte: Autora

Neste caso, observa-se as “Linhas A” (45% maior que C) e a “linha B” (32% maior que C) com indicadores mais próximos entre si e a “Linha C” consideravelmente mais eficiente que as demais. Novamente isso pode ser explicado pelo fato de a “Linha C” ser mais nova. Seguindo a análise realizada com o IDE anterior, outros fatores serão discutidos após a apresentação da Figura 15, a qual traz a composição do indicador médio para as três linhas de produção e o valor do indicador médio total no eixo horizontal.

Figura 15 – Composição do IDE SSS Fóbico: Linha A x B x C



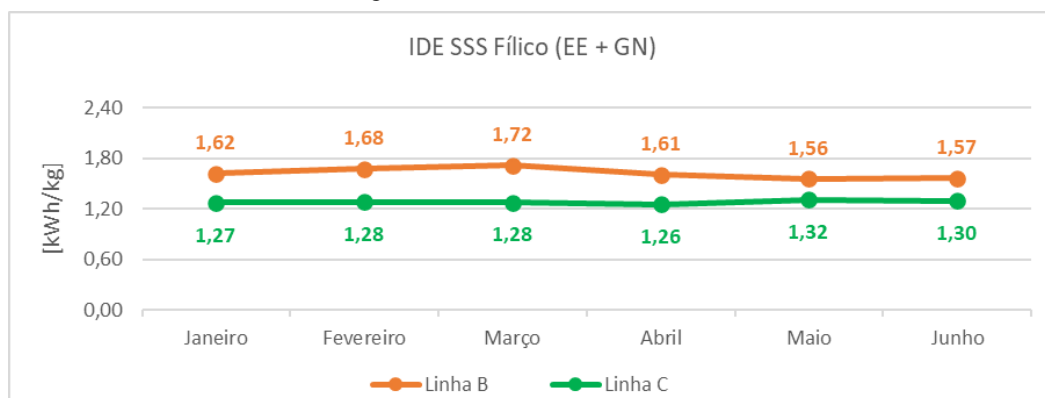
Fonte: Autora.

São identificadas variações significativas também em todos os indicadores, neste caso com uma variação menor que no caso anterior. Isso se deve ao fato de que, para produzir esta tecnologia é utilizada a mesma quantidade de cabeças de extrusão em todas elas, o que atenua variações do indicador não relacionadas à eficiência. As considerações feitas anteriormente com relação a espessura do material também se aplicam aqui, novamente a “Linha C” apresenta uma espessura média menor para o período analisado do que as demais, impactando da mesma forma os consumos do GN de formação e também o consumo unitário elétrico.

C. IDE SSS Fílico:

Por fim, a tecnologia SSS Fílico é produzida pelas linhas de produção B e C. A Figura 16 apresenta a evolução do indicador de eficiência somado de energia elétrica e gás natural, medido em [kWh/kg] ao longo do período analisado, discretizado por mês.

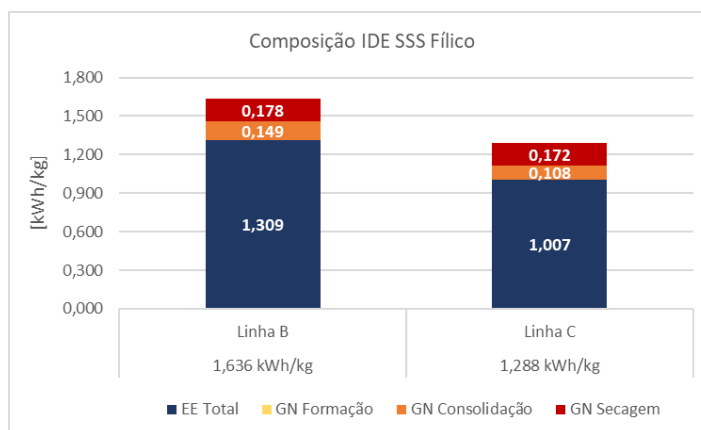
Figura 16 – IDE SSS Fílico: Linha B x C



Fonte: Autora

Essa foi a tecnologia em que se obteve a menor variação média, aproximadamente 27%. Vale destacar que neste caso a espessura do material não interfere, pois a espessura média para o período analisado é muito próxima entre as duas linhas. Para analisar em qual dos subindicadores a variação é mais significativa, a Figura 17 traz a composição do indicador médio para as duas linhas de produção.

Figura 17 – Composição do IDE SSS Fílico: Linha B x C



Fonte: Autora

Nota-se então um indicador muito similar para o consumo unitário do GN de secagem, isso é coerente já que o perfil médio de espessura das duas linhas é muito parecido para o período. Enquanto para a energia elétrica e gás natural de consolidação, pode-se dizer que não existem outros fatores significativos exercendo influência na variação de aproximadamente 30%. Esta seria a única análise em que, considerando os fatores externos já mencionados, a variação de IDE representa de forma isolada a variação da eficiência.

Após analisar individualmente o comportamento dos indicadores quando deseja-se produzir a mesma tecnologia, pode-se validar a aplicabilidade da metodologia proposta quanto ao objetivo de priorizar a produção na linha que representa o menor gasto energético. Os dados e indicadores apresentados nesta análise são suficientes para elucidar a tomada de decisão do setor de Planejamento e Controle de Produção. Logo, quando não houver influência de outros fatores externos, é possível saber qual linha deve ser priorizada, neste caso a Linha C apresentou a melhor performance para todas as famílias de produto.

A busca por ineficiências e oportunidades de melhoria, no entanto, não teve resultado satisfatório apenas através da análise dos IDE. Os indicadores acima apresentados fornecem um direcionamento, mas não são suficientes para auxiliar na priorização de iniciativas, uma vez que eles representam, na sua maioria um conjunto bastante grande de equipamentos. Para este fim, indica-se que seja adotada uma auditoria de eficiência energética, buscando avaliar diretamente a condição de operação dos equipamentos.

É importante destacar que as simplificações realizadas, através de médias e a discretização mensal, só foram possíveis porque as linhas de produção apresentaram uma variabilidade muito baixa entre as amostras no período analisado. A variabilidade presente está relacionada com outro parâmetro produtivo, o qual não foi objeto de análise neste estudo, mas foi indiretamente utilizado nessa sessão, a espessura do material produzido. Vale mencionar também um outro fator discutido com o time de especialistas da empresa, a largura das linhas de produção também influenciam na eficiência, linhas mais largas são mais robustas e possuem motores maiores que, em alguns casos, possuem eficiências maiores, este fator foi identificado,

mas não será discutido neste estudo. No Apêndice A são apresentadas as curvas ao longo do tempo por tecnologia por linha produtiva, assim é possível observar esta uniformidade.

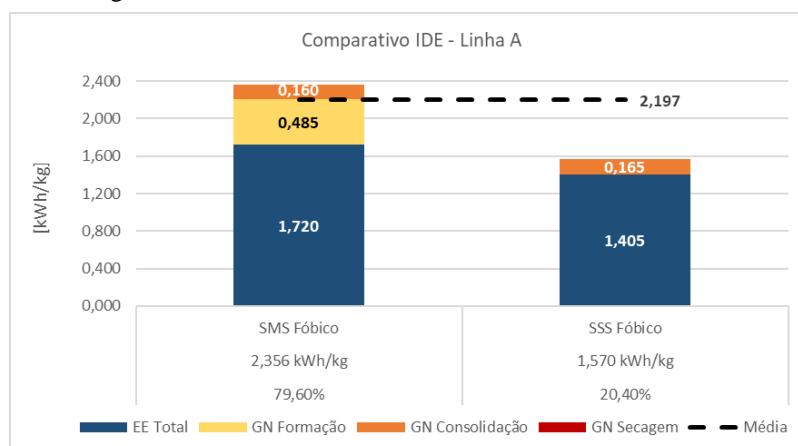
4.6 Análise Comparativa dos IDE por Tecnologia

A segunda análise realizada teve por objetivo comparar os indicadores de todas as tecnologias produzidas em uma mesma linha de produção com o seu indicador médio. Os indicadores médios foram obtidos através da ponderação dos indicadores individuais de cada uma das tecnologias, com as suas respectivas representatividades na produção total.

A. IDE Linha A

Como já discutido, a linha A produz apenas os produtos fóbicos. Na Figura 18 pode-se observar os indicadores de eficiência em [kWh/kg] para as suas duas famílias de produto através de colunas, somando todos os subindicadores de cada tecnologia. Essas colunas são comparadas com o indicador médio apresentado na linha tracejada preta, o qual foi explicado acima. O indicador total de cada tecnologia, bem como o percentual de representatividade de cada uma delas, são apresentados no eixo horizontal da Figura 18.

Figura 18 – IDE Linha A: SMS Fóbico x SSS Fóbico



Fonte: Autora

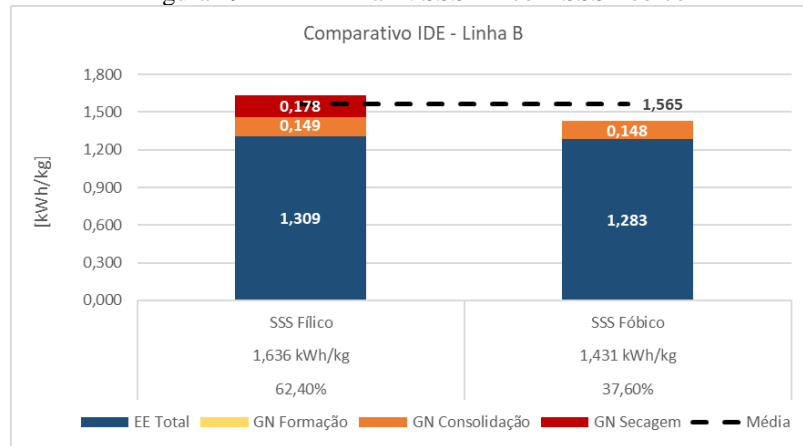
Este gráfico permite perceber que o gás natural de consolidação apresenta um valor muito próximo entre as tecnologias, resultado coerente quando se considera que as espessuras dos materiais produzidos na “Linha A” são uniformes entre si. O gás de formação para a tecnologia SMS, somado à energia elétrica adicional para operar estas cabeças de extrusão adicionais *Meltblown* faz com que o indicador de SMS Fóbico seja 50% maior que SSS Fóbico, e 7,3% maior que o indicador médio, esta segunda relação só não é maior pois, no caso da “Linha A”, esta tecnologia representa aproximadamente 80% do total produzido. Em outras palavras, quando o produto é precificado pelo médio de energia, na tecnologia SMS Fóbico, 15,9% do consumo energético não é precificado. Enquanto o produto SSS Fóbico é sobre precificado em 39,9% do seu consumo energético.

B. IDE Linha B

A “Linha B”, por sua vez, produz apenas as tecnologias SSS, fílico e fóbico. Na Figura 19 são apresentados os indicadores de eficiência em [kWh/kg] para as duas famílias de produto através de colunas, somando todos os subindicadores de cada tecnologia. Essas colunas são comparadas com o

valor médio apresentado na linha tracejada preta. O indicador total de cada tecnologia, bem como o percentual de representatividade de cada uma delas, são apresentados no eixo horizontal.

Figura 19 – IDE Linha B: SSS Fílico x SSS Fóbico



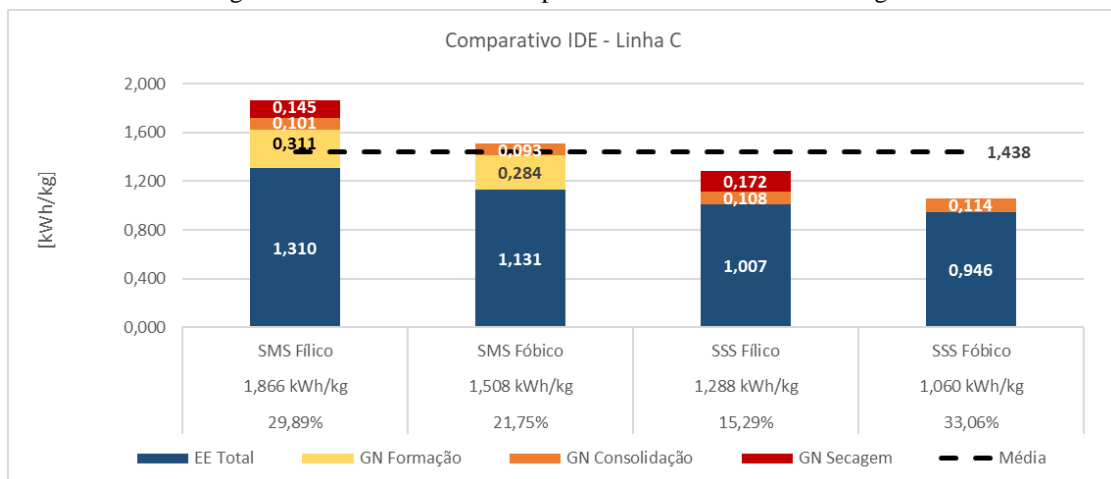
Fonte: Autora

Novamente o gás natural de consolidação apresenta praticamente o mesmo IDE entre as tecnologias, no caso da “Linha B” este comportamento também é observado para energia elétrica. Ambos os resultados são coerentes, já que além do perfil uniforme, não há variação na quantidade de extrusoras utilizadas. Desta forma, a única diferença entre os produtos é a utilização do processo de aplicação e secagem, provocando a menor variabilidade, onde a tecnologia SSS Fílico, possui um indicador apenas 4,5% acima da média enquanto o SSS Fóbico, 9,4% abaixo da média.

C. IDE Linhas C

A “Linha C” produz todas as tecnologias analisadas, e é, portanto, a linha que apresenta maior variabilidade entre indicadores. Na Figura 20 é possível observar os indicadores de eficiência em [kWh/kg] para as quatro famílias de produto através de colunas, somando todos os subindicadores de cada tecnologia. Essas colunas são comparadas com o valor médio apresentado na linha tracejada preta. O indicador total de cada tecnologia, bem como o percentual de representatividade de cada uma delas, são apresentados no eixo horizontal.

Figura 20 – IDE Linha C: Comparativo entre todas as Tecnologias



Fonte: Autora

A “Linha C” possui a maior variedade de tecnologias, ou seja, é a análise mais completa de se realizar. Pode-se começar com o gás natural de consolidação, que apresenta comportamento uniforme entre todas as tecnologias, conforme já discutido para as outras linhas. O gás natural de secagem nos produtos fílicos apresenta uma variação que pode ser explicada ao analisar as espessuras médias dos produtos no período analisado, aferindo coerência ao possuir aproximadamente o mesmo consumo unitário para ambas as tecnologias, uma vez que o consumo é proporcional a quantidade de água que deve ser removida do produto. Outra análise interessante de fazer é a comparação da variação na energia elétrica. Era esperado, que a diferença entre SMS Fílico e SMS Fóbico fosse aproximada da diferença entre SSS Fílico e SSS Fóbico, resultado também observado. Isso porque os equipamentos elétricos adicionados são os mesmos em ambos os casos.

Quando se compara o indicador SMS Fílico com a média, tem-se um IDE 30% maior, e este é o maior alerta que este estudo apresenta. Esta observação significa que, ao construir o preço deste material, 23% do seu consumo energia não está sendo considerado no custo. Enquanto isso, no outro extremo, para a tecnologia SSS Fóbico, o produto é sobre precificado em 35,6% do seu consumo.

Assim, com a análise apresentada é possível validar a aplicação da metodologia para o terceiro e último objetivo proposto. É possível utilizar a construção dos indicadores para ajustar a precificação de diferentes tecnologias. No caso da indústria analisada neste estudo, encontrou-se uma variação de até 30% com relação aos custos médios, atualmente empregados na precificação. Isso é um problema pois a distribuição percentual entre as tecnologias não é a mesma todos os meses. A variação do mix produtivo, que pode ser observada no Apêndice B, não é uniforme e pode representar, mesmo que por um período isolado de tempo, uma construção de custo irreal do produto. Neste caso, sugere-se que a precificação considere a abertura por famílias de produtos, para refletir o consumo real de cada tecnologia.

5 CONCLUSÃO

Reduzir a pegada de carbono atrelada a qualquer que seja o produto ou processo, é urgente e praticamente um consenso. No entanto, muitas empresas ainda não enxergam retorno que motive investir na implementação um Sistema de Gestão de Energia. Através deste trabalho foi possível aplicar a metodologia proposta pela ISO 50.001 e obter resultados significativos quanto a possíveis reduções de custos. A norma apresenta um arranjo metodológico bem-estruturado e generalista, podendo de fato ser aplicada a qualquer que seja o processo. No entanto, este estudo mostrou que para analisar processos contínuos é necessário possuir uma infraestrutura robusta que possibilite a aquisição de dados em um intervalo de tempo suficiente para individualizar as campanhas produtivas, o que nem sempre é realidade das empresas.

Ao aplicar esta metodologia visando identificar ineficiências que possibilitassem priorizar as melhorias, percebeu-se que a análise dos indicadores identifica potenciais reduções, mas não é suficiente se não estiver vinculada a um processo de auditoria energética. Outra sugestão seria a construção das linhas de base energéticas, a fim de identificar os desvios. Quanto a necessidade de definir a linha de produção que represente o menor custo energético para cada tecnologia de produto, os indicadores segmentados fornecem uma visualização objetiva, eliminando a distorção criada pelos indicadores generalistas. Embora o resultado desta análise de forma isolada não seja suficiente para alterar a programação de produção, ela fornece informação para auxiliar em uma tomada de decisão de forma consciente.

O maior ganho observado neste estudo está relacionado à distorção existente no custeio do produto. Ao comparar o indicador generalista com os indicadores por tecnologia, se identificou uma oportunidade

significativa de reestruturar a precificação do produto, aumentando o valor agregado dos produtos que necessitam de maior consumo energético. Por fim, é possível citar que outras análises seriam interessantes, para validar a aplicabilidade e o potencial da norma poderia se realizar a mesma análise com uma base de dados manual e menos setorizada, isso traria uma visão mais clara das dificuldades em aplicar a metodologia.

Abordando especificamente o estudo de caso da indústria de não tecido, é possível constatar um ganho significativo nas análises ao abrir os indicadores por tecnologia, no entanto o processo produtivo do não tecido possui inúmeras variáveis e comportamentos nem sempre lineares. Para aumentar ainda mais a precisão das análises, sugere-se que variável espessura do material seja considerada para criar novos subindicadores dentro de cada família de produto. Neste caso, amplia-se ainda mais o potencial do estudo quando considerada a possibilidade de efetuar o cruzamento dos dados de processo com os dados de consumo energético em tempo real e individualizando cada produto pela tecnologia e também espessura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **O que é Eficiência Energética?** Disponível em <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>> Acesso em: 12 maio 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃOTECIDO E TECIDOS TÉCNICOS. **O que são os Nãotecidos.** Disponível em <<https://www.abint.org.br/naotecidos/o-que-sao>> Acesso em: 17 junho 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.370-2017:** Nãotecido - Terminologia. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.001-2018:** Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2018

BARROS, B. F. D.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Eficiência Energética - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos.** [s.l.] Editora Saraiva, 2015.

EL MAJATY, Salma; TOUZANI, Abdellatif; KASSEH, Youssef. Results and perspectives of the application of an energy management system based on ISO 50001 in administrative buildings-case of Morocco. **Materials Today: Proceedings**, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2020 – Ano Base 2019.** Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>> Acesso em: 12 maio 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2022 – Ano Base 2021.** Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>> Acesso em: 01 setembro 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Eficiência Energética.** Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>> Acesso em: 03 maio 2022

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Energy efficiency index (ODEX) for final consumers in the EU.** Disponível em <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/energy-efficiency-index-in-households-3#tab-chart_1> Acesso em: 19 agosto 2022.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Quanto Custa a energia elétrica para a pequena e média indústria no Brasil? **Ambiente de Negócios.** Disponível em <<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm#pubAlign>> Acesso em: 07 novembro 2021.

FIEDLER, T.; MIRCEA, P.-M. Energy Management Systems according to the ISO 50001 Standard – Challenges and Benefits. **2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)**, p. 1–4, 2012.

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.

LEITE, T. A. P. Diagnóstico Energético de um Terminal Portuário localizado em Itajaí-SC com base na NBR ISO 50001:2011. **IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, P. 1-16, 2014.

MARIMON, F.; CASADESÚS, M. Reasons to adopt ISO 50001 Energy Management System. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 10, 27 set. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> > Acesso em: 21 julho 2022.

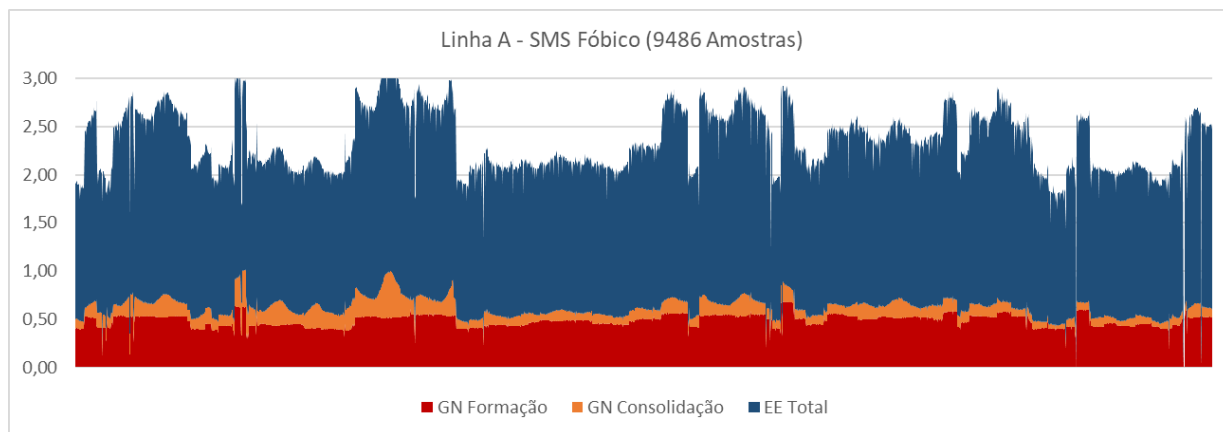
PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators, and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, n. 5, p. 377–390, 1996.

PELSER, Wiehan A.; VOSLOO, Jan C.; MATHEWS, Marc J. Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 642-653, 2018.

APÊNDICES

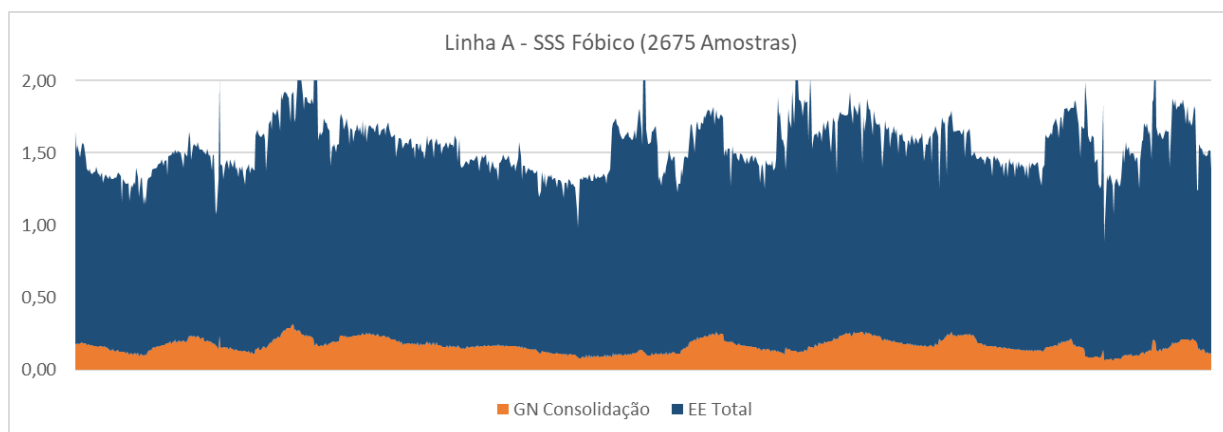
APÊNDICE A – Curvas de Consumo por Tecnologia para cada Linha de Produção.

Figura A.1: Linha A – SMS Fóbico



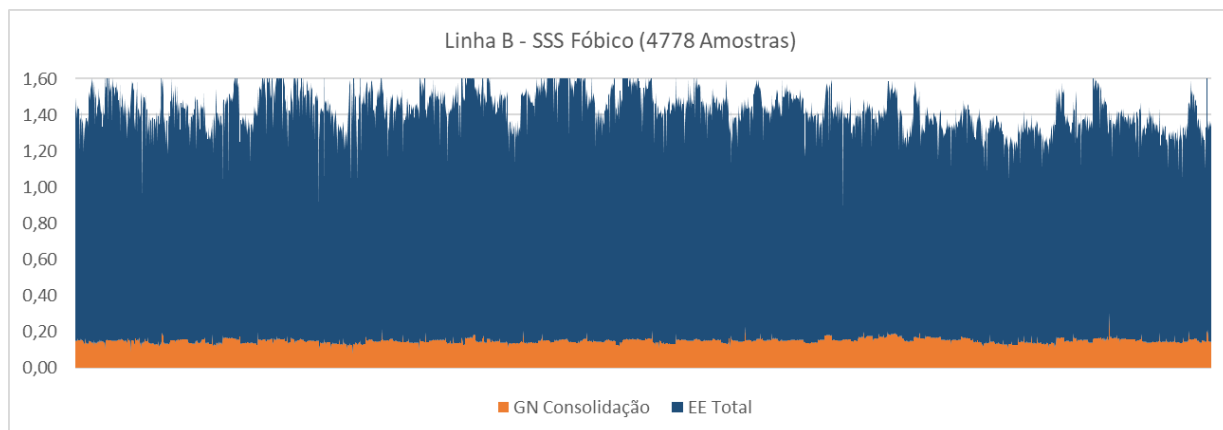
Fonte: Autora

Figura A.2: Linha A – SSS Fóbico



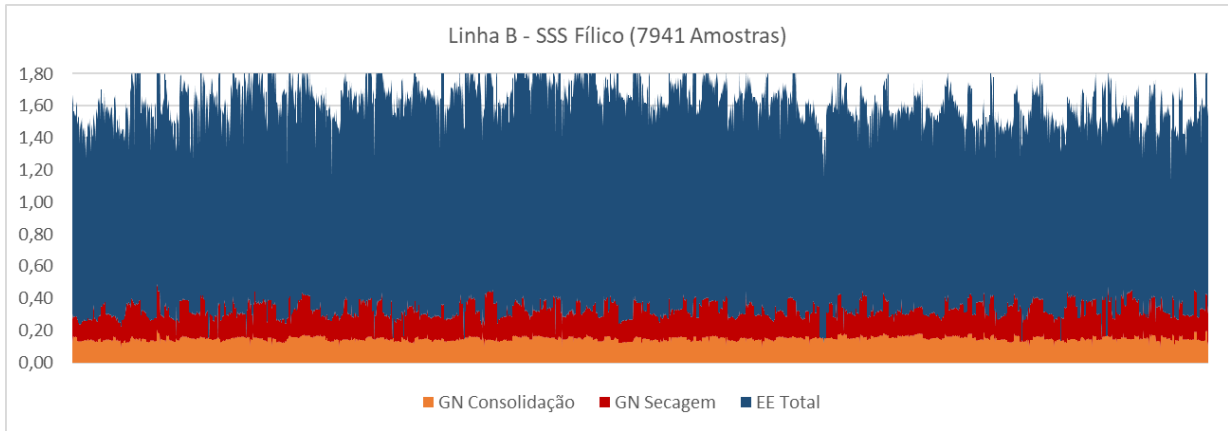
Fonte: Autora

Figura A.3: Linha B – SSS Fóbico



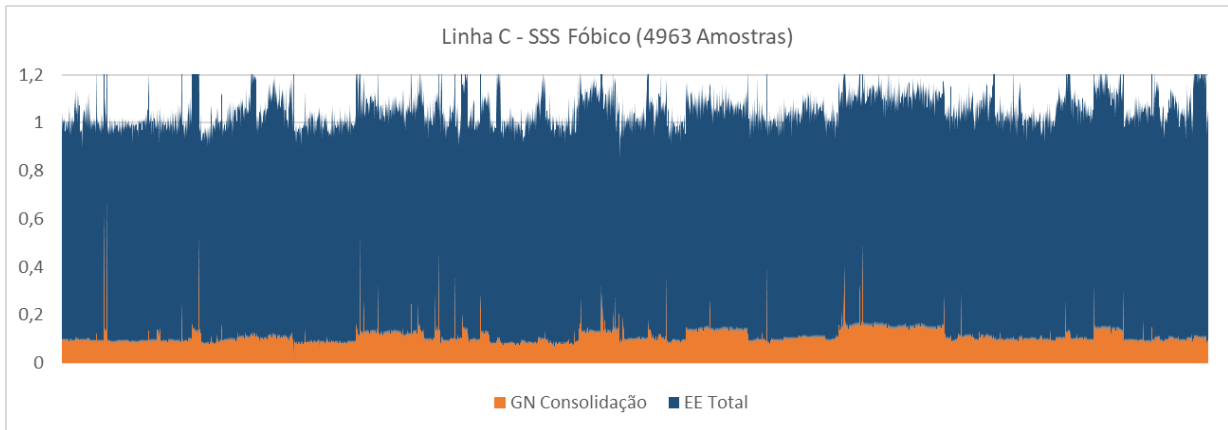
Fonte: Autora

Figura A.4: Linha B – SSS Fílico



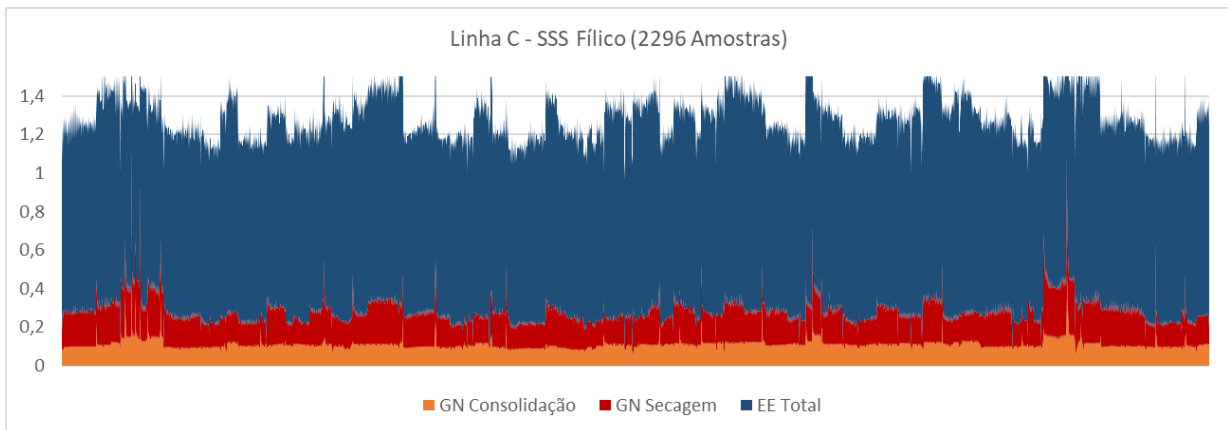
Fonte: Autora

Figura A.5: Linha C – SSS Fóbico



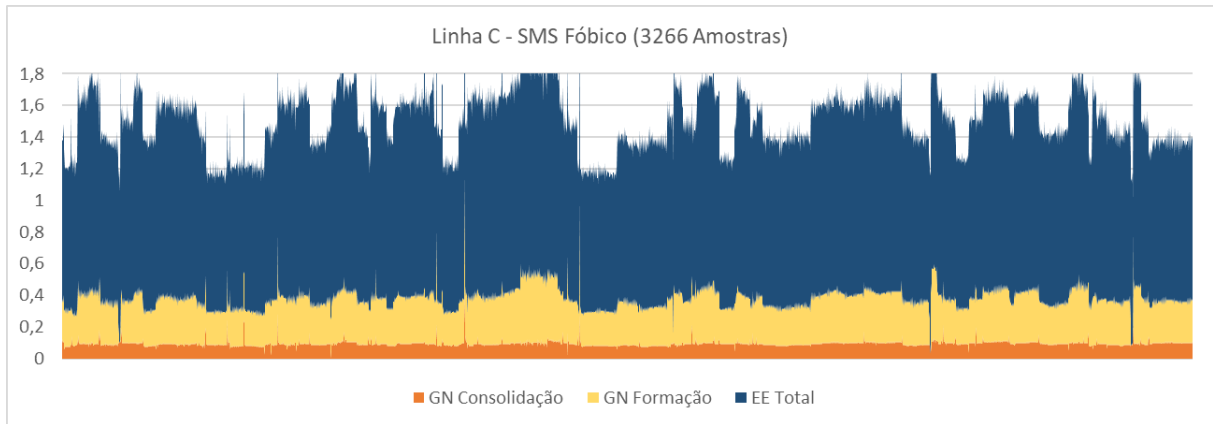
Fonte: Autora

Figura A.6: Linha C – SSS Fílico



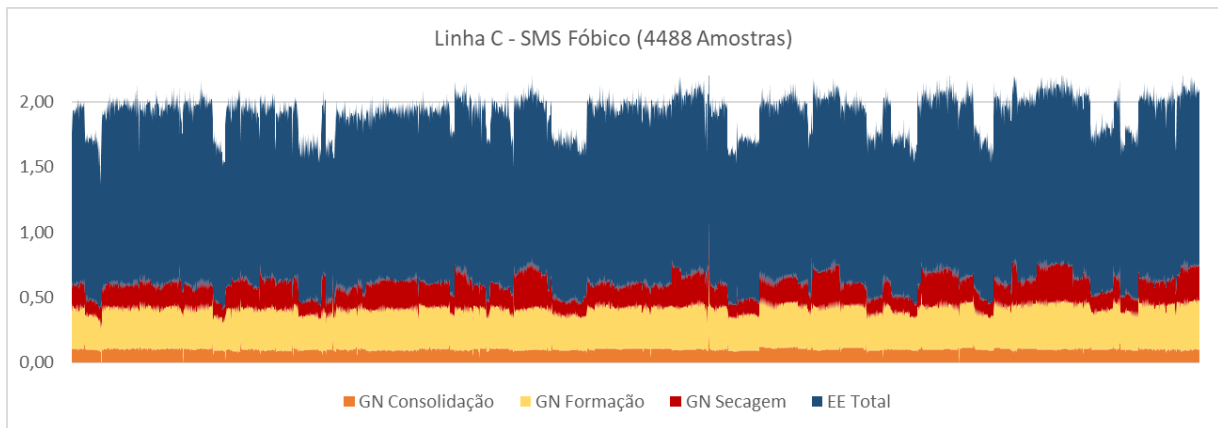
Fonte: Autora

Figura A.7: Linha C – SMS Fóbico



Fonte: Autora

Figura A.8: Linha C – SMS Fílico



Fonte: Autora

APÊNDICE B – Variação do Mix Produtivo.

Tabela B.1 – Produção Percentual por Famílias de Produto (Linha A)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	Média Geral
SSS Fóbico	19,3%	24,8%	24,0%	14,4%	15,0%	25,1%	19,3%
SMS Fóbico	80,7%	75,2%	76,0%	85,6%	85,0%	74,9%	79,6%
IDE Médio [kWh/kg]	2,207	2,093	2,218	2,205	2,310	2,149	2,197
Variação IDE %	100%	95%	101%	100%	105%	98%	100%

Fonte: Autora

Tabela B.2 – Produção Percentual por Famílias de Produto (Linha B)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	Média Geral
SSS Fílico	54,2%	70,0%	65,7%	62,7%	64,8%	55,7%	62,4%
SSS Fóbico	45,8%	30,0%	34,3%	37,3%	35,2%	44,3%	37,6%
IDE Médio [kWh/kg]	1,546	1,627	1,656	1,545	1,484	1,482	1,565
Variação IDE %	99%	104%	106%	99%	95%	95%	99%

Fonte: Autora

Tabela B.3 – Produção Percentual por Famílias de Produto (Linha C)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	Média Geral
SSS Fílico	17,3%	14,9%	4,0%	15,7%	16,1%	20,1%	15,3%
SSS Fóbico	32,1%	36,4%	7,8%	43,1%	38,0%	33,2%	33,1%
SMS Fílico	32,8%	29,4%	43,0%	20,2%	23,9%	34,3%	29,9%
SMS Fóbico	17,8%	19,2%	45,2%	21,0%	22,0%	12,4%	21,8%
IDE Médio [kWh/kg]	1,426	1,411	1,636	1,351	1,412	1,454	1,438
Variação IDE %	99%	98%	114%	94%	98%	101%	99%

Fonte: Autora