

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA – PECE

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA PLANTA INDUSTRIAL

Rogério Braga de Barros

São Paulo

2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA – PECE

Estudo de Oportunidade de Eficiência Energética em uma Planta Industrial

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Educação Continuada – PECE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Eficiência Energética

ORIENTADOR: Prof. Enio Akira Kato

São Paulo

2018

Dedico este trabalho à minha família.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catalogação-na-publicação

Barros, Rogério Braga

Estudo de Oportunidade de Eficiência Energética em uma Planta Industrial / R. B. Barros -- São Paulo, 2018.

64 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Eficiência Energética na Industria I.Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente obrigado à Deus e a minha família. A Minha esposa Tatiane, que com muita paciência e perseverança, apoio-me nestes quase dois anos de curso, aos meus filhos Yasmim e Samir por estarmos sempre juntos. A minha mãe, meu exemplo de perseverança e dedicação e ao meu professor orientador com sua sabedoria.

Obrigado por tudo.

## RESUMO

O tema da eficiência energética popularizou-se no Brasil nos últimos anos. Iniciativas, como o selo do PROCEL e a etiqueta nacional de conservação de energia, contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia, identificando e promovendo equipamentos eletrodomésticos mais eficientes, nas novas edificações, na iluminação pública e no conhecimento e qualificação em eficiência energética. Na área industrial O PROCEL fomenta a eficiência energética e otimização dos sistemas produtivos, principalmente os motrizes, ou seja, instalações elétricas e mecânicas, motores elétricos, acoplamentos, cargas acionadas e uso final, enquanto maior consumidor de energia elétrica, a indústria, é um área vasta, e são muitas as oportunidades, sendo assim, um dos setores da economia com maior potencial de otimização na utilização de tal recurso. A proposta do presente estudo é avaliar pontos de desperdício de energia útil em processos térmicos, processos relacionados à ar comprimido e processos de movimentação acionados por motores elétricos. Iniciando por um levantamento histórico da evolução da energia elétrica no Brasil e seguido de uma seção teórica de modelagem e avaliação dos pontos críticos de perdas para então avaliar as oportunidades in loco, esse estudo demonstra, analisando do ponto de vista teórico, técnico e econômico, algumas oportunidades de redução de desperdício de energia encontradas em uma indústria secundária de transformação de plásticos que podem ser estendidas e/ou adaptadas à indústrias com processos similares.

Palavras-chave: Eficiência Energética na Industria; Processo Térmicos; Ar Comprimido; Motores Elétricos.

## ABSTRACT

The theme of energy efficiency has become popular in Brazil in recent years. Initiatives, such as the PROCEL label and the national energy conservation label, contribute to increasing the efficiency of goods and services, to developing habits and knowledge about energy efficiency. efficient consumption of energy, identifying and promoting more efficient home appliances, new buildings, public lighting and knowledge and qualification in energy efficiency. In the industrial area PROCEL promotes energy efficiency and optimization of production systems, especially the power plants, that is, electrical and mechanical installations, electric motors, couplings, loads and final use, while there are many opportunities, thus being one of the sectors of the economy with the greatest optimization potential in the use of such resources. The purpose of the present study is to evaluate points of energy waste in thermal processes, processes related to compressed air and electric motors. Beginning with a historical survey of the evolution of electric energy in Brazil and followed by a theoretical section of modeling and evaluation of the critical points of losses to then evaluate the opportunities in loco, this study demonstrates, analyzing from the theoretical, technical and economic point of view, some energy waste reduction opportunities found in a secondary plastics processing industry that can be extended and / or adapted to industries with similar processes.

**Keywords:** Energy Efficiency in Industry; Thermal Processes; Compressed air; Electric motors.

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO .....	12
1.2 OBJETIVO.....	13
1.3 RESULTADOS ESPERADOS.....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2.ENERGIA .....	15
2.1 A EVOLUÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL .....	17
2.2 O QUADRO ATUAL DA ENERGIA NO BRASIL.....	23
3.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	26
3.1 PROCESSOS TÉRMICOS.....	27
3.2 MOTORES ELÉTRICOS.....	31
3.3 AR COMPRIMIDO.....	35
4.ANALÍSE DE PERDAS .....	37
4.1 O NÂOTECIDO E SEU PROCESSO PRODUTIVO .....	37
4.1.1 PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	40
4.2 PERDAS TÉRMICAS EM TUBULAÇÃO DE AR .....	41
4.3 PERDAS TÉRMICAS EM TROCA TELAS .....	43
4.4 PERDAS TÉRMICAS EM REFRIGERAÇÃO DE AR.....	48
4.5 CONVERSÃO DE AQUECEDORES ELÉTRICOS PARA GÁS NATURAL .....	50
4.6 MODIFICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO .....	50
4.7 REDUÇÃO DE CUSTOS COM AR COMPRIMIDO COM BOAS PRÁTICAS .....	53
4.8 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO VENTILADOR DOS TAMBORES SECADORES.....	56
4.9 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADEDE DESLIGAMENTO COMPRESSORES CENTRÍFUGOS .....	57
4.10 MOTORES SUPERDIMENSIONADOS .....	58
4.11 RESUMO DAS AÇÕES E MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	60
5.CONCLUSÕES .....	61
6 REFERÊNCIAS .....	64

## ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1: Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 1901 e 1930, exclusive lenha. Wilberg, J., 1974, Consumo Brasileiro de Energia .....	19
Figura 2: Estimativa do consumo de energia 1941-72. ....	21
Figura 3: Evolutivo da capacidade instalada 1974-2013. ....	22
Figura 4: Estrutura da oferta interna de energia elétrica. ....	23
Figura 5: Consumo por setor no ano 2016. ....	24
Figura 6: Exemplos de condução de calor: a) Condução de calor em sólidos. b) Imagem térmica da convecção de um gás. c) Imagem térmica da radiação térmica de uma residência. ....	28
Figura 7: Sistema de geração de ar comprimido. ....	35
Figura 8: Consumo de energia em sistemas de ar comprido. ....	36
Figura 9: Esquerda: não tecido. Direita: tecido. ....	38
Figura 10: Processo produtivo do spunbonded. ....	39
Figura 11: a) Compressor Aerzen; b) Tubulação sem isolamento; c) Instalação dos isolamentos; d) Tubulação isolada. ....	43
Figura 12: Troca telas hidráulico. ....	44
Figura 13: Toca telas a esquerda e sua imagem térmica a direita. ....	44
Figura 14: Esquerda: Fan coil com sua admissão de ar externa. Direita: Admissão de ar interna.....	49
Figura 15: Instrução de trabalho que inclui verificação de perfil de operação do sistema de ar comprimido da NT. ....	55
Figura 16: Princípio de funcionamento do sistema de secagem por tambor perfurado a esquerda e estrutura interna do equipamento à direita, Trützschler - Fleissner.....	56
Figura 17: Compressor Centac da Ingersoll Rand à esquerda e painel seu de controle à direita. ....	58

## ÍNDICES DE QUADROS

Quadro 1 - SIN. Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2017-2021 .....	16
Quadro 2: Potência elétrica instalada no Brasil (kW).....	18
Quadro 3: Comparativo de perdas em tubulações antes e depois de instalação do isolamento térmico. .....	41
Quadro 4: Perdas no cilindro do troca telas.....	45
Quadro 5: Perdas no bloco do troca telas.....	46
Quadro 6: Comparativo de custos entre os dois cenários. ....	52
Quadro 7: Comparativo de custos entre os dois cenários. ....	53
Quadro 8: Características elétricas dos compressores atuais da NT.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PIB: Produto Interno Bruto

TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo

CNP: Conselho Nacional do Petróleo

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

BEN: Balanço Energético Nacional

CC: Corrente Contínua

PP: Polipropileno

NT: NãoTecido

VSD: Variable Speed Drive (acionamento de velocidade variável)

IT: Instrução de Trabalho

GWh: Giga watt hora

SIN: Sistema Interligado Nacional

FIESP: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

PEE - Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição

NT – Área Fabril da planta estudada

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual está cada vez mais dependente de energia. O crescimento populacional aliado à mudança no estilo de vida da população ocorridos nas últimas décadas vem aumentando o consumo e com isso trazendo problemas aos setores responsáveis pelo abastecimento. Não obstante o crescimento da demanda, a utilização inadequada dos energéticos agrava o problema dado que parte da energia gerada é desperdiçada nos processos finais.

Quando se fala em energia no Brasil, a energia elétrica, possui grande destaque, porém, outras fontes energéticas como gás natural e carvão são de utilizações bastante específica. Dessa forma, na busca pela redução e racionalização do consumo da energia elétrica, o governo vem promovendo iniciativas de combate ao desperdício e utilização racional da energia elétrica. Programas como o PROCEL (programa nacional de conservação de energia elétrica) visam a conscientização, promoção do uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. As ações do PROCEL contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável. Além disso, programas como a PEE - Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição com base da lei 9.991, de 24 de julho de 2000.

Ainda, com os avanços tecnológicos e o contínuo aumento da complexidade dos equipamentos e processos industriais, a conservação de energia perde o foco a partir do momento em que o processo esteja otimizado à operação e as margens de lucro garantam a manutenção da produção.

Baseado nisso, fica claro que a área industrial é um “terreno ainda bastante fértil” para o desenvolvimento de técnicas e melhorias que visem o melhor aproveitamento de energia. Uma melhor utilização da energia na indústria influencia diretamente na competitividade da empresa a partir do momento em que reduz os custos de produção e pode melhorar o ambiente de trabalho influenciando na produtividade. Além disso, podem ser citados os benefícios ao meio ambiente como redução da

emissão de gases e redução de impactos ambientais provenientes de instalações de novas plantas geradoras.

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um estudo de eficiência energética em uma planta industrial de forma a identificar sistemas e processos que não estejam otimizados em relação ao consumo de energia elétrica ou gás natural.

A eficiência energética, neste trabalho, reflete o processo e um conjunto de ações em busca da redução do consumo de energia necessário para a execução de um processo produtivo em mesma qualidade, quantidade e tempo.

A planta em questão é uma indústria secundária de transformação de plástico composta por 3 pavilhões industriais onde a grande maioria dos processos são térmicos, de movimentação ou relacionados à ar comprimido, sendo esses os principais aspectos de abordagem nas análises.

O estudo será desenvolvido analisando-se inicialmente os aspectos teóricos relacionados aos sistemas de forma a esclarecer os conceitos físicos vinculados aos processos, sendo em seguida identificados pontos onde ocorrem perdas críticas e então propostas soluções técnicas, que não influenciem no processo produtivo, para tais deficiências. Serão analisados também aspectos econômicos das soluções propostas como averiguações de benefício/custo e tempo de retorno de investimento sempre que existir possibilidade para tal.

## **1.3 RESULTADOS ESPERADOS**

Com esse trabalho espera-se contribuir com uma análise de perdas voltada para a área industrial tanto na empresa onde o estudo será desenvolvido quanto para empresas que possuam processos produtivos ou sistemas semelhantes de forma racionalizar a utilização de energia.

São esperadas contribuições de minimização de perdas térmicas para o ambiente com a análise de viabilidade de implantação de sistemas de isolamento térmico, adequação e otimização da utilização de motores elétricos, por vezes em operação

sem necessidade, análise de propostas de identificação de perdas e modificações nos sistemas de ar comprimido.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O Capítulo 2 apresenta alguns conceitos básicos sobre o que é energia, como é obtida e utilizada, abordando mais especificamente conceitos sobre energia elétrica e gás natural dado que esses são os principais energéticos utilizados na planta em análise. O capítulo apresenta, ainda, uma breve descrição histórica da evolução dos energéticos no Brasil com foco na energia elétrica. Apresentando por fim, dados atuais de consumo de energia elétrica e seu perfil de utilização por setor.

O terceiro capítulo expõe as definições sobre eficiência energética. São demonstrados os conceitos teóricos sobre sistemas térmicos, motores elétricos e sistemas de ar comprimido sendo revistos aspectos como quantização de perdas e medidas de contenção.

O quarto capítulo apresenta uma breve descrição da planta industrial e dos processos produtivos onde o estudo é desenvolvido. São apresentados os casos críticos, com identificação in loco, em relação à perdas, quantização aproximada das perdas em cada caso sendo então propostas melhorias, sendo feita sempre que possível uma análise econômica das mesmas.

O quinto capítulo trata das conclusões obtidas com o desenvolvimento do estudo, chamando atenção para os tipos de perdas mais comuns, medidas de contenção mais simples e melhores investimentos de curto prazo.

## 2.ENERGIA

Segundo Hewitt (2002), a energia é a capacidade de realizar trabalho. Entretanto, o conceito de energia não é de fácil entendimento dado que se trata de uma grandeza abstrata sendo mais fácil observá-la quando está sendo transferida ou transformada. Encontrada sob várias formas como térmica, química, elétrica, mecânica, luminosa, dentre outras, a energia consumida diariamente pela humanidade é em sua grande maioria elétrica ou química.

A energia elétrica é a mais popular graças a sua versatilidade, é facilmente convertida em outras energias como mecânica, luminosa ou térmica, além de ser de fácil transporte e possuir baixas perdas em conversões. Sua obtenção provém principalmente das conversões de energia potencial obtida em quedas d'água como em usinas hidrelétricas ou então por processos térmicos que na verdade utilizam-se de energia química como no caso de termelétricas a carvão ou biomassa. Todos os processos de geração de energia elétrica consistem em alternadores acoplados à turbinas acionadas por energia mecânica. Em resumo, a seguir, mostrase as situações mais comuns na geração de energia elétrica:

- Energia Termelétrica:
  - Energia Química ou Nuclear - Energia Térmica - Energia Mecânica - Energia Elétrica
- Energia Hidrelétrica:
  - Energia Potencial - Energia Mecânica - Energia Elétrica

Existem outras formas de obtenção de energia elétrica como energia fotovoltaica baseada na luz do sol ou energia eólica proveniente da força dos ventos, entretanto essas formas de obtenção de energia elétrica são incipientes na constituição da matriz energética atual.

Outra forma bastante popular de energia de utilização direta são as energias químicas. A energia potencial química está contida em substâncias que através de uma reação resulta em outras substâncias mais liberação de energia. Dois exemplos são o carvão que foi o combustível da revolução industrial e o petróleo e seus derivados que hoje em dia são a base energética dos transportes.

Embora a lenha, ainda hoje, apresente consumo considerável em várias aplicações, na indústria nacional a energia elétrica e o gás natural são os principais energéticos utilizados. A primeira em decorrência do grande potencial hídrico do país o que torna esse tipo de energia abundante além de que quase todos os processos industriais podem ser acionados por energia elétrica. O segundo é utilizado quando processos térmicos de alta potência são requeridos visto que a energia elétrica acaba por torna-se economicamente desvantajosa para tal.

A economia atual depende dos recursos energéticos para manter a produção. Em países de industrialização tardia pode-se observar uma relação direta entre o aumento do produto interno bruto e o consumo de energia. No caso de países desenvolvidos, onde as necessidades básicas da população já estão atendidas, o consumo de energéticos tende a se estabilizar, crescendo menos que o PIB daquela nação (Leite, 1997). O Brasil, se tratando de um país em desenvolvimento, vem apresentando crescimento médio da demanda de energia elétrica de 3,7% a.a. sendo que no ano de 2017 (dados do SIN). Desta forma torna-se interessante uma análise da perspectiva de crescimento da matriz energética em 05 anos. O Quadro 1 Apresenta a Projeção do consumo de 2017-2021.

<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>Δ% 2017-2021</b>
	<b>461.348</b>	<b>476.890</b>	<b>493.972</b>	<b>513.164</b>	<b>533.197</b>	<b>3,7%</b>
<i>Projeção por classe de consumo</i>						
Residencial	133.541	138.207	143.158	148.936	155.036	3,8%
Industrial	165.029	170.181	175.957	182.141	188.434	3,4%
Comercial	87.155	90.169	93.619	97.521	101.613	3,9%
Outras classes	75.623	78.333	81.237	84.566	88.115	3,9%

Quadro 1 - SIN. Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2017-2021

Fonte: Estudo de Demanda EPE, 2ª Revisão Quadrimestral das Projeções da demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional 2017-2021

## 2.1 A EVOLUÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL

De acordo com Professor Emérito da USP, José Goldemberg (cito), desde o início da Revolução Industrial, o uso e produção da energia, tornaram-se uma das principais atividades econômica dos países. O consumo total de energia hoje é 200 vezes maior que era a 500 anos.

Até 1915 o Brasil vivia na “era da lenha,” segundo Leite. Nesse período, até a chegada de Dom João VI em 1808, a atividade manufatureira era proibida no Brasil e, segundo levantamentos históricos, em 1816 o Brasil contava com cerca de 3,3 milhões de habitantes dos quais 68,5% eram escravos. A demanda por energia nesse período era irrigária e o consumo de energia, o qual se restringia ao aquecimento de residências e outras poucas finalidades, era plenamente suprido pela lenha, abundante nas terras recém povoadas. Por volta de 1850, o barão de Mauá decide iniciar a industrialização no país produzindo navios à vapor, substituindo a iluminação, que até então era baseada em óleo de peixe, por iluminação à gás e construindo a primeira linha férrea, sendo a “Baronesa” a primeira locomotiva a vapor a operar no Brasil. Nesse período já se iniciava a utilização de carvão mineral como combustível.

No final do século XIX, iniciam-se instalações de geração e consumo de energia elétrica. Em 1883 foi inaugurada a primeira iluminação elétrica da América do Sul. Uma usina a vapor composta por uma caldeira, uma máquina a vapor de 50 cavalos e três dínamos alimentavam 39 lâmpadas. Em 1889, em Juiz de Fora, foi instalada a usina hidrelétrica de Marmelos, foi a primeira usina hidrelétrica da América Latina. O empreendimento foi idealizado por um industrial local (Bernardo Mascarenhas, fonte Wikipédia) para abastecer sua fábrica de tecidos e contava com potência instalada de 200kW.

No início do século XX as importações com carvão e querosene eram responsáveis por 8% e 2% do total de importações do período. Em paralelo à isso, em 1901 foi instalada a hidrelétrica de Parnaíba no rio Tietê com 2.000kW e em 1908 foi concluída a hidrelétrica de Fontes com potência instalada de 12.000kW, logo ampliada para 24.000kW, sendo uma das maiores usinas do mundo na época.

No início do século passado, a geração hidrelétrica se consolidava no Brasil diferenciando-o dos países onde o processo de industrialização se iniciou. Nesses, a base energética era a termoelectricidade baseada em carvão mineral. Entre 1885 e 1905 a potência elétrica instalada no país foi multiplicada por sete a cada decênio. O Quadro 2 mostra a evolução da energia elétrica em kW de origem térmica e hidráulica no início do século passado:

Ano	Térmica	Hidro	Total	% Hidro
1883	52	-	52	-
85	80	-	80	-
90	1.017	250	1.267	20
95	3.843	1.991	5.834	34
1900	5.093	5.283	10.376	51
05	6.676	38.208	44.884	85
10	32.729	124.672	157.401	79
15	51.106	258.692	309.798	84
20	66.072	300.946	367.018	82
25	90.608	416.875	507.483	82
30	148.752	630.050	778.802	81

**Quadro 2: Potência elétrica instalada no Brasil (kW).**

Fonte: Conselho mundial de energia, Comitê Nacional Brasileiro, Estatística brasileira de energia , nº1, 1965.

Com a primeira grande guerra em 1914, as importações de equipamentos industriais ficaram prejudicadas, entretanto isso não impediu o crescimento da indústria nacional que foi de 44% no quinquênio de 1915/20 e 35% no posterior. No mesmo período dava-se a substituição do carvão pelo petróleo no velho mundo enquanto no Brasil ainda não existia exploração desse energético: muito se falava, mas pouco se fazia. Enquanto isso a Light manteve-se responsável pela geração de 40% da energia elétrica do país até 1930 e as importações de gasolina e óleo combustível passavam de 28.000 m<sup>3</sup> para 345.000 m<sup>3</sup> e 80.000 m<sup>3</sup> para 355.000 m<sup>3</sup> respectivamente no período de 1915 a 1930, entretanto não houveram esforços em relação à exploração de petróleo e gás no país. O gráfico a seguir mostra a evolução no consumo dos energéticos no início do século XX em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (TEP)<sup>1</sup>.

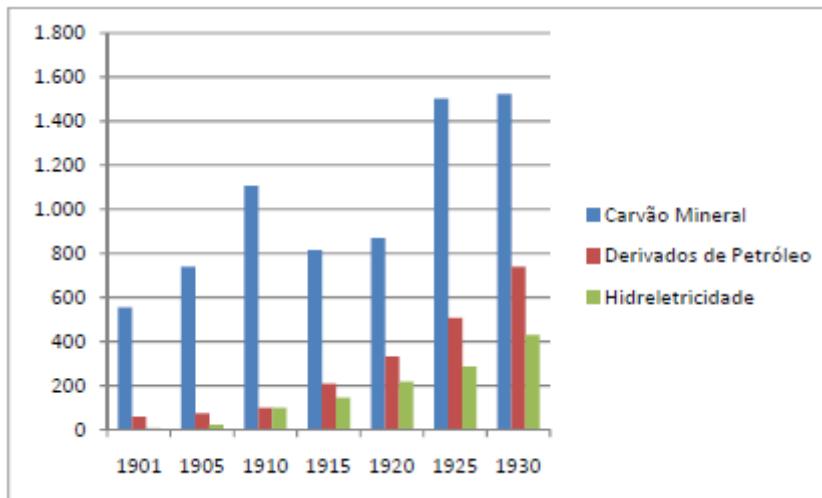


Figura 1: Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 1901 e 1930, exclusive lenha. Wilberg, J., 1974, Consumo Brasileiro de Energia .

No período entre 1930 e 1940 foi aprovado o Código de Águas a criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. Entretanto, embora a demanda continuasse a crescer, o crescimento médio anual da capacidade instalada diminuía, chegando à 1,1% em 1940/45. Essa redução deveu-se principalmente a 3 fatores:

- Mudanças na legislação que a partir de então baseava as tarifas no custo do investimento;
- Longo período de dificuldade de importação, principalmente devido à guerra, dificultando a manutenção e expansão do parque gerador;
- Inflação crônica durante o período de guerra gerando impasses sobre os reajustes tarifários que permaneceriam congelados até 1945.

---

TEP é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru; é convencionada para apresentação do Balanço Energético Nacional Brasileiro – BEN. Essa escolha se dá pelo fato de ser ainda o petróleo o energético mais importante na composição das matrizes energéticas da atualidade, fato consequente e derivado de toda uma dinâmica econômico-política subjacente à cultura mundial do petróleo na atualidade. (fonte: Wikipédia)

As exceções à essa situação foram a Light e a Companhia Paulista de Força e Luz que, por atuarem na região mais desenvolvida do país e por sua competência, conseguiam continuar a expandir seus sistemas. Ainda nesse período, em 1942, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), sendo então iniciadas as primeiras perfurações em busca do óleo.

Existem poucos dados no período de guerra e pós-guerra, entretanto os levantamentos de 1941, 1946 e 1954, mostram que o consumo de energéticos permaneceu estável durante a guerra e no período pós-guerra o consumo de hidroeletricidade aumentou enquanto a utilização do petróleo disparou.

O governo Kubitschek estava focado na eliminação dos “pontos de estrangulamento” na busca pelo desenvolvimento, em particular nos existentes no sistema elétrico nacional. Em meados da década de 50 o sistema elétrico estava em crise sendo mais preocupante a situação na região centro-sul. Em 1957 o presidente aprovou a fundação Central Elétrica de Furnas sem solicitar a autorização do congresso e em 1958 iniciou-se a construção da Hidroelétrica de Furnas que, à época, adicionava um milhão de kW a um sistema de 3 milhões. Em 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia e em 1962, concluídos os estudos para exploração das Sete Quedas no Paraná com resultados de potencial de geração surpreendentes: 10 milhões de kW (Caubet, 1991). A capacidade instalada crescia 8,8% entre 1955/60 e 8,3% entre 1960/65. Ainda, iniciava-se a interligação do sistema sendo a priori padronizada a freqüência de 60Hz e conversão dos sistemas de geração que operavam em 50Hz e devido ao novo período de industrialização, em 1964, o consumo de petróleo igualou-se ao da lenha, tornando-se em 1969 o principal insumo energético.

A Figura 2 apresenta a variação do consumo de alguns energéticos no período de 1941 à 1972.

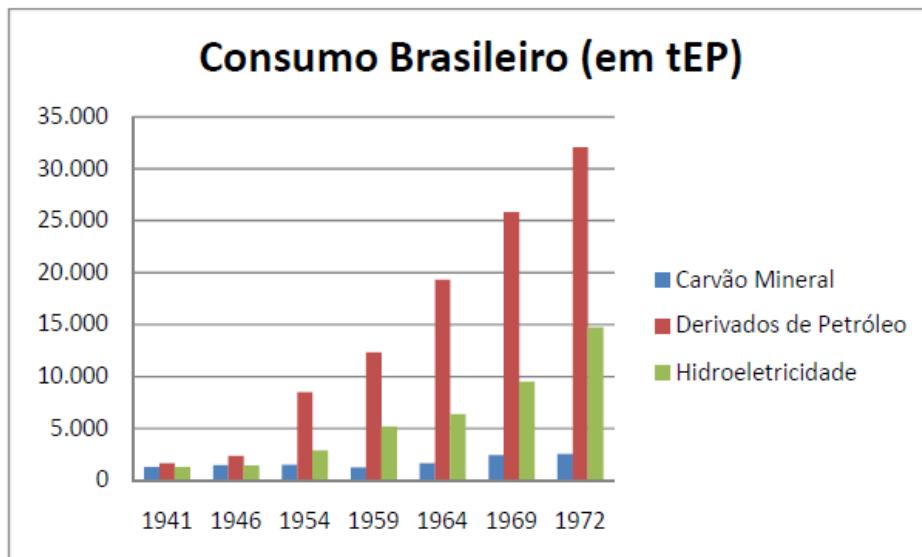


Figura 2: Estimativa do consumo de energia 1941-72.

Fonte: Wilberg, J., 1974, Consumo Brasileiro de Energia .

Em 1971 a primeira usina nuclear brasileira, com potência de 657 MW, Angra I, teve suas obras iniciadas, tendo recebido licença para operação em dezembro de 1984.

Foi fundada a Itaipu Binacional em 1973, sendo em 1975 iniciada a construção da usina de Itaipu, concluída em 1982 com potência instalada de 14 GW. A usina conta com 20 unidades geradoras sendo metade, a parte brasileira, em 60Hz e a outra metade, paraguaia, em 50Hz. Dez anos após sua entrada em operação o Paraguai só absorvia 4,2% da energia total gerada por Itaipu.

O período entre 1973 e 1985 foi marcado por uma queda dramática das tarifas de energia elétrica desestimulando os esforços para sua conservação. Em 1973 a tarifa residencial era a terceira mais alta em comparação a outros 22 países e a industrial era a décima quinta, tornando-se, em 1985, as mais baratas dentre os 23 amostrados.

Com as duas crises do petróleo a grande maioria dos países desenvolveu políticas de redução do desperdício, o Brasil, entretanto, essas medidas já haviam sido tomadas dado que as concessionárias dos sistemas interligados estavam encontrando dificuldades em gerenciar a energia agindo independentementeumas das outras. Em 1983 são introduzidos mecanismos tarifários e incentivos para o uso da energia elétrica aos derivados do petróleo.

O plano cruzado de 1986 foi um golpe duro ao já debilitado sistema elétrico nacional com seu congelamento de tarifas. As concessionárias perdiam ainda mais remuneração e tornava-se cada vez mais difícil a expansão do sistema. No fim da década de 80, um período de privatizações do sistema até então controlado por empresas estatais foi iniciado. Conforme dados da Eletrobras, de 1991, no ano anterior o sistema elétrico atendia 87% das residências sendo 97% o índice de atendimento da região sudeste e 58% da região norte. Em meados da década de 90 vários programas de conservação de energia são lançados enquanto isso a Petrobrás tem sucesso em perfurações no mar.

Nos anos 2000 o Brasil passou a sofrer com o racionamento de energia devido à falta de água nos reservatórios proveniente de uma seca anormal no país. Ainda nesse período o sistema elétrico sofreu profundas modificações no seu quadro gerencial. A Figura 3 apresenta o evolutivo da matriz energética no período de 1974 à 2013.

**Gráfico I.1 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica**  
*Chart I.1 – Installed Capacity Of Electric Energy Generation*

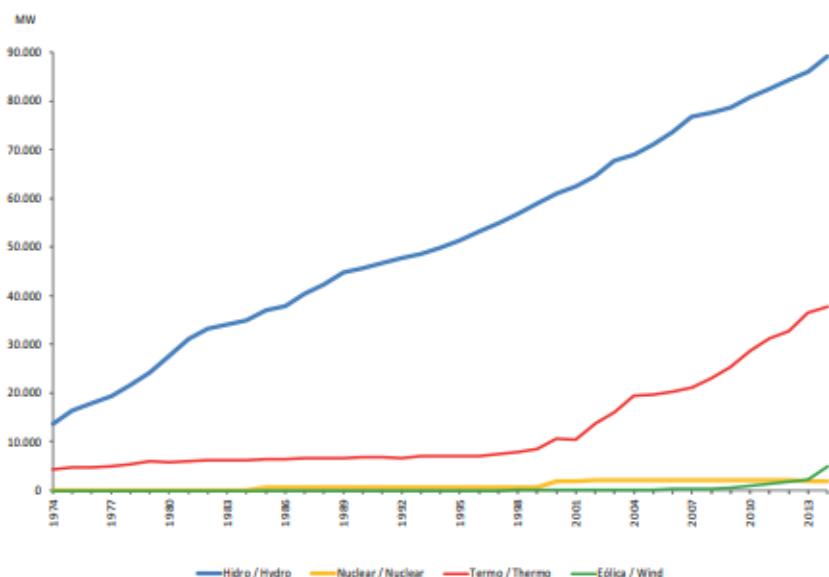


Figura 3: Evolutivo da capacidade instalada 1974-2013.

Fonte: BEN 2015 ano base 2014 pg. 181

## 2.2 O QUADRO ATUAL DA ENERGIA NO BRASIL

Em 2016, conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN), no documento publicado pelo EPE, o Brasil produziu 619.700 GWh sendo 68,1% desse total, gerados por centrais hidráulicas. O gráfico a seguir apresenta a contribuição de cada estrutura de oferta interna de eletricidade em 2016:

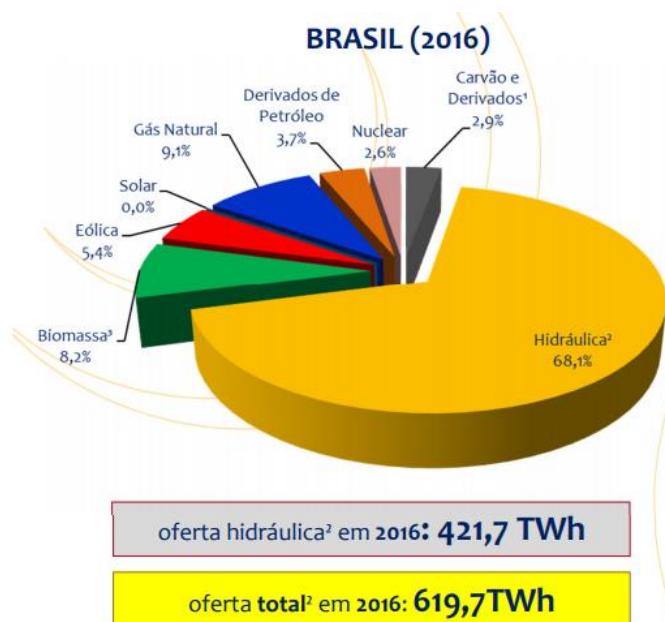


Figura 4: Estrutura da oferta interna de energia elétrica.

Fonte: BEN 2017 ano Base 2016 – Relatório Síntese

Considerando a energia hidráulica mais as importações que também são essencialmente renováveis, a matriz energética brasileira conta com aproximadamente 82% do total proveniente de origem renovável. Em relação ao gás natural, ainda em 2016, o Brasil teve produção recorde de 111,8 milhões de m<sup>3</sup>/dia ocorrida em dezembro. O consumo de gás natural queimado, chegou a 96,6%.

Em matéria de consumo, no ano de 2016, o setor industrial liderou o ranking respondendo por um consumo de 163.758 GWh. A Figura 5 apresenta o consumo por setor.

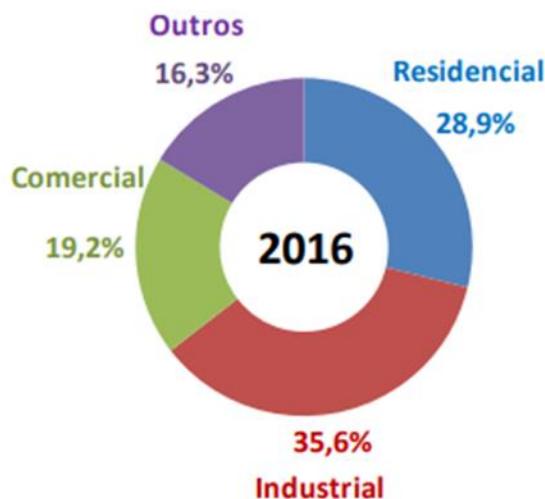


Figura 5: Consumo por setor no ano 2016.

Fonte: EPE, Nota Técnica DEA 001/17- Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026) – Pg.55-58

O Seminário Brasil-Alemanha de Eficiência Energética de Junho-2015 da FIESP (fonte: Departamento de Infraestrutura – Deinfra/ Ruy Botesi), cita oportunidades de Eficiência Energética na Indústria:

- Iluminação / Motores / Bombeamento;
- Otimização de Processos;
- Ar Comprimido;
- Ar Condicionado e Ventilação;
- Refrigeração e Resfriamento;
- Produção e Distribuição de Vapor;
- Aquecimento;

- Automação e Controle;
- Gerenciamento Energético;
- Melhoria da Qualidade da Energia, inclusive Correção do Fator de Potência;
- Redução de Demanda no Horário de Ponta do Consumo do sistema elétrico;
- Sistema de Informação, monitoramento, controle e fiscalização.

### 3.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Christopher Russel (2010), “Iniciativas de eficiência energética são selecionadas pelo seu potencial de reduzir o desperdício, minimizar despesas (...) e incrementar a rentabilidade através da elevada produtividade.” – grifamos. O conceito de eficiência energética ou utilização racional de recursos, principalmente água e energia, é de conhecimento público e diz respeito à utilização de menos energia nos processos obtendo-se o mesmo resultado, em outras palavras consome-se menos energia para se fornecer o mesmo valor energético.

O uso otimizado da energia disponível faz-se necessário nos tempos atuais devido a limitação de recursos naturais e a crescente demanda energética além de contribuir para a redução de emissão de gases nocivos ao meio ambiente e impactos ambientais e promover redução de custos, devido ao menor consumo nos processos, à empresa que opta por um perfil de consumo racional.

Pode-se definir como ação de eficiência energética toda e qualquer ato que promova a redução do consumo de energia, aumentando-se o nível de serviço prestado, é notório que seu aumento reduz consumo de energia, por sua vez a energia produzida. Estas ações concentram-se normalmente no estagio de operação e manutenção de sistemas e podem promover em conjunto com a redução de consumo dos insumos (energia, água, gás, etc.), além de importantes reduções do custo operacional (menos reparo e aumento da eficiência dos equipamentos e sistemas), portanto, tais implementos devem resultar em aumentos de lucratividade associadas a melhoria da qualidade e da confiabilidade dos processos.

No caso de uma planta de transformação de plásticos, a grande maioria dos processos são térmicos, de movimentação ou relacionados à ar comprimido (ar de instrumentação), utilizando-se da realização de diagnóstico preliminar e definição da linha de base de consumo dos processos estudados e implementação das ações escolhidas.

Esses processos serão analisados do ponto de vista teórico neste capítulo de forma a se obter uma quantização aproximada das perdas.

### 3.1 PROCESSOS TÉRMICOS

Processos térmicos são aqueles relacionados a variações de temperatura de componentes de algum processo. Tais processos são reconhecidamente de baixa eficiência devido à dificuldade de restringir a transmissão de energia ao ponto de interesse pelas características intrínsecas dos materiais e graças ao comportamento da energia térmica.

A temperatura é a medida de energia térmica (ou energia interna) de um corpo. A energia térmica está relacionada com a agitação das moléculas. Em fluidos, como um gás, por exemplo, onde as moléculas estão livres, a temperatura em sua grande maioria é proveniente da energia cinética (velocidade) média das moléculas do gás, enquanto em sólidos, onde as moléculas presasumas às outras em forma de uma rede cristalina em metais ou aleatoriamente em materiais amorfos como o vidro, a medida majoritária da temperatura provém da vibração das moléculas (Speyer, 2002).

O calor é a medida da energia transferida entre dois corpos com temperaturas diferentes. A transferência dessa energia é espontânea, respeitando o princípio da entropia que diz que os sistemas tendem a um estado de mais baixa energia, sendo que, desta forma o corpo com maior energia interna cede energia por meio da transferência de calor para o outro corpo, admitindo-se que existe um meio condutor de calor entre os dois corpos (Halliday, 2002).

A transferência de calor entre corpos ocorre de três formas distintas:

Condução: é a transferência de energia pelo contato dos corpos. Em sólidos ocorre pela passagem da vibração das moléculas devido ao contato mecânico entre os corpos e devido à energia transferida por elétrons livres. Em líquidos e gases a energia é transmitida pelas colisões entre as moléculas e difusão do fluido de mais alta temperatura para o de menor temperatura.

b) Convecção: é aplicável a fluidos e consiste na transferência de calor através de sua movimentação. A temperatura de um gás está intrinsecamente ligada à sua densidade. Um gás aquecido é menos denso e, portanto, tende a subir, enquanto um gás com menor temperatura possui densidade maior, fazendo com que este tenda a descer.

c) Radiação: é uma forma de transferência de calor que ocorre pela emissão de radiação eletromagnética. Todo corpo que possua temperatura, ou seja, alguma energia interna emite radiação térmica. A temperatura do corpo influencia na quantidade de radiação bem como no espectro da radiação emitida. A Figura 6 apresenta os três tipos de condução de calor: condução, irradiação e convecção natural<sup>1</sup>

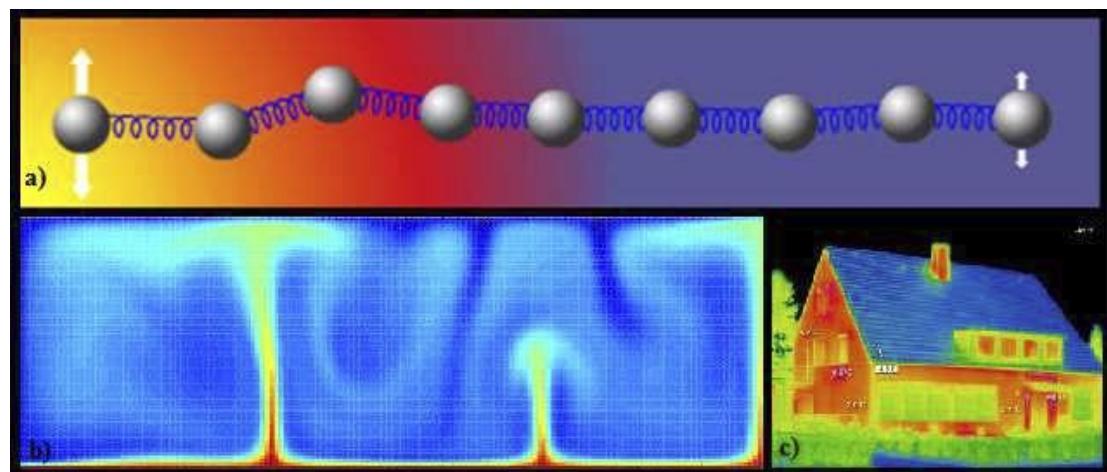


Figura 6: Exemplos de condução de calor: a) Condução de calor em sólidos. b) Imagem térmica da convecção de um gás. c) Imagem térmica da radiação térmica de uma residência.

---

<sup>1</sup> A convecção natural consiste na movimentação de um gás aquecido devido puramente à variação de densidade promovida pelo acréscimo de sua temperatura. A convecção forçada que, além da movimentação natural do gás, contempla uma força externa movimentando o gás não será contemplada nessa análise.

Tendo em vista que a teoria de transferência de calor é bastante complexa, tendo obras específicas dedicadas a cada modo de transferência, a quantização de perdas ou possíveis ganhos caloríficos nos processos será calculada de forma simplificada. A potência perdida por condução e convecção podem ser calculadas por:

$$W = \alpha \cdot S \cdot \Delta T = [W]$$

Onde  $\alpha$  é o coeficiente de condução ou convecção.

Abaixo os coeficientes de condução térmica para o ar e aço.

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \alpha_{cond}^{aco} = 52,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

O coeficiente de convecção é um valor calculado considerando a forma do objeto, sua orientação, fluido envolvente dentre outros dados. Como nesse trabalho serão analisados tubulações e blocos, os coeficientes de convecção são admitidos como:

1) Para tubulações horizontais ou verticais de diâmetro “d”:

$$\alpha_{conv} = 1,31 \left( \frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

2) Placa horizontal com troca de calor para baixo:

$$\alpha_{conv} = 1,31 (\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

3) Placa horizontal com troca de calor para cima:

$$\alpha_{conv} = 2,49 (\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

4) Placa vertical:

$$\alpha_{conv} = 1,77(\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

A potência perdida por radiação, por sua vez é calculada como:

$$W = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{superfície}}{100} \right)^{1/4} - \left( \frac{T_{ambiente}}{100} \right)^{1/4} \right] = [W]$$

Onde,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann multiplicada por  $10^8$ ,  $S$  é a superfície aquecida,  $F_s$  é o fator de superfície e  $F_e$  é o fator de emissividade. Para fins práticos, no caso de um corpo irradiando para o ambiente,  $F_A$  é a unidade e o fator de emissividade depende do material radiante.

### 3.2 MOTORES ELÉTRICOS

Processos de movimentação compreendem todos os tipos de acionamento mecânico utilizados na indústria. Para essa finalidade, a utilização de motores elétricos em processos industriais é quase que unânime sendo descartada apenas em sistemas de segurança, onde existe a necessidade de independência da rede elétrica (susceptível a falhas) como no caso de bombas de incêndio.

Os três tipos de motores elétricos mais populares são os motores de indução, de corrente contínua e síncronos. Abaixo, segue uma análise das características, aplicações e outros componentes necessários à utilização de cada um dos tipos de motores elétricos.

- Motores de Indução

O motor de indução de gaiola de esquilo é o tipo de motor elétrico mais utilizado na indústria, aplicado em potências de frações de CV até altas potências. É um tipo de motor simples, barato e bastante robusto, entretanto dependendo da potência requer a utilização de componentes adicionais. Motores de indução de baixa capacidade podem ser acionados diretamente (partida direta), com o aumento da potência requerem partida estrela-triângulo ou mesmo inversores de frequência.

A grande desvantagem dos motores de indução é a variação da rotação frente à exigência de conjugado do eixo, tornando-o aparentemente desvantajoso onde esse controle é requerido. Porém, a utilização de um inversor de frequência resolve o problema da variação de rotação e também da partida tornando o economicamente atrativo mesmo implicando no custo adicional de um inversor.

- Motores de corrente contínua

Motores CC tornam-se uma boa opção onde alta potência e um controle rigoroso de velocidade são requeridos.

Apesar de mais caros devido à maior complexidade mecânica, tornam-se economicamente vantajosos com elevada potência, uma vez que o hardware adicional requerido é bastante mais simples e barato que um inversor de frequência. O controle de velocidade é feito controlando-se a corrente do enrolamento de campo, que se encontra em um estator de polos salientes.

A utilização de um motor de indução, nesses casos, implicaria na necessidade de um inversor de alta potência, o que compromete a economia da aplicação.

- Motores Síncronos

Esse é um tipo de motor dificilmente encontrado em aplicações industriais. São extensivamente utilizados como geradores, entretanto como motores são melhor adaptados em menores rotações e maiores potências. Motores síncronos passam a se tornar interessantes se a relação HP/RPM for maior que 1 (Beaty, 1998).

Sendo constituído geralmente de um enrolamento de campo CC no rotor e enrolamentos de corrente alternada no estator. Consistem em um motor sincronizado com a rede elétrica. Desse sincronismo implica o fato de que, sendo a frequência da rede elétrica constante, não existe variação da rotação independente do conjugado requerido. Outra desvantagem desse tipo de motor em aplicações industriais é a partida. Partindo como motor de indução, requer baixa carga em seu eixo, o que pode ser inviável em várias aplicações.

Dada a imensa quantidade de motores encontrados em plantas industriais, duas abordagens simples podem gerar resultados bastante relevantes sem a necessidade da análise de cada caso em particular. São elas:

- 1) Análise utilização inadequada: Dada a complexidade dos processos, quando existem alterações em variáveis do processo, rotinas de produção ou operação das máquinas devido a necessidades de produção, algumas rotinas secundárias que não interferem no processo acabam esquecidas. Em outras palavras, por exemplo, se a utilização de um motor é necessária na fabricação do produto A, porém sua não influencia na fabricação do produto B, existe a possibilidade de que esse motor não seja desligado na transição da produção de A para B. Além disso, existem casos de não conformidades nos processos que exigem o dispêndio de energia para obtenção do resultado esperado.
- 2) Análise de substituição de motores: Motores antigos, com menor rendimento, ou motores superdimensionados são os principais fatores de comprometimento da eficiência na utilização de energia elétrica.

O menor rendimento de motores antigos pode ser explicado por limitações tecnológicas da época de fabricação enquanto o superdimensionamento de motores é, em geral, proveniente de inconsistências de projeto, fazendo com que seja escolhido um motor de potência superior à necessária de forma a se garantir o desempenho do sistema. O departamento de energia dos Estados Unidos avalia que 44% dos motores industriais operam com 40% ou menos de fator de carga (Hurst, 2007).

Embora o superdimensionamento de componentes seja comum em outras áreas da engenharia, utilizado para aumentar a segurança do sistema, por exemplo, para o caso particular de motores elétricos essa medida afeta o rendimento do processo uma vez que tais máquinas são projetadas para operação próxima de seu valor nominal de potência. Para motores de indução - a grande maioria na indústria - o motor pode ser considerado superdimensionado se seu fator de carga for menor que 75% de seu valor nominal. Isso ocorre porque esse tipo de motor tem seu maior rendimento com um fator de carga de 80-90% (Bortoni, 2007). Dessa forma, torna-se interessante a análise da possibilidade da substituição desses motores por motores de maior rendimento ou corretamente dimensionados à carga. A troca é considerada viável se:

$$C_{motor\ novo} < V_{residual\ motor\ antigo} + C_{kWh} \cdot P_{economizada} \cdot t$$

Ou seja, a troca será vantajosa se o custo do motor novo for menor que o valor de mercado residual do motor antigo mais o ganho de potência devido ao aumento de eficiência multiplicado pelo tempo. No caso da empresa analisada nesse trabalho, o tempo de retorno de investimento limite é de dois anos, dessa forma, se a equação acima for satisfeita utilizando o tempo limite a substituição é viável. Comprovada a viabilidade do investimento o tempo de retorno real é calculado com a mesma equação, porém já conhecido o custo do motor novo, conforme:

$$t_{retorno} = \frac{C_{motor\ novo} - V_{residual\ motor\ antigo}}{C_{kWh} \cdot P_{economizada}}$$

### 3.3 AR COMPRIMIDO

Ar comprimido, ou ar de instrumentação é utilizado na indústria para acionamento mecânico de algumas aplicações particulares.

Em geral não é utilizado em aplicações de utilização permanente, mas sim para pequenos acionamentos mecânicos onde esforço moderado é requerido. Tem a vantagem de tornar acionamentos lineares, que seriam mais complexos e dispendiosos se elétricos, mais simples e mais rápidos caso hidráulicos<sup>2</sup> ou elétricos. O ar comprimido é obtido a partir de compressores mecânicos acionados eletricamente. A utilização de ar comprimido requer a instalação de uma rede complexa de distribuição tal qual a elétrica e equipamentos que garantam a qualidade do ar de instrumentação.

A figura a seguir apresenta um sistema de geração de ar comprimido genérico.

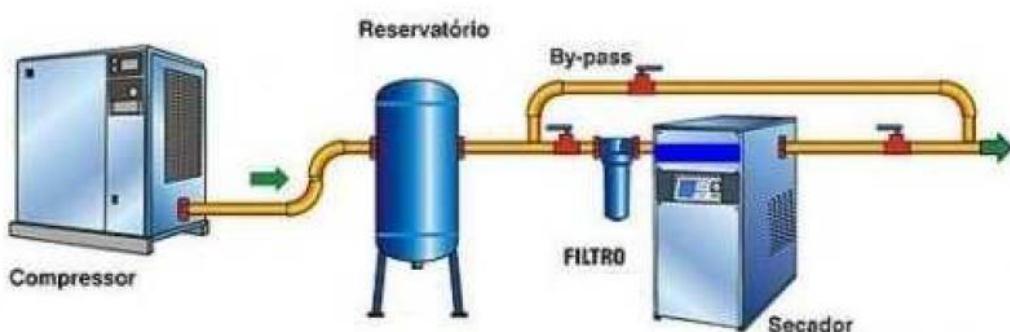


Figura 7: Sistema de geração de ar comprimido.

Secadores de ar têm a função de remover a umidade do ar ambiente para que esta não chegue aos equipamentos de acionamento pneumático comprometendo a lubrificação ou sendo condensada nos reguladores de pressão próximos aos equipamentos. A filtragem, em geral, é feita antes e depois da secagem. Os reservatórios, ou pulmões de ar, têm a finalidade de reduzir oscilações de pressão durante o consumo como um *buffer* além de remover a umidade residual do ar comprimido. Um reservatório corretamente dimensionado possui de 6 a 10 vezes a capacidade do compressor por segundo.

Próximo aos pontos de consumo, são instalados reguladores de pressão para que a pressão seja adequada aos equipamentos e junto a estes, quando necessário, uma unidade de condicionamento (lubrifil) com função de lubrificação para as partes mecânicas dos componentes.

No caso da indústria analisada neste trabalho, são utilizados compressores de parafuso para o fornecimento de ar comprimido, com pressão em torno de 7 bar, para acionamentos e instrumentação e compressores de lóbulos (compressores ROOTS, aplicados em situações com pequenas elevações de pressão, porém, com alto volume de fornecimento de ar) e compressores centrífugos utilizados para movimentação de grandes volumes de gás em baixa pressão utilizados nos processos.

A Figura 8 apresenta o perfil de consumo de energia elétrica de um sistema de ar comprimido segundo o manual de eficiência energética de 2016 da SMC

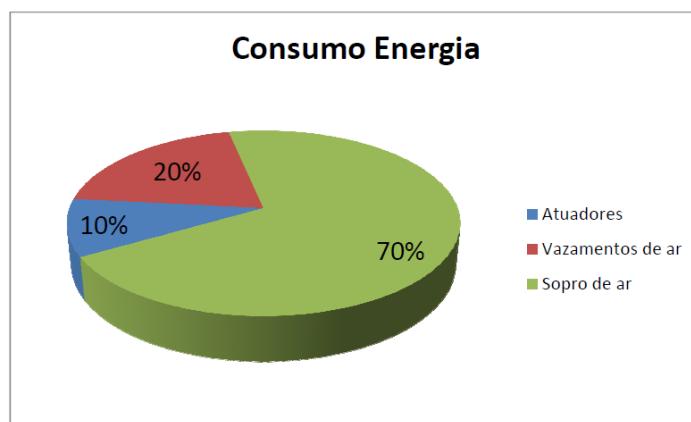


Figura 8: Consumo de energia em sistemas de ar comprimido.

---

2 Acionamentos hidráulicos são preferenciais onde é exigido grande esforço, entretanto não é um acionamento rápido.

A partir desse perfil pode-se perceber que o maior consumo, e consequentemente a maior oportunidade de economia, está na geração do ar comprimido, entretanto essa também é a parte cujas alterações são mais dispendiosas. Os atuadores oferecem pouca oportunidade devido ao seu alto custo e baixo potencial de economia.

Na questão devazamentos, segundo fabricantes de equipamentos pneumáticos, 5% de perdas por vazamentos é considerado um número bom para uma rede bem dimensionada. Dessa forma, pelo gráfico da figura 8, restam 15% nos quais pode-se atuar com medidas simples e baratas como rotinas de remoção de vazamentos.

#### **4. ANÁLISE DE PERDAS**

Neste capítulo serão analisadas as oportunidades levantadas em um projeto de OEE – Oportunidade de Eficiência Energética para economia de energia na unidade de Planta de NãoTecidos no interior de São Paulo. Para tal, um conhecimento básico do produto e do processo produtivo se faz necessário sendo apresentado a seguir para que então sejam analisados os casos específicos relativos à eficiência energética.

##### **4.1 O NÃOOTECIDO E SEU PROCESSO PRODUTIVO**

De acordo com a ABINT (Associação de Brasileira das indústrias de NãoTecidos) e norma NBR-13370, nãootecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direccionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes.

Para melhor entendimento do que é um nãootecido, 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°. Urdume - Conjunto de fios dispostos na direção longitudinal (comprimento) do tecido. Trama - Conjunto de fios dispostos na direção transversal (largura) do tecido.

O NãoTecido é um produto da combinação de processos produtivos de papel, tecido e plástico, com custo de produção inferior. Enquanto o tecido é tramado em uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de fibras de forma que os fios formam 90º entre si, o NãoTecido consiste basicamente em um conjunto grande de filamentos plásticos dispostos aleatoriamente sobre um coletor (esteira) e soldados uns sobre os outros por processos que podem ser mecânicos, térmicos ou químicos.

A figura nove apresenta a estrutura microscópica dos materiais:

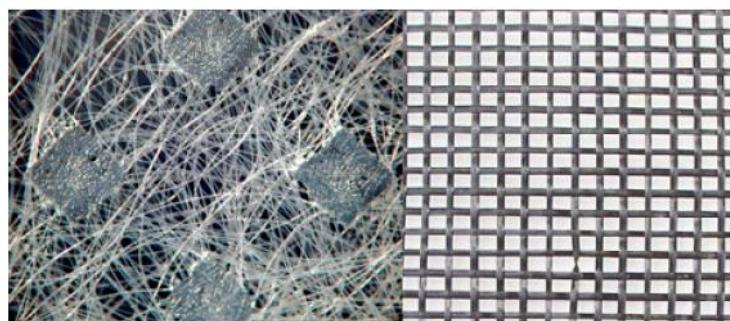


Figura 9: Esquerda: não tecido. Direita: tecido.

A Planta em questão, produz até então dois tipos de não tecido: o spunbonded e o meltblown. Embora os processos produtivos difiram entre sim em alguns pontos, a explanação da fabricação do spunbonded, que é uma variedade de NãoTecido produzido com gramaturas de 10-200 g/m<sup>2</sup> com filamentos plásticos de 15 a 35 µm tipicamente, deixa claro os equipamentos e processos envolvidos (a principal diferença no processo produtivo do meltblow é que, além do ar frio, é utilizado ar quente na fiação e que tal material pode ou não ser calandrado).

O processo começa com o transporte do polímero do silo de armazenamento até a unidade dosadora, seguindo para ser extrusado junto com tonalizantes. Depois de derretido e extrusado, o material é filtrado e passa por uma bomba de engrenagem para ser pressurizado seguindo para as matrizes que são responsáveis pela transformação do fluido em filamentos. Na saída da matriz as impurezas e monômeros ainda presentes na composição do plástico são removidos na forma de gás e os filamentos são solidificados por ar refrigerado

sendo então alongados nas cabines de fiação, que definem o diâmetro do filamento em função da velocidade do ar de processo. A seguir os filamentos são lançados aleatoriamente sobre um coletor (esteira). A aleatoriedade da disposição dos filamentos obtida a partir da turbulência formada pelo ar responsável pelo estiramento dos filamentos na porção inferior da cabine.

A esteira conta com vácuo abaixo da cabine garantido que os filamentos fiquem juntos a ela até passarem por rolos pressores (preenchidos por fluido aquecido), sendo estes responsáveis pela solda dos filamentos. A manta então segue para a calandra onde é aplicada a textura ao material por aquecimento e pressão sendo depois arrefecida. Na sequência são aplicadas soluções que garantem algumas características à manta e posterior secagem feita pelo sistema de tambor perfurado. De forma a garantir a qualidade do produto, após seca a manta passa por um sistema inspeção de falhas sendo então enrolada em rolos genéricos.

Os rolos são então desenrolados e cortados conforme o pedido do cliente.

A Figura 10 mostra um esquema genérico do processo produtivo do “spunbonded”.

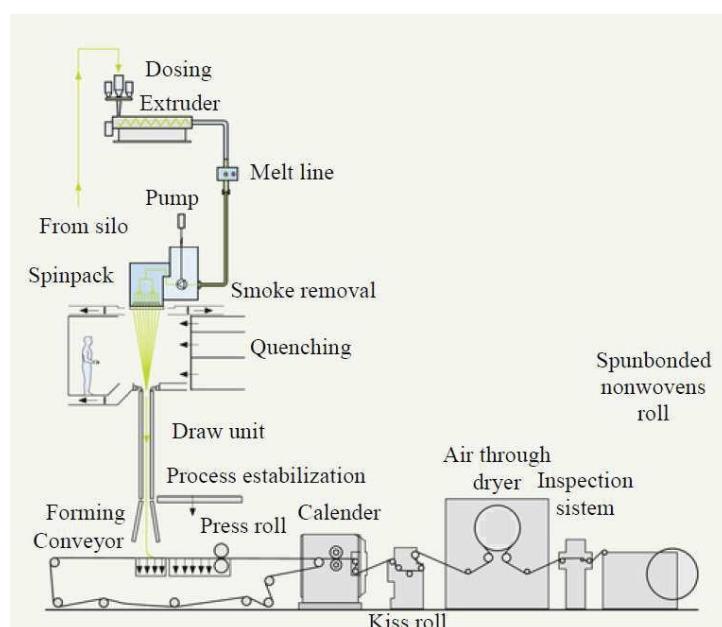


Figura 10: Processo produtivo do spunbonded.

#### **4.1.1 PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA NA INDUSTRIA TÊXTIL**

São poucas as industriais de NãoTecido no Brasil, com poucas informações sobre o consumo de energia, desta forma, para efeito de estudo, adotaremos o perfil de consumo da Industria têxtil, que foi responsável por 0,4% de todo o consumo de energia no Brasil no ano de 2014.

- Principais consumos:
  - Eletricidade - 602 103 TEP; (7.001,2 MWh)
  - Gás natural - 248 103 TEP;
  - Lenha - 69 103 TEP;
  - GLP - 40 103 TEP.
- Principais usos finais:
  - Força motriz (motores elétricos, bombas, ventiladores,etc.);
  - Geração vapor (caldeiras);
  - Refrigeração.

Podemos classificar o perfil do consumo de energia na Indústria Têxtil de seguinte forma:

- Fiação - Energia elétrica:
  - Força motriz – 9%
  - Refrigeração – 8,7%
- Tecelagem/Malharia - Energia elétrica:
  - Força motriz – 9,1%
  - Iluminação – 8,9%
- Confecção - Energia elétrica:
  - Força motriz – 9,1%
  - Iluminação – 10%
- Beneficiamento:
  - Secadores – 28,5%
  - Força motriz – 9,1%
  - Vapor – 28,5%

A Industria Têxtil tem um consumo de 7 GW/ano, hoje, com um numero de projetos em Eficiência energética na ordem de 12 com custo estimado inferior a R\$107,00/MWh e 2,5 MVA de oportunidade de energia retirada na ponta.

#### 4.2 PERDAS TÉRMICAS EM TUBULAÇÃO DE AR

Conforme apresentado anteriormente, a fabricação de meltblow utiliza ar quente em seu processo. O ar é fornecido por um compressor de lóbulos acionado por um motor de 200 HP localizado em uma sala adjacente. O ar sai do compressor à uma temperatura média de 75°C e chega ao processo por uma tubulação de cerca de 32m de comprimento e 280mm de diâmetro para então ser aquecido até a temperatura necessária no processo por um aquecedor elétrico de duto.

Uma vez que o processo de compressão de ar intrinsecamente já fornece um aumento de temperatura para o ar, é de interesse que essa energia não seja perdida até o sistema aquecimento próximo à utilização, pois a energia térmica obtida na compressão do ar reverte-se em economia para o aquecedor de duto. Para tal é necessário que o ar chegue do compressor ao aquecedor com a menor perda térmica possível.

Para esse aproveitamento de energia toda a tubulação foi isolada termicamente com lã de rocha e revestimento de alumínio liso no início do presente ano. O Quadro 3 apresenta as perdas térmicas antes e depois da instalação do isolamento.

Variável	Unidade	Sem isolamento térmico	Com isolamento térmico	Diferença	Redução
T ambiente	°C	23,00	23,00	-	-
T tubulação	°C	70,00	29,00	41,00	59%
Delta T	°C	47,00	6,00	41,00	87%
Metros	m	32,00	32,00	-	-
Diâmetro	m	0,28	0,28	-	-
Contato metálico X	m	0,00	0,00	-	-
Contato metálico Y	m	0,00	0,00	-	-
Multiplicador	#	0,00	0,00	-	-
Contato metálico total	m²	0,00	0,00	-	-
Condutividade do material	W/(m². °C)	0,00	0,00	-	-
Superfície de contato	m²	56,30	56,30	-	-
Perdas Condução Ar	W	79,38	10,13	69,25	87%
Perdas Condução Aço	W	0,00	0,00	-	-
Alpha Convecção	W/(m². °C)	4,72	2,82	1,90	40%
Perdas Convecção	W	12476,48	952,05	11524,43	92%
Stefan-Boltzman	#	5,67	5,67	-	-
Fs	#	1,00	1,00	-	-
Fe	#	0,23	0,05	0,18	78%
Perdas Radiação	W	16,31	0,66	15,65	96%
Potência Total Perdida	KW	12,57	0,96	11,61	92%
Tempo de utilização	h	586,00	586,00	-	-
Energia perdida por mês	KWh	7367,29	564,22	6803,07	92%
Custo do KWh	R\$	0,24	0,24	-	-
<b>Custo</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 1.768,15</b>	<b>R\$ 135,41</b>	<b>R\$ 1.632,74</b>	<b>92%</b>

**Quadro 3** Comparativo de perdas em tubulações antes e depois de instalação do isolamento térmico.

Memória de cálculo, conforme Cap. 03 – Conceitos teóricos pag. 29 e 30, os resultados foram apresentados no Quadro 3:

**Sem isolamento**

**Alpha Convecção (W/(m<sup>2</sup>x<sup>0</sup>C))**

$$\alpha_{con} = 1.31 \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.31 \cdot \left( \frac{47}{0.28} \right)^{\frac{1}{4}} = 4,72 \text{ W/(m}^2\text{x}^0\text{C)}$$

**Perdas Condução ar (W)**

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 56,3 \cdot 47 = 79,38 \text{ W}$$

**Perdas por Convecção (W)**

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 4,72 \cdot 56,3 \cdot 47 = 12.476,48 \text{ W}$$

**Perdas por Radiação (W)**

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 56,3 \cdot 30,1 \cdot 100 \cdot 0,23 \left[ \left( \frac{70}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{23}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$= 16,31 \text{ w}$$

**Com isolamento**

**Alpha Convecção (W/(m<sup>2</sup>x<sup>0</sup>C))**

$$\alpha_{con} = 1.31 \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.31 \cdot \left( \frac{6}{0.28} \right)^{\frac{1}{4}} = 2,82 \text{ W/(m}^2\text{x}^0\text{C)}$$

**Perdas Condução ar (W)**

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 56,3 \cdot 6 = 10,13 \text{ W}$$

**Perdas por Convecção (W)**

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 2,82 \cdot 56,3 \cdot 6 = 952,05$$

**Perdas por Radiação (W)**

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 56,3 \cdot 30,1 \cdot 100 \cdot 0,05 \left[ \left( \frac{29}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{23}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$= 0,66 \text{ w}$$

Conforme o Quadro 3, a economia é de R\$ 1.632,41 por mês e, considerando-se que o investimento foi de R\$ 5.800,00, tem-se um tempo de retorno de pouco mais de 3 meses e meio.

A Figura 11 apresenta o compressor, a tubulação em questão com e sem isolamentos.



Figura 11: a) Compressor Aerzen; b) Tubulação sem isolamento; c) Instalação dos isolamentos; d) Tubulação isolada.

#### 4.3 PERDAS TÉRMICAS EM TROCA TELAS

O processo de filtragem do polímero que ocorre após a extrusão é feito por equipamentos chamados troca telas. São equipamentos semi-automáticos que consistem em um bloco de aço aquecido com dois cilindros de acionamento hidráulico. Cada cilindro possui uma abertura transversal onde é instalada a tela filtro, assim, quando um dos filtros satura, o cilindro com um filtro novo é inserido e o cilindro com o filtro saturado é retirado do sistema para que a tela filtro seja substituída. A Figura 12 apresenta um equipamento bastante próximo dos encontrados nas fábricas.

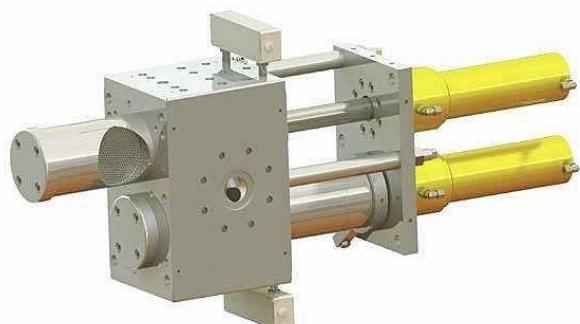


Figura 12: Troca telas hidráulico.

Os troca telas estão presentes sempre após as extrusora e, dessa forma, encontra-se um deles em cada cabeça de extrusão de todas as linhas de produção. Para o fim de análise das perdas serão analisados os troca telas em duas linhas A e B por serem idênticos e em grande número, cinco na linha A e três na linha B.

Por trabalhar após a extrusão, onde a matéria prima já está aquecida, os troca telas são aquecidos por conjuntos resistivos, trabalhando a temperaturas bastante elevadas. Apesar de operarem próximos às extrusoras<sup>3</sup> em uma das regiões mais quentes da fábrica, o que diminui o gradiente térmico, tais equipamentos não possuem qualquer tipo de isolamento térmico além de fixados diretamente sobre placas de aço na estrutura da máquina.

Na imagem térmica do bloco principal da Figura 13, obtida a partir de um termógrafo Flir ThermaCAM B2, pode-se ver que a temperatura máxima chega à 274°C em alguns pontos do bloco.



Figura 13: Toca telas a esquerda e sua imagem térmica a direita.

---

<sup>3</sup> As extrusoras não possuem isolamento térmico por questões de projeto uma vez que tais isolamentos dificultariam o processo de controle da temperatura.

O bloco apresenta 450mm x 400mm de base por 550mm de altura e dois cilindros de 200mm de diâmetro e 400mm de comprimento. Os quadros a seguir apresentam os cálculos aproximados das perdas térmicas devido à falta de isolamento para o cilindro que fica externo ao bloco e o bloco respectivamente.

Variável	Unidade	Cilindro
T ambiente	°C	40,00
T tubulação	°C	270,00
Delta T	°C	230,00
Metros	M	0,40
Diâmetro	M	0,20
Condutividade do material	W/(m².°C)	52,90
Superfície	m²	0,50
Perdas Condução Ar	W	3,47
Alpha Convecção	W/(m².°C)	7,63
Perdas Convecção	W	881,95
Stefan-Boltzman	#	5,67
Fs	#	1,00
Fe	#	0,74
Perdas Radiação	W	1,03
Potência Total Perdida	KW	0,89
Tempo total (5% DT)	H	684,00
Energia total perdida por cilindro	KWh	606,33
Custo do KWh	R\$	R\$ 0,24
Número de cilindros	#	2,00
<b>Custo</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 291,04</b>

Quadro 4: Perdas no cilindro do troca telas.

Memória de cálculo, conforme Cap. 03 – Conceitos teóricos pag. 29 e 30, os resultados foram apresentados no Quadro 4:

#### Alpha Convecção (W/(m²x°C))

$$\alpha_{con} = 1.31 \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,31 \cdot \left( \frac{230}{0,20} \right)^{\frac{1}{4}} = 7,63 \text{ W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)}$$

#### Perdas Condução ar (W)

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 0,5 \cdot 230 = 3,47 \text{ W}$$

### Perdas por Convecção (W)

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 7,63 \cdot 0,5 \cdot 230 = 881,95 \text{ W}$$

### Perdas por Radiação (W)

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \left[ \left( \frac{270}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{40}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right] = 1,03 \text{ W}$$

Variável	Unidade	Superfície inferior	Superfície superior	Superfície lateral menor	Superfície lateral maior
T ambiente	°C	40,00	40,00	40,00	40,00
T Placa	°C	270,00	270,00	270,00	270,00
Delta T	°C	230,00	230,00	230,00	230,00
Dimensão X	M	0,45	0,45	0,40	0,45
Dimensão Y	M	0,40	0,40	0,55	0,55
Multiplicador	#	1,00	1,00	2,00	2,00
Superfície	m²	0,18	0,18	0,44	0,50
Condutividade do material	W/(m².°C)	52,90	0,03	0,03	0,03
Perdas Condução	W	2190,06	1,24	3,04	3,42
Alpha Convecção	W/(m².°C)	0,00	9,70	6,89	6,89
Perdas Convecção	W	0,00	401,45	697,57	784,76
Stefan-Boltzman	#	5,67	5,67	5,67	5,67
Fs	#	0,00	1,00	1,00	1,00
Fe	#	0,74	0,74	0,74	0,74
Perdas Radiação	W	0,00	0,37	0,90	1,01
Potência Total Perdida	KW	2,19	0,40	0,70	0,79
Tempo total (5% DT)	H	684,00	684,00	684,00	684,00
Energia total perdida	KWh	1498,00	275,69	479,83	539,81
Custo do KWh	R\$	R\$ 0,24	R\$ 0,24	R\$ 0,24	R\$ 0,24
Gasto mensal com perdas por superfície	R\$	R\$ 359,52	R\$ 66,17	R\$ 115,16	R\$ 129,55

Quadro 5: Perdas no bloco do troca telas.

Memória de cálculo, conforme Cap. 03 – Conceitos teóricos pag. 29 e 30, os resultados foram apresentados no Quadro 5:

**Superfície superior****Alpha Convecção (W/(m<sup>2</sup>x<sup>0</sup>C))**

$$\alpha_{con} = 2,49(\Delta t)^{\frac{1}{4}} = 2,49 \cdot 3,894 = 9,70 \text{ W/(m}^2\text{x}^0\text{C)}$$

**Perdas Condução ar (W)**

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 0,18 \cdot 230 = 1,24 \text{ W}$$

**Perdas por Convecção (W)**

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 9,70 \cdot 0,18 \cdot 230 = 401,45 \text{ W}$$

**Perdas por Radiação (W)**

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 0,18 \cdot 1,0,74 \left[ \left( \frac{270}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{40}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$= 0,37 \text{ W}$$

**Lateral maior****Perdas Condução ar (W)**

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 0,50 \cdot 230 = 3,42 \text{ W}$$

**Alpha Convecção (W/(m<sup>2</sup>x<sup>0</sup>C))**

$$\alpha_{con} = 1,77(\Delta t)^{\frac{1}{4}} = 1,77 \cdot 3,894 = 6,89 \text{ W/(m}^2\text{x}^0\text{C)}$$

**Perdas por Convecção (W)**

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 6,89 \cdot 0,50 \cdot 230 = 784,75 \text{ W}$$

**Perdas por Radiação (W)**

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 0,50 \cdot 1,0,74 \left[ \left( \frac{270}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{40}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right] = 1,01 \text{ W}$$

**Lateral menor****Alpha Convecção (W/(m<sup>2</sup>x<sup>0</sup>C))**

$$\alpha_{con} = 1,77(\Delta t)^{\frac{1}{4}} = 1,77 \cdot 3,894 = 6,98 \text{ W/(m}^2\text{x}^0\text{C)}$$

**Perdas Condução ar (W)**

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 0,03 \cdot 0,44 \cdot 230 = 3,04 \text{ W}$$

**Perdas por Convecção (W)**

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 6,89 \cdot 0,44 \cdot 230 = 697,57 \text{ W}$$

**Perdas por Radiação (W)**

$$w = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[ \left( \frac{T_{sup}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$W = 5,67 \cdot 10^8 \cdot 0,44 \cdot 1,0,74 \left[ \left( \frac{29}{100} \right)^{\frac{1}{4}} - \left( \frac{23}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right]$$

$$= 0,90 \text{ W}$$

**Superfície inferior****Perdas Condução aço (W)**

$$\alpha_{cond}^{aco} = 52,9$$

$$w = \alpha \cdot s \cdot \Delta t = 52,9 \cdot 0,18 \cdot 230 = 2190,06 \text{ W}$$

Dessa forma gasta-se por mês aproximadamente R\$ 961,00 com perdas térmicas em cada um dos 8 troca telas das linhas A e B. Utilizando-se o isolamento térmico no topo, laterais maiores (as menores possuem partes móveis) e entre o bloco e a estrutura da máquina com uma eficiência global considerada de 23% e com valor estimado de R\$ 2020,00, as perdas se reduzem à aproximadamente R\$ 740,00 mensais. Dessa forma são economizados R\$ 221,00 por mês tendo o investimento, portanto, um tempo de retorno de pouco mais de 10 meses.

Considerando os 6 equipamentos que são de uso contínuo, a redução é de R\$ 1.326,00 mensais. A economia é ainda maior quando considerados os outros dois equipamentos que não são de uso contínuo.

#### **4.4 PERDAS TÉRMICAS EM REFRIGERAÇÃO DE AR**

Conforme discutido na seção 4.1 a resfriamento (quenching) e consequente solidificação dos filamentos, além do estiramento dos filamentos ocorrem por meio ar refrigerado. A vazão necessária do ar é obtida por meio de ventiladores e a temperatura do ar para o processo é atingida por meio da troca térmica água/ar por trocadores de calor tipo fan coil alimentados com água gelada fornecida por chillers. Da mesma forma que na seção 4.2, a energia despendida pelo processo será tão menor quanto menor for a temperatura inicial do ar. Todas as linhas possuem duas admissões de ar e um sistema automatizado que monitora qual das duas admissões é energeticamente mais econômica para o processo, entretanto na linha C tal sistema está inoperante há algum tempo.

O sistema de admissão de ar da Linha C possui um ponto interno ao prédio e outro externo, conforme Figura 14, sendo sensível que o ar externo é bastante mais frio que o interno dados os processos térmicos dentro da edificação. Dessa forma fica evidente que a admissão externa é a escolha mais adequada. Porém quando foram desenvolvidos estudos relacionados à alterações do sistema de refrigeração das linhas da NãoTecidos (NT<sup>4</sup>) foi constatado que a admissão de ar corrente do fan coil era aquela interna ao prédio.



Figura 14: Esquerda: Fan coil com sua admissão de ar externa.  
Direita: Admissão de ar interna.

Para fim de cálculos, medições diurnas apresentaram diferença entre a temperatura interna e externa ao pavilhão igual 6 °C. A vazão nominal do equipamento é de 28450 CFM (pés cúbicos por minuto) ou 13,43 m<sup>3</sup>/s, entretanto o equipamento é utilizado com cerca de metade da capacidade nominal durante o processo, apresentando uma vazão média de 6,71 m<sup>3</sup>/s. Além disso, as variáveis físicas envolvidas são a densidade do ar que pode ser considerada 1,225 kg/m<sup>3</sup> além de seu calor específico de 0,24 cal/g.°C (1004,64 J/kg.°C)

$$P = 1,225 \cdot 6,71 \cdot 1004,64 \cdot 6 = 49,55 \text{ kW}$$

O que, multiplicado pelo número médio de horas operacionais e o valor do kWh, resulta em:

$$U = 33.890,38 \text{ kWh}$$

Ou seja, tem-se uma redução de custo mensal devido a perdas de aproximadamente R\$ 8.134,00 (considerando-se 0,24 R\$/kWh) unicamente alterando-se o ponto de admissão de ar. Ainda, as medições de temperatura ocorreram durante o dia, enquanto a temperatura externa é maior, no caso de operação noturna a economia é ainda maior dada a maior diferença de temperaturas.

Por fim é necessário chamar a atenção para o investimento de tal modificação, algumas horas de estudo analisando o equipamento e requisitos do processo.

---

4 NãoTecidos é, além do produto, a designação do pavilhão fabril que abriga as linhas C/D/E

#### **4.5 CONVERSÃO DE AQUECEDORES ELÉTRICOS PARA GÁS NATURAL**

A última oportunidade de melhoria vinculada à processos térmicos consiste na comparação dos atuais aquecedores de duto para ar da Linha C (aquele em série com a tubulação da Seção 4.2) e da linha D que são elétricos para gás natural como os da linha A. Uma vez que este projeto está sendo iniciado e não existem fornecedores nem cotações para implementação da alteração essa análise é restrita à comparação dos energéticos envolvidos.

As cabeças de melt das linhas D e C utilizam ar ambiente que deve ser aquecido a cerca de 270 °C para o processo. Para isso, cada uma das linhas conta com um aquecedor elétrico de duto de 350 kW.

Para análise dos energéticos puramente pode-se analisar o processo por uma hora (até mesmo porque os aquecedores não funcionam tempo integral vista a diversidade de produtos). Considerando uma hora de operação com aquecimento elétrico são consumidos os 350 kWh a um custo de R\$ 0,24 por kWh resultando em R\$ 84,00. O gás natural por sua vez, custa aproximadamente R\$ 92 por MWh, portanto, R\$ 0,092 por kWh. Dessa forma os 350kWh obtidos a partir de gás custam R\$ 32,20, ou seja, uma redução de 61,6%<sup>5</sup>.

Considerando que as linhas produzem “meltblow” por cerca de 40% do tempo, a economia é de R\$ 181.507,20 anualmente em cada uma das linhas produtivas, aproximadamente R\$ 363.000,00 no total.

#### **4.6 MODIFICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO**

De acordo com o perfil de consumo de energia por parte dos sistemas de ar comprimido exposto na seção 3.3, a maior oportunidade de redução da utilização de energia vinculada à sistemas de ar está na geração.

---

<sup>5</sup> Não são levadas em conta eficiências porque nas duas formas de conversão a energia é plenamente utilizada no processo e as perdas também são iguais para ambas.

Iniciativas voltadas à economia na geração de ar comprimido estão estreitamente ligadas à alterações dos equipamentos geradores, assim acabam por tornar-se menos viáveis tais substituições uma vez que os valores envolvidos são maiores.

Entretanto, no caso da presente análise, um fator é determinante na viabilidade da proposta de modernização do sistema de geração de ar comprimido da NT: a expansão da fábrica devido à adição de uma nova linha fabril.

Inicialmente, com a instalação de uma nova linha G junto ao prédio da NT, a idéia consistia na instalação de um sistema de ar comprimido independente para nova linha. Porém a proposta de criação de um sistema central de geração de ar comprimido para a NT é bastante promissora devido à instalação de novos equipamentos (mais eficientes) e redução de custos de manutenção devido à desativação de dois compressores antigos e do período de garantia dos compressores novos.

Atualmente a NT abriga quatro linhas com consumo médio de 312 CFM, sendo 342 CFM o consumo de pico, alimentados por 4 compressores, três GA510 e um GA22. A Nova linha, adicionaria uma demanda média de 39,1 CFM e 220,8 CFM de pico ao sistema atual. Dessa forma dois cenários se estabelecem para o comparativo.

- 1) Sistema descentralizado: manutenção dos compressores da NT e aquisição de dois compressores novos para a Nova Linha G, um GA37 VSD e um GA37+.
- 2) Sistema centralizado: desativação de dois compressores GA510 e aquisição de dois compressores, um GA55 VSD e um GA55+, consolidando a central.

Para verificação da melhor opção são analisados primeiramente os gastos anuais com energia levando-se em conta o perfil de operação dos compressores envolvidos em cada um dos casos. O Quadro 6 apresenta os gastos em cada um dos cenários.

Cenário 1 - Sistema independente		Cenário 2 - Sistema centralizado	
Premissas Energia		Premissas Energia	
C1 = GA 37+		C1 = GA 55+	
% Carga	50%	% Carga	100%
% Alívio	50%	% Alívio	0%
kW carga (com secador)	41,5	kW carga (com secador)	61,9
kW alívio	14,9	kW alívio	21,7
fator de utilização	1%	fator de utilização	100%
kW médio	0,3	kW médio	61,9
C2 = GA 37 VSD		C2 = GA 55 VSD	
% Carga	20%	% Carga	10%
% Alívio	80%	% Alívio	90%
kW carga (com secador)	44,9	kW carga (com secador)	66,4
kW alívio	6,7	kW alívio	6,6
fator de utilização	100%	fator de utilização	100%
kW médio	14,4	kW médio	12,6
C3 = GA 22		C3 = GA 22	
% Carga	0%	% Carga	0%
% Alívio	100%	% Alívio	100%
kW carga (com secador)	25,2	kW carga (com secador)	25,2
kW alívio	10,1	kW alívio	10,1
fator de utilização	0%	fator de utilização	0%
kW médio	0,0	kW médio	0,0
C4 = GA 510		C4 = GA 510	
% Carga	0%	% Carga	0%
% Alívio	100%	% Alívio	100%
kW carga (com secador)	57,7	kW carga (com secador)	57,7
kW alívio	26,0	kW alívio	26,0
fator de utilização	0%	fator de utilização	0%
kW médio	0,0	kW médio	0,0
C5 = GA 510			
% Carga	100%		
% Alívio	0%		
kW carga (com secador)	57,7		
kW alívio	26,0		
fator de utilização	100%		
kW médio	57,7		
C8 = GA 510			
% Carga	85%		
% Alívio	15%		
kW carga (com secador)	57,7		
kW alívio	26,0		
fator de utilização	98%		
kW médio	51,9		
<b>kW médio consolidado</b>	<b>127,3</b>	<b>kW médio consolidado</b>	<b>76,4</b>
<b>Custo monômio marginal médio</b>	<b>240</b>	<b>Custo monômio marginal médio</b>	<b>240</b>
<b>Total anual [R\$]</b>	<b>267.661</b>	<b>Total anual [R\$]</b>	<b>160.548</b>

Quadro 6: Comparativo de custos entre os dois cenários.

Avaliando-se ainda gastos com manutenção e investimentos para implantação e alterações do sistema atual, o comparativo final entre os dois cenários é mostrado no Quadro 7.

<i>DESPESAS ANUAIS</i>	<i>Cen. 1</i>	<i>Cen. 2</i>	<i>Diferença</i>
Energia [kW méd.]	127,3	76,4	-50,9
Energia [R\$]	267.661	160.548	-107.112
Manut. - p+c [R\$]	18.250	12.000	-6.250
Manut. - mo [R\$]	36.200	22.450	-13.750
Total [R\$]	322.111	194.998	-127.112

<i>INVESTIMENTOS ADIC.</i>	<i>Cen. 1</i>	<i>Cen. 2</i>	<i>Diferença</i>
Compra equip. [R\$]	136.000	181.000	45.000
Venda equip. [R\$]		-9.700	-9.700
Tubulação até AQL [R\$]		23.900	23.900
Diferença montagem [R\$]		25.000	25.000
Total [R\$]	136.000	220.200	84.200

Quadro 7: Comparativo de custos entre os dois cenários.

Assim, o tempo de retorno dos R\$ 84.200,00 investidos a mais para o estabelecimento da central de geração de ar comprimido em relação ao sistema descentralizado é de aproximadamente 7,9 meses graças aos R\$ 127.112,00 anuais economizados com manutenção e energia com a central descentralizada.

#### **4.7 REDUÇÃO DE CUSTOS COM AR COMPRIMIDO COM BOAS PRÁTICAS**

Aqui são apresentadas duas situações que contribuem na redução de perdas em sistemas de ar comprimido que não demandam investimentos. Consistem em verificações da situação operacional do sistema de geração e integridade dos painéis pneumáticos próximos aos pontos de consumo.

Os estudos para determinação do comparativo entre os dois cenários da seção 4,6 incluíram medições de consumo de ar por parte das linhas da NT e energia consumida pelos compressores por uma semana.

Conforme já citado, o sistema de geração de ar comprimido da NT com três compressores GA510 e um compressor GA22. Como nenhum desses compressores é VSD<sup>6</sup>, o sistema que gerencia a atividade dos compressores possui um algoritmo responsável pela seleção do compressor em atividade levando em conta a demanda e tempo de operação dos compressores<sup>7</sup>. Entretanto cada um dos compressores possui chaves seletoras manuais que são prioritárias em relação ao algoritmo.

Durante os 10 dias de medição, além dos dados, foi constatado que um dos compressores GA510 esteve ligado em alívio durante toda a medição devido ao controle manual do compressor estar na posição alívio. O Quadro 8 apresenta algumas características dos compressores da NT.

Modelo	Motor [kW]	Capacidade (CFM)	kW/CFM	kW em carga	kW em alívio
GA 510	50	178,0	0,281	57,7	26,0
GA22-125AP	22	106,5	0,207	25,0	10,0

Quadro 8: Características elétricas dos compressores atuais da NT.

Dessa forma, durante os 10 dias de medição houve um gasto desnecessário de R\$ 1.497,60, porém não sabe-se quanto tempo o compressor ficou em alívio sendo então ainda maior o gasto. Tal fato ocorreu devido à falta de verificação rotineira do sistema. Um sistema de verificação diária foi implantado por meio da técnica de manutenção autônoma, ficando o técnico de utilidades responsável verificação diária do sistema.

A Figura 15 apresenta a instrução de trabalho (IT) com a inclusão da rotina de verificação.

Procedimento:	Utilizar protetor auricular e óculos de proteção.							NA																								
Ferramentas necessárias:	NA																															
Localização:			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ponto</th> <th>Componente</th> <th>Método</th> <th>Critério</th> <th>Ação</th> <th>Freqüência</th> <th>Ferramenta</th> <th>Tempo (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Compressores</td> <td>Autônoma</td> <td>Visual</td> <td>Verificar</td> <td>Diária</td> <td>NA</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Compressores</td> <td>Autônoma</td> <td>Visual</td> <td>Verificar</td> <td>Diária</td> <td>NA</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>						Ponto	Componente	Método	Critério	Ação	Freqüência	Ferramenta	Tempo (min)	1	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1	2	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1
Ponto	Componente	Método	Critério	Ação	Freqüência	Ferramenta	Tempo (min)																									
1	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1																									
2	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1																									
Pontos:			<p>Peças para troca e/ou comutadores:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ponto</th> <th>Especificação da peça</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Verificar se os compressores estão ligados (led vermelho e verde ligados). Apenas 2 compressores devem estar ligados, caso 3 estejam ligados a manutenção deve ser notificada.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Verificar se a posição da chave encontra-se em CARGA. Caso a chave encontre-se em outra posição, notificar imediatamente à manutenção.</td> </tr> <tr> <td>Obs.</td> <td>Caso haja a verificação de problemas que não possam ser solucionados durante a Manutenção Autônoma devem ser abertos imediatamente um Crédito de Anomalia.</td> </tr> </tbody> </table>						Ponto	Especificação da peça	1	Verificar se os compressores estão ligados (led vermelho e verde ligados). Apenas 2 compressores devem estar ligados, caso 3 estejam ligados a manutenção deve ser notificada.	2	Verificar se a posição da chave encontra-se em CARGA. Caso a chave encontre-se em outra posição, notificar imediatamente à manutenção.	Obs.	Caso haja a verificação de problemas que não possam ser solucionados durante a Manutenção Autônoma devem ser abertos imediatamente um Crédito de Anomalia.																
Ponto	Especificação da peça																															
1	Verificar se os compressores estão ligados (led vermelho e verde ligados). Apenas 2 compressores devem estar ligados, caso 3 estejam ligados a manutenção deve ser notificada.																															
2	Verificar se a posição da chave encontra-se em CARGA. Caso a chave encontre-se em outra posição, notificar imediatamente à manutenção.																															
Obs.	Caso haja a verificação de problemas que não possam ser solucionados durante a Manutenção Autônoma devem ser abertos imediatamente um Crédito de Anomalia.																															
Atividade:	Elaboração	Elaborador:	Apresentação:	Revisão:	Revisão:																											
Norma:	Melson - Flávio Uziel Junior		Clayton Dias																													
Data:	12/04/2011		04/04/2011																													

Figura 15: Instrução de trabalho que inclui verificação de perfil de operação do sistema de ar comprimido da NT.

Além disso, de forma a reduzir perdas próximas ao consumo, foram implementadas rotinas trimensais de verificação de painéis pneumáticos nas paradas de manutenção preventiva. Tais rotinas consistem em uma busca simples baseada em sinais sonoros (ruído) ou visuais (acúmulo de sujeira) dos vazamentos.

---

6 VSD é a sigla que designa Variable Speed Drive, ou, em tradução literal, acionamento de velocidade variável. Tais compressores têm o motor que aciona o impelidor comandado por inversor de freqüência permitindo um controle na geração de ar comprimido e no consumo energético.

7 Alguns dos compressores são preferencialmente utilizados para forçar o desgaste de seus componentes favorecendo assim a possibilidade de falha em equipamentos específicos enquanto os outros sofrem menos desgaste de forma que a probabilidade de falha simultânea e consequente parada das linhas é minimizada.

#### 4.8 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO VENTILADOR DOS TAMBORES SECADORES

É comum na indústria que motores fiquem ligados sem necessidade. Isso também ocorre na Planta estudada. O primeiro caso apresentado é dos ventiladores dos tambores secadores.

Determinados produtos requerem características especiais como hidrofilia ou resistência à raios UV e para tal é necessária a aplicação de substâncias que garantam à manta tais características. As aplicações são feitas após a manta ser calandrada por equipamentos que embebem a manta com o produto desejado. Entretanto pela aplicação ser líquida é necessário a secagem do material após a aplicação de modo a se evitar o ataque de fungos devido à umidade do produto.

A secagem é feita pelo sistema de tambor perfurado (tambor secador), um processo que consiste em uma câmara fechada com um queimador a gás e um tambor perfurado com um ventilador em uma das extremidades responsável pela sucção do ar aquecido através da manta efetuando a secagem. A Figura 16 apresenta o princípio de funcionamento e a estrutura de um tambor secador Trützschler-Fleissner.

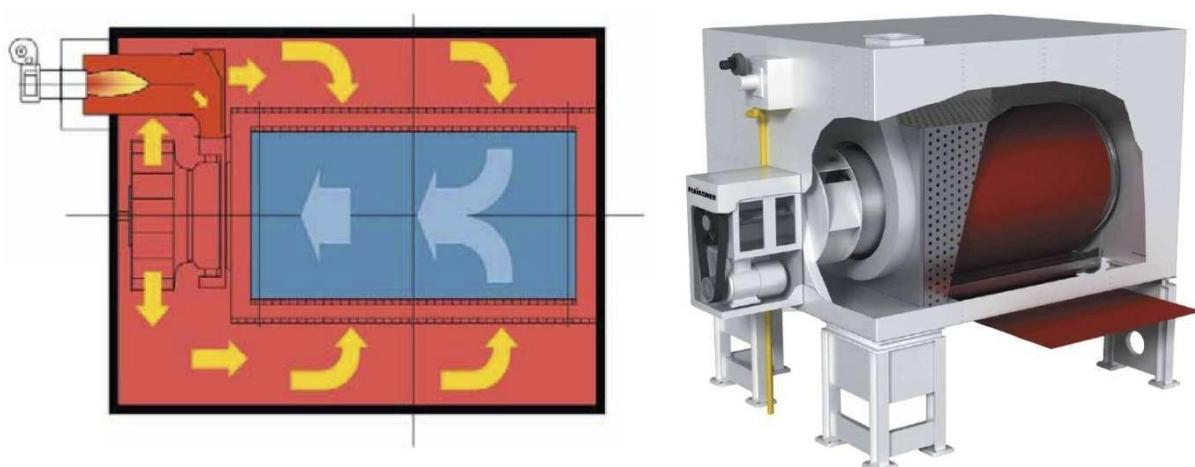


Figura 16: Princípio de funcionamento do sistema de secagem por tambor perfurado a esquerda e estrutura interna do equipamento à direita, Trützschler - Fleissner.

No caso das linhas D e E a produção de material com aplicação restringe-se a cerca de 25% do tempo, E esta é a oportunidade de economia de energia uma vez que o maior consumo de energia elétrica no processo de secagem é proveniente do acionamento do ventilador do tambor, um motor de 30 kW, que fica ligado independente de estar havendo ou não aplicação. Tal fato ocorre porque a aplicação acumula-se dentro do equipamento sujando o produto quando não existe aplicação e o ventilador está desligado.

Considerando que o ventilador poderia ficar desligado por 75% do tempo, a economia mensal chega à R\$ 3.888,00. Entretanto para tal é necessário efetuar limpezas periódicas no equipamento. Atualmente a limpeza é feita a cada 6 meses de operação sendo o custo, devido à necessidade de contratação de uma equipe de limpeza com certificação em trabalhos em ambiente confinado, é de R\$ 2.200,00.

A possibilidade de operação com o ventilador desligado está sendo avaliada, entretanto mesmo efetuando-se a limpeza do equipamento a cada três meses, o que aumentaria a possibilidade de operação sem ventilador, ter-se-ia uma economia de R\$ 11.664,00 e um custo de R\$ 2.200,00 trimestralmente, sendo, portanto, a economia anual considerando as duas linhas produtivas é de R\$ 75.712,00.

#### **4.9 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO COMPRESSORES CENTRIFUGOS**

Nas linhas de produção da Linhas D e E o ar de processo é gerado a partir de compressores centrífugos Centac da Ingersoll Rand. No caso da Linha D, apenas o compressor, acionado por um motor de 450 HP, responde por 40% do consumo de energia elétrica da linha.

Aqui a oportunidade encontra-se no fato de que em paradas longas de máquina com o as de manutenção preventiva, que costumam durar entre 8 e 10 horas, os compressores não são desligados. A Figura 17 apresenta o compressor Centac da Linha D e seu painel de controle durante uma parada de máquina.



Figura 17: Compressor Centac da Ingersoll Rand à esquerda e painel seu de controle à direita.

Com o dado de corrente do painel pode-se calcular a potência que o compressor permanece consumindo mesmo com a linha parada, cerca de 192 kVA. Considerando as paradas de manutenção preventiva mensais na Linha D, em média, 9 horas, tem-se um gasto desnecessário de R\$ 414,72 mensais.

#### 4.10 MOTORES SUPERDIMENSIONADOS

Embora o superdimensionamento de motores seja comum na indústria, essa condição não possui fácil diagnóstico no caso da Planta Estudada. Isso ocorre porque embora sejam produzidos apenas dois tipos de produtos as características e, consequentemente, as variáveis de processo tem grande variação. Dessa forma são necessárias medições durante um intervalo que abranja todos os tipos de produção de modo que um motor específico não seja considerado mal dimensionado por ter sido amostrado em um momento em que ele não é muito exigido. Além disso, a grande maioria dos motores de maior potência e funcionamento contínuo são acionados por inversores de freqüência que já promovem a operação em um ponto mais adequado ao motor por meio do controle da tensão e frequência.

Baseado nisso é notado que um estudo de dimensionamento de motores seria bastante complexo e dispendioso do ponto de vista de equipamentos, dados e mão de obra, além de demorado devido ao número de máquinas a se analisar.

Para fim de exemplificar alguns dimensionamentos inadequados da planta, pode-se citar os casos do compressor centrífugo da Linha E e dos insufladores da Linha F.

1) Compressor da Linha E: Para geração de ar de processo, a linha de produção conta com um compressor Ingersoll Rand Centac acionado por um motor Siemens de 350 HP (261,1 kW) que responde por 30-45% do consumo de energia da linha<sup>8</sup>. Tal compressor está superdimensionado de modo que durante a operação o equipamento é obrigado a liberar parte do ar para atmosfera pela válvula de alívio para não entrar em surge<sup>9</sup> desperdiçando grande parte da energia. Algumas alternativas seriam o redimensionamento do equipamento como um todo (motor + compressor) ou então a substituição do compressor centrífugo por um compressor de lóbulos, que é mais eficiente e necessita menor manutenção, utilizando acionamento de velocidade variável (inversor de frequência). Essa melhoria não é de implementação tão simples dados os valores a serem investimentos.

2) Balanço de massa: A Linha F possui 15 ventiladores de insuflamento instalados no topo do pavilhão responsáveis pelo balanço de massa da edificação. Cada ventilador é acionado por um motor de 7,5CV e medições efetuadas no star-up da linha demonstraram um consumo de 95 kVA por parte desse sistema. Dessa forma esse é um ponto interessante para revisão do dimensionamento dos motores, entretanto devido a características operacionais apenas um dos insufladores fica ligado o tempo todo, reduzindo a atratividade desse caso.

<sup>8</sup> A Linha E é uma linha bastante menor que a C e D, porém o sistema de aquecimento do ar de processo conta com um aquecedor de duto de 350 kW e mais dois aquecedores de óleo térmico de uso intermitente de 45 kW cada, esse é a única razão pela qual o consumo do compressor não é proporcionalmente maior.

<sup>9</sup> Surge é uma condição que ocorre mais comumente em compressores centrífugos consistindo em turbilhonamento do ar gerando vibrações e danificando o impelidor do equipamento causada pela variação brusca da pressão.

#### 4.11 RESUMO DAS AÇÕES E MEDIDAS DE EFIÊNCIA ENERGÉTICA

A Planta, possui na sua política de gestão e competitividade, um plano diretor que estimula e incentiva, práticas de melhorias de custo através do implemento de eficiência energética, a tabela abaixo, representa os valores previstos com o respectivo custo e payback.

ITEM	ATIVIDADE	AÇÃO PROPOSTA	CUSTO	PAYBACK (mês)	<b>PLANO DIRETOR &lt; 12 MESES</b>	<b>PLANO DIRETOR &gt; R\$ 10.000,00 / ANO</b>	OBS.:
					REDUÇÃO PREVISTA EM R\$/MÊS	REDUÇÃO PREVISTA EM R\$/ANO	
1	Tubulações de ar quente	Aplicação Isolamento Térmico	5.800,00	3,5	1.632,00	19.584,00	
2	Equipamento Troca Telas	Aplicação Isolamento Térmico	2.020,00	10	291,00	3.492,00	
3	Coleta de ar Linha C	Alteração do bocal de admissão	-	1	8.134,00	97.608,00	
4	Aquecedores elétricos	Alteração por aquecedor gas natural	10.000,00	9	15.126,00	363.024,00	02 linhas
5	Nova Central de ar comprimido	Decisão Sistema Centralizado	84.000,00	7,9	10.593,00	127.116,00	
6	Compressores em alívio	Boas práticas com inspeção de rotina	-	1	1.498,00	17.976,00	
7	Tambores Secadores	Desligamento do motor quando fora de uso	2.200,00	3	3.888,00	46.656,00	
8	Compressor Cenfríguo	Desligamento do motor quando fora de uso nas paradas mensais de manutenção	-	1	415,00	4.980,00	

As ações propostas, geram baixo investimento e payback com economia de R\$ 680.436,00, respeitando as premissas do plano diretor, desta forma, viabilizando as ações de eficiência Energética.

## 5.CONCLUSÕES

A indústria é o maior consumidor de energia comprando direto dos geradores a preços mais acessíveis, o que acaba gerando menos interesse na racionalização do consumo. Entretanto essa é a área que apresenta não só o maior número de oportunidades como também, as que geram os maiores resultados devido aos elevados consumos envolvidos.

A eficiência energética, neste trabalho, reflete o processo e um conjunto de ações em busca da redução do consumo de energia necessário para a execução de um processo produtivo em mesma qualidade, quantidade e tempo.

Da fundamentação teórica nota-se que, para os fins de uma quantização aproximada de perdas, como as efetuadas nesse trabalho, uma abordagem preciosista e aprofundada é desnecessária, o que pode ser base para desenvolvimento de outro estudo, mesmo porque é ideia foi análise de pontos de desperdício de energia, tendo em vista que cálculos simples são suficientes para identificação destes pontos, onde as perdas são mais críticas. Isso se justifica pelo fato de que as oportunidades na área industrial são muitas, sendo então a parte mais importante do estudo a identificação dessas oportunidades. Além disso, não foi objetivo do presente estudo uma modelagem complexa dos processos até mesmo porque esse tipo de abordagem iria contra o tema desse trabalho sendo um desperdício de energia analisar processos tão a fundo quando são tantas as oportunidades resultado sem necessidade de tal aprofundamento, podendo ser a base para outro estudo.

Das perdas analisadas nesse trabalho, as perdas em processos térmicos são as mais abundantes como já esperado desde o começo por se tratar de uma indústria de transformação.

As perdas térmicas constituem o ponto mais crítico de perda de energia por suas próprias características físicas além de características de projeto (como em diversos pontos onde blocos aquecidos no processo de extrusão utilizam água gelada para solidificar o polímero promovendo vedações, como, por exemplo, em mancais, com a própria matéria prima) que não podem ser alteradas. Entretanto, ainda assim os processos térmicos são aqueles onde existem mais

oportunidades de melhoria, seja pela simples instalação de isolamentos, restringindo o potencial térmico ao seu ponto de interesse, ou em processos não otimizados como no caso da seção 4.4. Além disso a energia elétrica é extremamente versátil podendo ser convertida em quase qualquer tipo de energia, então porque utilizá-la para geração de calor? Para isso o gás é outro energético empregado na planta cuja única forma de energia para a qual pode ser convertido é para térmica, além de ser mais competitivo na geração de potencial térmico.

Ar comprimido resume-se à acionamento elétrico, portanto motores, entretanto trata-se de equipamentos que vem “fechados” do fabricante sendo a alteração do equipamento a única forma de otimização da geração. Em relação ao consumo existem oportunidades de economia atreladas principalmente à manutenção do sistema onde podem ser obtidos resultados relevantes com aplicação rotinas simples.

Em relação à motores elétricos a oportunidade mais favorável é a análise dos processos identificando motores ligados sem necessidade. Em relação ao mal dimensionamento de tais equipamentos, estudos mais completos devem ser desenvolvidos levando-se em conta as características produtivas, senão aqueles que são visivelmente, e, portanto, mal dimensionados.

Por fim, a eficiência energética não é um tema para se analisar em um único estudo, deve ser um conjunto de análises a ser revistos constantemente. O dinamismo e as alterações em equipamentos, layouts, expansões, etc., requer que o processo de eficientização do consumo seja interativo. Deve-se, inicialmente, identificar os pontos onde ocorrem perdas críticas, seguido de uma análise de viabilidade técnica das alterações para então quantizar as perdas de modo a se obter um resultado economicamente atrativo para o melhoramento e finalmente implementando as soluções propostas verificando, então, os resultados das alterações, sendo a análise destes resultados, objeto para novo estudo.

A alta gestão da Planta, possuem ciência da importância de ações voltadas a eficiência energética, tendo, portanto, inúmeras iniciativas voltadas à essa área. No caso da unidade de São Paulo as ações relacionadas à eficiência energética são desenvolvidas pela equipe de manutenção tendo pessoal capacitado e dedicado

exclusivamente a projetos de redução do consumo uma vez que a empresa percebe que esse é um fator determinante na competitividade da empresa.

Vistos os esforços relacionados à racionalização do consumo energético, a unidade de São Paulo vem apresentando uma redução gradativa no uso de energia por kg produzido.

São perceptíveis os resultados das ações de eficientização do consumo que se refletem na tendência decrescente, bem como a profunda influência da sazonalidade no consumo devido aos processos térmicos envolvidos.

## 6 REFERÊNCIAS

- HEWITT, Paul G. Física Conceitual. São Paulo: Bookman, 2002. 686p.
- LEITE, Antonio Dias. A Energia Do Brasil. Rio De Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 528p. CAUBET, Christian G. As Grandes Manobras De Itaipu , São Paulo: Editora Acadêmica, 1991. 385p.
- WILBERG, Julius A. Consumo Brasileiro De Energia . Revista Brasileira E Energia Elétrica, Jan - Mar. 1974.
- EPE, Consumo Nacional De Energia Elétrica Por Classe 1995-2010. Disponível Em: <Http://Www.Epe.Gov.Br>. Acesso Em: 14 Mai. 2011, 23:10:17.
- CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA - Comitê Nacional Brasileiro. Estatística Brasileira De Energia . N. 1, 1965.
- EPE, Balanço Energético Nacional 2015–BEN 2015. Disponível Em: <Https://Ben.Epe.Gov.Br/Downloads/Relatorio\_Final\_BEN\_2015.Pdf>
- SPEYER, Robert F. Thermal Analysis Of Materials, Atlanta: CRC Press, 1994. 298p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos De Física Volume 2 6. Ed. Rio De Janeiro: LTC, 2001. 228p.
- RIES, Walter. Transformadores – Fundamentos Para O Projeto E Clc Ulos. Porto Alegre:EDIPUCRS, 2007. 420p.
- Beaty, Robert F; Kirtley, James L. Jr.. Electric Motor Handbook, New York: Bookman,1998. 400p.
- BORTONI, Edson Da Costa, Motor Oversizing Outlook . In: PROCEEDING OFINTERNACIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES AND SYSTEMS,2007, Seul. P. 1386-1388.
- Jurst, J. Raising The Standard For Electric Motor Efficiency , Intech, Abril 2007, P 30-34.V Boletim De Monitoramento Do Sistema Elétrico - Abril - 2018\_V1.
- DEA 001\_2017 - Projeções Da Demanda De Energia Elétrica 2017-2026\_VF[1]
- Ruy\_Bottesi\_\_Sistemas\_De\_Eficiencia\_Energetica\_Na\_Pequena\_E\_Media\_Industria Slide 16 (Adequado Para Contexto Desta Obra).
- Consulta A ABINT Sobre Classificação, Identificação E Aplicações De Não tecidos Pg. 04 Á 36.
- Consulta Site [www.procelinfo.com.br](http://www.procelinfo.com.br)
- Seminário Brasil-Alemanha De Eficiência Energética – Junho 2015.