

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA/ELETROTÉCNICA

ANDRYWS WILLIAM CORREIA
FABIO SILVA BORA
GUILHERME AUGUSTO MEIRA BATISTA

IDENTIFICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE PROPOSTAS PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA ELÉTRICA EM UM PROCESSO DE REFINO DE CELULOSE.

CURITIBA
2015

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA/ELETROTÉCNICA

ANDRYWS WILLIAM CORREIA
FABIO SILVA BORA
GUILHERME AUGUSTO MEIRA BATISTA

IDENTIFICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE PROPOSTAS PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA ELÉTRICA EM UM PROCESSO DE REFINO DE CELULOSE.

Proposta para Trabalho de Conclusão de Curso do
Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase
Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de
Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Co-Orientador: Prof. M.e. Luiz Amilton Peplow

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas, desde já peço desculpas às pessoas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte dos nossos pensamentos e da nossa gratidão.

Agradecemos aos professor Dr. Marcelo Rodrigues e M.e. Luiz Amilton Peplow pela orientação desta pesquisa e pelos momentos de aprendizado, assim como a Empresa A, que nos forneceu uma grande oportunidade de aprendizado, que posteriormente se tornou uma oportunidade de avanço tecnológico e pessoal para os integrantes dessa pesquisa.

Andryws Willian Correia
Fábio Silva Bora
Guilherme Augusto Meira Batista

Identificação e formulação de propostas para eficiência energética elétrica em um processo de refino de celulose

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 20 de Julho de 2015.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Luiz Amilton Peplow, M.e.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Co-Orientador

BANCA EXAMINADORA

Gilberto Manoel Alves, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lilian Moreira Garcia, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do curso de Engenharia Elétrica

"A mind that is stretched by a new experience can never go back to its old dimensions." (Oliver Wendell Holmes, Jr.)

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original (Oliver Wendell Holmes, Jr.).

RESUMO

Batista, Guilherme A. M. Bora, Fábio S. Correia, Andryws W. Identificação e formulação de propostas para eficiência energética elétrica em um processo de refino de celulose. 2015. Monografia (Engenharia Elétrica ênfase em Eletrotécnica, Programa de Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2015.

O avanço tecnológico e o desenvolvimento de novas matérias primas trouxe a oportunidade para as indústrias aplicarem novas técnicas, tecnologias e matérias-primas em seus processos de produção. Essa pesquisa foi realizada no chão de fábrica de uma empresa, avaliando o processo de sua principal linha produtiva que trabalha com fibras de celulose. Como a pesquisa tem o intuito apenas de desenvolvimento acadêmico o nome da empresa foi mantido em sigilo, sendo denominada doravante de "Empresa A". A fabricação de produtos baseados em fibra de celulose requer que essa seja refinada até atingir grau Schopper Riegler (°SR) ideal para ir à produção. Dado a características encontradas no processo, há um alto consumo energético durante o refino da celulose. Essa pesquisa acadêmica apresenta um estudo deste processo e ao final propõe melhorias que possam ser implementadas no refino de celulose, com o foco voltado eficiência energética do processo, a fim de reduzir os custos com insumos energéticos e trazer os produtos derivados desse processo a um custo ainda mais competitivo no mercado.

Palavras-Chave: Eficiência energética. Refino de celulose. Refinador tricônico.

ABSTRACT

Identification and formulation of proposals for electrical energy efficiency in a pulp refining process.2015. Monografia (Engenharia Elétrica ênfase em Eletrotécnica, Programa de Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2015.

Technological advances and the development of new raw materials brought the opportunity for all the industry apply new techniques, technologies and raw materials in their production processes. This research was carried out on manufactures of a business, evaluating the process of its main production line working with cellulose fibers. As the research aims only to the academic development so the company name was withheld, here it is referred as "Company A". The manufacture products based on cellulose fiber requires that it is refined until a specific Schopper Riegler degree (°SR) be achieved, ideal for going to production. Given the characteristics encountered in the process, there is a high energy consumption during refining of the pulp. This academic research presents a study of this process and at the end proposes improvements that could be implemented in the pulp refining plant, with a focus on energy efficiency of the process in order to reduce the cost of energy inputs and bringing products derived from this process at a cost even more competitive.

Keywords: Energy Efficiency, Cellulose fibers refining, Triconic Fillings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Telha fabricada com fibrocimento.	15
Figura 2 - Unidade de refino de celulose.....	16
Figura 3 - Modelo de tarifação Copel Horo-sazonal Verde	29
Figura 4 - Constituintes da madeira e esquema da celulose do macro para o micro	31
Figura 5 - Processo de fabricação de telhas sem fibra sintética	35
Figura 6 - Processo de fabricação de telhas com uso da fibra sintética.....	35
Figura 7 – Disposição dos Cones do Refinador RTC1000.....	36
Figura 8 – Disposição esquemática dos componentes da planta de refino.....	37
Figura 9 - Processo de refino de celulose fibra longa.	39
Figura 10 - Refinador RTC1000	40
Figura 11 - Protótipo da unidade de refino de celulose	42
Figura 12 - Analisador de energia RE7000TM - EMBRASUL	43
Figura13 - DRT-5500 FREENESS INLINE – BTG Instruments.....	45
Figura 14 - BTG - MEK-2500 RotoForceTM - BTG Instruments.....	46
Figura 15 - Esquema de ligação dos sensores de corrente	47
Figura 16 – Sensores de corrente	48
Figura 17 - Esquema de ligação dos sensores de tensão.....	48
Figura 18 - Planta refinadora 2.....	50
Figura 19 - Instalação do analisador de energia RE7000TM.	51
Figura 20 - Correntes e tensões médias medidas.....	56
Figura 21 - Relatório de faltas de energia	56
Figura 22 - Planta de refino demonstrando instalação do DTR 5500 BTG	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tarifas de energia elétrica industrial dos BRICs – Brasil, Rússia, Índia e China (R\$/MWh).....	27
Tabela 2 - Tarifas de energia elétrica industrial na América Latina (R\$/MWh).....	28
Tabela 3 - Variáveis do processo de refinação	38
Tabela 4 - Dados Técnicos RTC – 1000, unidade refinadora.....	41
Tabela 5 - Dados motor planta de Refino.....	55
Tabela 6 - Consumo Energético com produção diária em Toneladas.....	58
Tabela 7 - Potencia consumida hora a hora dias 16 e 17 de abril - Motor refinador .	62
Tabela 8 - Consumo em ponta e fora ponta.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tarifa de demanda por energia elétrica industrial (R\$/kW).....	24
Gráfico 2 - Tarifa industrial de consumo de energia elétrica – Países Selecionados (R\$/MWh).....	26
Gráfico 3 - Curvas de corrente e tensão (leitura a cada 1 segundo).....	53
Gráfico 4 - Curvas de tensões e correntes (leitura a cada 1 hora).....	54
Gráfico 5 - Tensões medidas médias diárias por fase	57
Gráfico 6 - Correntes medidas médias diárias por fase	57
Gráfico 7 - Consumo x Produção	60
Gráfico 8 - Consumo específico	61
Gráfico 9 - Eletricidade - Produção	63
Gráfico 10 - Eletricidade - Produção (Consumo acima de 18kWh)	65
Gráfico 11 - Grau °SR sem acompanhamento do analisador.....	70
Gráfico 12 - Grau °SR com controle do analisador	71

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1.VISÃO GERAL	13
1.2. TEMA.....	14
1.2.1. Delimitação do tema.....	14
1.3. PROBLEMAE PREMISSAS.....	17
1.4. OBJETIVOS	17
1.4.1.Objetivo geral	17
1.4.2.Objetivos específicos.....	18
1.5. JUSTIFICATIVA	18
1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	21
2.1. EFICIÊNCIAENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	21
2.1.1. Definição	21
2.1.2.Cenário da indústria brasileira diante a programas de eficiência energética....	22
2.1.3. Barreiras à eficiência energética em setores industriais.....	23
2.1.4. O custo da energia e competitividade	24
2.1.3. Modalidade de tarifa da Empresa A	29
2.2. CELULOSE	30
2.2.1. Processo industrial com celulose	31
2.2.2. Celulose de fibra longa.....	33
2.3. FIBROCIMENTO	33
2.4. O PROCESSO DE REFINO DA CELULOSE DE FIBRA LONGA.....	34
2.4.1.Unidade de refino	40
2.5. ANALISADOR DE ENERGIA RE7000/TM	43
2.5.1. Características do medidor RE7000/TM.....	43
2.6. EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE	44
2.6.1.Medidor Inline de Grau Schopper Riegler DRT-5500– BTG Instruments	44
2.6.2.Medidor Inline de Consistência Mek-2500 Rotoforce – BTG Instruments	46

3. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA	47
3.1.1. Medições	47
3.1.2. Etapas da medição.....	49
3.2. VERIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA SITUAÇÃO ATUAL	51
3.3.1. Análise das medições.....	58
3.3.2. Análise do consumo em horário de ponta	66
4. PROPOSTAS DE MELHORIA NO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO.....	67
4.1. OTIMIZAÇÕES COM EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE ..	67
4.1.1. Analisador de Grau Schopper Riegler Inline e Medidor de consistência Inline.	67
4.2. ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA ALIMENTAÇÃO DOS MOTORES DOS REFINADORES	71
4.3. MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS ELÉTRICAS DO PROCESSO DE REFINO DE CELULOSE.	72
4.4. AQUISIÇÃO DOS DADOS DO SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	73
4.5. ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE GRUPO MOTOR GERADOR PARA ALIMENTAÇÃO DA PLANTA DE REFINO EM HORÁRIO DE PONTA.....	74
4.6. ESTUDO PARA AUMENTO DA CAPACIDADE DOS TANQUES DE ESTOCAGEM DE CELULOSE REFINADA.	75
4.7. ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA TUBULAÇÃO DE REFINO.....	75
4.8. ESTUDO DA MATERIA PRIMA: CELULOSE	76
5. CONCLUSÃO	77
5.1. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS.....	80

1.INTRODUÇÃO

1.1.VISÃO GERAL

Com a modernização dos processos industriais e a demanda de mercado por novas soluções, surgiu a necessidade de aplicação de uma nova matéria prima no processo de fabricação de telhas de fibrocimento, a fibra sintética. A Empresa A que busca constantemente novas e melhores soluções para seu processo industrial, incrementou na fabricação de telhas a celulose refinada, que é indispensável na fabricação de telhas com uso de fibra sintética, pois atua como elemento de junção dos elementos que compõe a telha de fibrocimento.

Para inclusão da celulose no processo, é necessário acrescentar um passo durante a produção, o refino da celulose. Esta etapa necessita do uso de um refinador próprio que tem potência elevada frente as demais cargas elétricas da indústria. Atualmente os gastos com energia elétrica são pontos chaves na composição do valor da produção, quando é necessário a utilização de máquinas com alta potência, portanto deve-se analisar, checar e verificar possíveis melhorias em processos com essa característica, buscando torná-lo mais eficiente do ponto de vista elétrico.

No decorrer deste trabalho serão analisados pontos como: o perfil elétrico da tarifa brasileira que trará informações para melhor entendimento da justificativa de elaboração deste trabalho, devido as tarifas impostas pelo governo. Visando reduzir os gastos com energia elétrica é realizado uma análise do perfil elétrico da planta de refino, e posterior verificação das características atuais da planta de refino para elaboração de propostas de melhoria do ponto de vista da eficiência energética elétrica.

1.2. TEMA

O processo de refino da celulose de fibra longa também chamada de celulose papelão, para aplicação em indústrias de telhas a base de cimento não tem seu processo aprimorado ao ponto de ser eficiente no aspecto energético. A Empresa A, optou pelo uso da fibra de celulose e fibra sintética por uma demanda de mercado, com isso foi detectado a necessidade de implementar o uso de um novo elemento, a celulose refinada. O processo de refino requer cuidados devido ao alto consumo elétrico, que traz a empresa encargos com o pagamento de energia elétrica, para reduzir estes encargos é necessário um estudo do ponto de vista da eficiência energética, conciliando as características do processo, variáveis de processo e equipamentos de melhoria.

1.2.1. Delimitação do tema

Em reunião entre integrantes da equipe elaboradora deste TCC, professor orientador e funcionários da Empresa A, foi exposta a alta demanda de energia elétrica consumida pelas quatro unidades refinadoras de celulose da planta industrial que produz, entre outros produtos, telhas fabricadas com fibrocimento, a qual está ilustrada na Figura1.



Figura 1 - Telha fabricada com fibrocimento.

Fonte: Empresa A (2014).

Em comum acordo, a decisão foi elaborar um trabalho embasado na eficiência energética no processo específico de refino de celulose para aplicação em telhas a base de cimento e fibra sintética na indústria Empresa A.

O estudo é voltado a quatro unidades refinadoras da marca ANDRITZ, modelo RTC1000, cada unidade refinadora associada a um motor WEG, modelo HGF de 450cv, conforme Figura 2 que ilustra uma das quatro unidades refinadoras que foram estudadas nesse trabalho.



Figura 2 - Unidade de refino de celulose

Fonte: Autoria própria - Empresa A

Como o processo de refino de celulose de fibra longa é relativamente novo, no Brasil, entende-se como viável e importante aprimorá-lo de forma a torná-lo mais eficiente e reduzir o consumo de energia elétrica, quem em 2015 teve elevação de 36,76% no Paraná. O aprimoramento do processo visa reduzir os custos de produção da indústria. Para esta indústria não há um estudo do ponto de vista energético do processo para balanceamento do processo de fabricação.

1.3. PROBLEMAE PREMISSAS

Como principal problema identificado para o desenvolvimento deste trabalho cita-se:

O elevado consumo de energia elétrica e os custos oriundos do desgaste das peças das quatro unidades refinadoras, devido à falta de monitoramento, do processo de refino da celulose de fibra longa para aplicação em telhas a base de cimento e fibra sintética na Empresa A.

As principais premissas esperadas no desenvolvimento deste trabalho são o aprimoramento do processo e o melhor controle operacional em conjunto com a indústria envolvida, buscando alternativas para aumentar a eficiência energética.

Análise do consumo energético da planta refinadora, e posteriores propostas de implementação de melhorias do ponto de vista elétrico e de processo produtivo. Monitoramento por um analisador de qualidade de energia que fornecerá dados quantitativos para posterior análise.

1.4. OBJETIVOS

Identificam-se os seguintes geral e específicos.

1.4.1. Objetivo geral

Identificar oportunidades de melhorias no processo de refino da celulose de fibra longa para reduzir o consumo de energia elétrica fundamentado em eficiência energética.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudar características do processo;
- Analisar possíveis variáveis que interferem diretamente e/ou indiretamente no consumo energético do processo, por meio da análise das curvas de consumo do processo em estudo;
- Analisar e interpretar os resultados do estudo com vistas a identificar e formular a proposta para obter-se a eficiência energética do processo;
- Apresentar para a indústria soluções para mudanças no processo e verificar suas aplicabilidades.

1.5. JUSTIFICATIVA

Em empresas como Empresa A, as unidades de refino, base para fabricação de telhas, que operam com amianto têm gasto com energia elétrica inferiores aos das unidades que operam com celulose, conforme exposto no capítulo 3, impactando diretamente no custo de produção do produto final, e indiretamente na competitividade.

Apresentar propostas que carregam sugestões de mudanças potenciais que podem ser implementadas nas diferentes fases do processo de refino da indústria, possibilitar maior controle de qualidade baseado no conhecimento e estudo deste processo, bem como encontrar possíveis maneiras de reduzir o consumo de energia elétrica.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa de campo e bibliográfica onde foi possível entender peculiaridades do processo de refino em questão.

Após a etapa de estudo sobre o problema e levantamento de suas características, desenvolveu-se um estudo no formato de pré-diagnóstico energético para identificar possíveis oportunidades de melhoria da eficiência energética.

Para identificar o real comportamento do sistema em termos de consumo de energia elétrica, foi implementado um sistema de medição para coletar os dados referentes aos níveis de corrente, tensão, potências e demais grandezas elétricas que posteriormente foram analisados.

O estudo das curvas dados de grandezas elétricas levantadas pela medição e a geração de gráficos que demonstrem seus comportamentos foi de suma importância para o embasamento para possíveis melhorias do processo de refino de celulose.

A análise de mercado ocorreu de forma a prever novos métodos que são utilizados para monitorar o processo e torná-lo mais controlável.

Na etapa final, são apresentadas as conclusões que trazem as propostas de melhoria do processo de refino da celulose.

1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução: É apresentada uma visão geral de todo o trabalho em formato de uma proposta contendo o tema, delimitação do tema, problemas, objetivos, justificativas e procedimentos.

Capítulo 2: Referencial teórico: Descreve o referencial teórico que possa servir como base para a análise e entendimento dos dados coletados em campo.

Capítulo 3: Análise do estado atual: Levantamento de informações em campo com medições para entendimento das características elétricas atuais do processo de refino de celulose.

Capítulo 4: Apresentação de resultados: São demonstrados os resultados do estudo realizado em campo traçando um paralelo com o referencial teórico apresentado no capítulo 2.

Capítulo 5: Conclusão: São discutidos os resultados obtidos em campo com o embasamento teórico e experiência adquirida ao longo da pesquisa.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados de forma simplificada os diagramas e detalhes da planta de refino e informações que envolvem eficiência energética, celulose, fibrocimento e o processo de refino de celulose fibra longa.

2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

2.1.1. Definição

De acordo com o documento *Manual de eficiência energética na indústria* desenvolvido pela COPEL (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA) o termo eficiência energética na indústria está relacionado com a melhora do aproveitamento dos equipamentos, redução do consumo energético e provável aumento da produtividade, assim gerando redução das despesas com eletricidade e tornando o processo como um todo mais competitivo economicamente (MANUAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA, 2014).

Reflexos da eficiência energética para a indústria se mostram como um melhor aproveitamento das instalações e equipamentos, redução do consumo energético sem afetar segurança ou qualidade do produto e redução de custos com energia elétrica. De forma geral para a sociedade o uso eficiente realoca os investimentos que iriam para construções de novas usinas e redes de eletricidade para outras áreas buscando um custo de geração reduzido.

Em 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que tem como seu principal objetivo promover um consumo Racional da energia elétrica combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética.

O Brasil, como um país em desenvolvimento, tem uma grande demanda por energia, o PROCEL (2009) mostra alguns índices de perdas: Desperdício total anual chega a 40 milhões de kW, ou a US\$ 2,8 bilhões, por ano dos quais os consumidores (indústrias, residências e comércio) desperdiçam cerca de 22 milhões de kW, as concessionárias de energia, por sua vez, com perdas técnicas e problemas na distribuição, são responsáveis pelos 18 milhões de kW restantes.

O relatório setorial, Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria, na análise do setor Papel e Celulose mostra que há novos programas de conservação de energia na indústria que envolvem novas tecnologias, novos meios de gerenciamento e novos hábitos de consumo em vários países, tais programas visam otimizar o perfil de consumo, mas também reduzir os impactos ambientais associados a esse (BAJAY, 2010).

2.1.2.Cenário da indústria brasileira diante a programas de eficiência energética

O Estudo da ELETROBRÁS, *Eficiência energética na indústria*, por meio do PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica), mostra que em países concorrentes do Brasil no setor industrial há o apoio governamental para desenvolver projetos de eficiência energética (Eficiência energética na indústria, 2009). No Brasil o setor industrial é responsável por 40,7% do consumo de energia elétrica no país (BEN, 2008), não sendo o foco de um apoio governamental. Os setores de consumo residencial, comercial e público que juntos equivalem a apenas 15,8% do consumo de energia e tem recebido maior atenção quanto ao tratamento de políticas governamentais, é evidente que estudos relacionados a eficiência do consumo energético voltados a indústria irão beneficiar toda a sociedade como um todo. Em uma análise conduzida pela PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica) de 217 projetos de eficiência energética de vários setores industriais, foi economizado um valor médio de R\$ 79,00/MWh. Quando se considera o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica que foi estimado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) em R\$ 138,00/MWh no plano

Decenal (2007/2016), a diferença entre esses dois valores permite que os recursos sejam voltados para outras áreas.

No Brasil desde as dificuldades enfrentadas nos anos de 2001 e 2002, tempo em que as indústrias buscaram medidas emergenciais de eficiência energética e cortes na produção que visaram a preservação dos negócios, a eficiência energética é associada como “desligamentos” e/ou cortes de produção.

2.1.3. Barreiras à eficiência energética em setores industriais

Um estudo feito pela ELETROBRAS em 2009 através da pesquisa Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil oportunidades de redução de custo e experiência internacional, entrevistou profissionais de vários setores da indústria como: Mineração, Químicos, Alimentos, Papel e celulose, têxtil, automotivo, etc. Esses, profissionais, ajudaram a identificar as dificuldades que cada setor encontra. O resultado que interessa ao estudo desse trabalho é apresentado a seguir.

Indústria Cimento:

- Priorizar a redução da emissão de Gases.
- Aplicar medidas de eficiência energética em equipamentos principais do processo, onde peculiaridades estão em detalhes técnicos de cada equipamento.
- Pouco vantajoso as condições de financiamento e de retorno muito longo devido ao baixo custo da energia utilizada no setor.

Celulose e Papel:

- Empresas tendem ter menor porte e desconhecem tecnologias que poderiam ser aplicadas.
- Sentimento de alto risco tecnológico ao substituir equipamentos de grande porte utilizados.
- Empresas do setor não têm capacidade capital de investimento.
- Investimentos com um alto tempo de retorno e por haver um tempo de retorno muito elevado nem sempre é considerado nas análises de investimento.

2.1.4. O custo da energia e competitividade

Segundo o estudo feito pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN 2011), utilizando dados da ANEEL, mostra que uma fonte utilizada por todos os segmentos da sociedade brasileira, a energia elétrica, apresenta um papel preponderante diante do setor industrial. Quanto a sua disponibilidade a preços módicos é fator que determina a competitividade do país diante de outras nações, afetando diretamente o desempenho da economia. Há ainda uma diferença no custo da energia industrial por localidade tornando a energia mais barata ou mais custosa em diferentes estados.

O estado que apresenta a maior tarifa é o Maranhão – 46,8 R\$/kW e o de menor tarifa é o Distrito federal – 15,9 R\$/kW sendo que a diferença entre os estados este próximo de 66%. A média nacional no ano da pesquisa do sistema FIRJAN apresentou uma média nacional de 27,3 R\$/kW O Gráfico 1 mostra os resultados encontrados por estado junto com a média nacional.

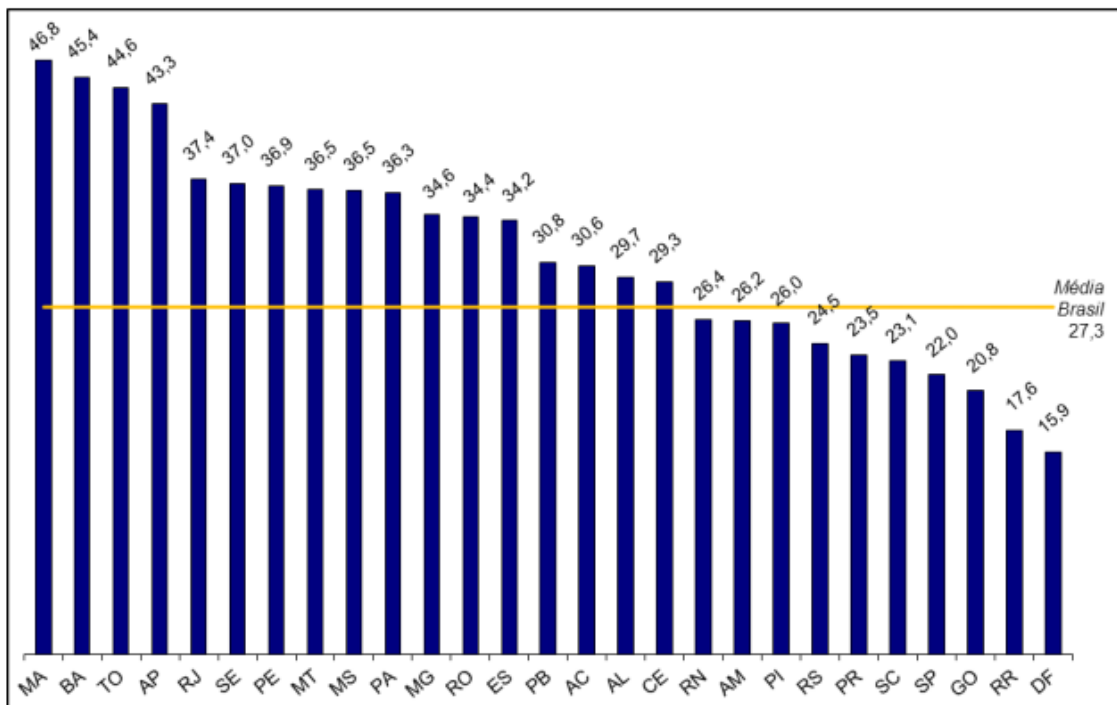


Gráfico 1 - Tarifa de demanda por energia elétrica industrial (R\$/kW)

Fonte Sistema FIRJAN com base em dados da ANEEL 2011

Em uma publicação de um artigo a BBC em 2014 falou sobre como o custo da energia elétrica no Brasil reflete diretamente na produção industrial e como tal custo pode afetar sua competitividade dentro dos pais, sendo um fator determinante para o sucesso de uma indústria, tanto do ponto de vista ambiental como produtivo, a maneira como essa trata seu consumo energético (COSTA, 2014)

Segundo análise específica da pesquisa, já utilizada por esse trabalho, do sistema FIRJAN (Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?) realizada por Marlon Bruno Salazar, economista do Programa de Economia Aplicada, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, (USP/ESALQ), dividindo o consumo energético em setores o setor industrial detém 36,4%, dados de 2008. Somado a esse fato, o custo da energia nacional está entre os mais caros do mundo (MENDONÇA 2012).

Em uma entrevista ao Portal o Setor Elétrico em junho de 2012, o professor Célio Bermann do instituto de eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP), mostrou como o custo da tarifa elétrica subiu mais que a inflação nos últimos 8 anos. Como segue o professor:

Nós temos uma tarifa que, no setor industrial, figura entre uma das mais caras do mundo. Em minha opinião, o fato deve ser encarado como um indutor importante para que as empresas, verificando os custos que possuem com o consumo de eletricidade, procurem torná-lo menor e mais eficiente. O resultado de investimentos mais efetivos em eficiência energética é assegurar à indústria condições mais adequadas de produtividade e competitividade. (LUCIANA MENDONÇA, 2012, Prof. Célio Berman em entrevista: Questão de competitividade ao Portal *O setor Elétrico* Ed. 77 Junho 2012).

O relatório já citado neste trabalho do Sistema FIRJAN (Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?), a partir da análise da tarifa do consumo de energia elétrica industrial de 64 distribuidoras dentro das 27 unidades da

federação, mostra que a tarifa média para a indústria no Brasil é 329 R\$/MWh, apresentando uma variação entre os estados de até 66%, como já citado. Colocando o custo da energia nacional é importante o olhar a tarifa diante dos demais países do mundo, como ilustra o Gráfico2, com um olhar especial aos países concorrentes. (SISTEMA FIRJAN, 2011).

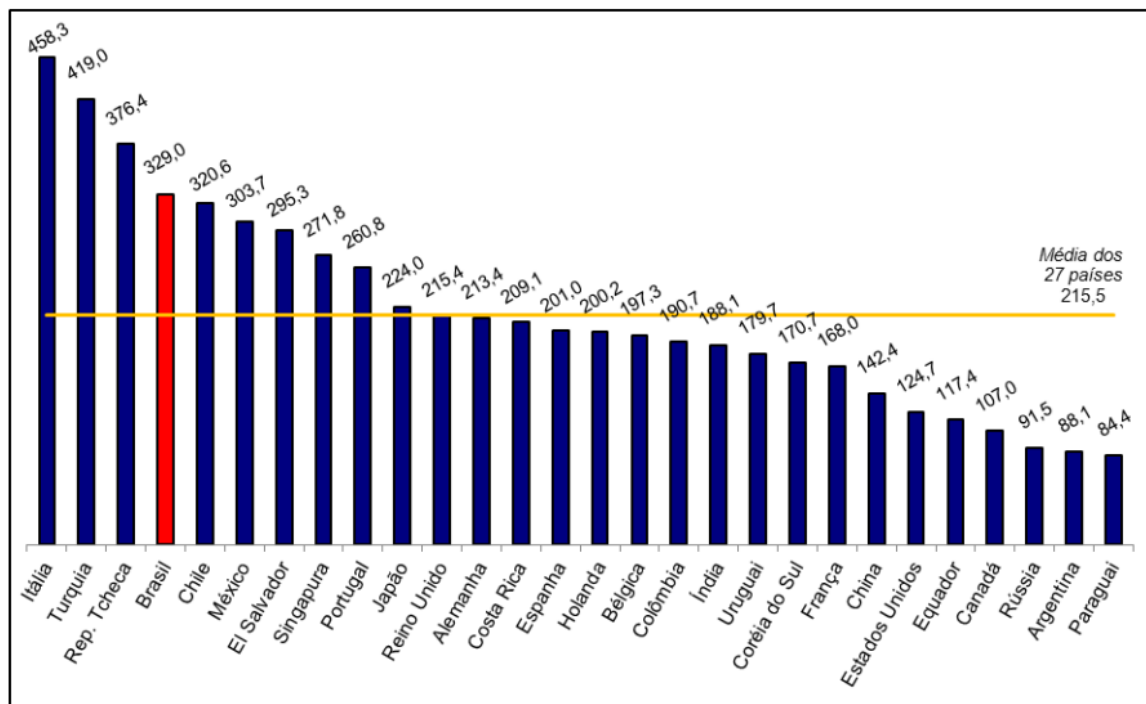


Gráfico 2 - Tarifa industrial de consumo de energia elétrica – Países Seleccionados (R\$/MWh)

Fonte Sistema FIRJAN com base em dados da ANEEL 2011

Nota: Valores convertidos ao Real por Purchasing Power Parity 1.834, R\$/US\$(OCDE, 2011)

Dados da no sitio eletrônico da COPEL mostram que, no estado do Paraná a tarifa vigente em janeiro de 2015, para o grupo de tarifação industrial COPEL convencional, tem a tarifação de 326,37 R\$/MWh que com os impostos ICMS PIS e CONFIN tem um custo de 490,78 R\$/MWh.

No Brasil, a tarifa média é de 329,0 R\$/MWh para a indústria, com um valor 50% superior à média de 215,5 R\$/MWh que um conjunto de 27 países apresenta. Dados disponíveis no endereço eletrônico da Agência Internacional de Energia.

Quando comparado, o Brasil, aos países dos BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China e à África do Sul), como mostra a Tabela 1, a tarifa de energia elétrica brasileira é 134% superior à média presente no Grupo Econômico (140,7 R\$/MWh).

Uma comparação com os principais parceiros do Brasil (Estados Unidos, Argentina, Alemanha e China), mais uma vez, mostra que o Brasil tem a tarifa de energia elétrica para a indústria mais elevada que média encontrada internacionalmente. Nenhum dos estados analisados anteriormente apresenta uma tarifa a níveis competitivos quando comparada à média mundial: aos BRICs, aos principais países da América Latina, conforme Tabela 1, ou mesmo aos principais parceiros comerciais do Brasil.

Tabela 1 - Tarifas de energia elétrica industrial dos BRICs – Brasil, Rússia, Índia e China (R\$/MWh)

Países	Tarifa média (R\$/MWh)
Brasil	329,0
Índia	188,1
China	142,4
Rússia	91,5
Média de Rússia, Índia, China	140,7

Fonte: Sistema FIRJAN com base em dados da ANEEL (2011) da Agência Internacional de Energia (2011)

Tabela 2 - Tarifas de energia elétrica industrial na América Latina (R\$/MWh)

Países	Tarifa média (R\$/MWh)
Brasil	329,0
Chile	320,6
México	303,7
El Salvador	295,3
Colômbia	190,7
Uruguai	179,7
Equador	117,4
Argentina	88,1
Paraguai	84,4
Média dos vizinhos latinos (Argentina, Chile, Colômbia, El Salvador, Equador, México, Paraguai e Uruguai)	197,5

Fonte: Sistema FIRJAN com base em dados da ANEEL (2011) da Agência Internacional de Energia (2011)

Com base na análise e estudo apresentado pelo pesquisador economista, Bruno Salazar, ao Portal Setor Elétrico demonstra que investimentos em Eficiência Energética possibilita às indústrias reduzirem o consumo de insumos energéticos (energia elétrica, carvão, petróleo etc.). Sendo indústrias dos setores de extração mineral, metalúrgicas, químicas, alimentícios, têxtil, papel e celulose e não metálicos tem em seus custos de produção uma grande parcela vinda dos insumos mencionados acima. O Pesquisador Marlon Bruno Salazar, salienta em entrevista ao Portal O Setor Elétrico “assim reduzir o consumo desses insumos significar produzir com menor custo, o que implica aumentar a competitividade destas indústrias”. Como conclusão desse pensamento investimentos em eficiência energética faz com que as indústrias fiquem menos expostas a variações do custo desses insumos. (MENDONÇA 2012).

2.1.3. Modalidade de tarifa da Empresa A

Com o propósito de suportar e justificar análises apresentadas durante a pesquisa foi identificado qual grupo o tarifário que a Empresa A está inserida.

A Empresa A esta inclusa na modalidade de tarifação horo-sazonal verde, que conforme o estudo de aplicação tarifária observados os modelos dos órgãos reguladores e as distribuidoras essa, tarifação, é a mais indicada para o consumidor do grupo “A”, pois estabelece que aquele que pode paralisar, ou operar com geradores, no horário de ponta.

Horo-sazonal VERDE	Resolução ANEEL N° 1.858,	
A4 (2,3 a 25 kV)	de 27 de fevereiro de 2015	
□	□	□
Tarifas	Resolução	com Impostos:
Cooperativa de Eletrificação Rural	ANEEL	ICMS e PIS/COFINS
□	□	□
Demanda (R\$/kW)	2,53	3,89
□	□	□
Consumo (R\$/kWh)	□	□
Ponta	0,39348	0,60536
Fora de Ponta	0,12798	0,19690
□	□	□
□	□	□
□	□	□
Vigência em 02/03/2015	□	□

Figura 3 - Modelo de tarifação Copel Horo-sazonal Verde

Fonte: Grupos tarifários Copel em endereço eletrônico

A Figura 3 mostra que em função da homologação pela ANEEL das novas tarifas de energia, resultado da revisão tarifária extraordinária, conforme resolução nº 1.858, de 27 de fevereiro de 2015, com vigência de 02 de março de 2015 até 23

de junho de 2015, as tarifas de energia elétrica da Copel ficam, em média, reajustadas em 36,79%.

2.2. CELULOSE

Devido a inovações no processo de fabricação das telhas de fibrocimento, a Empresa A iniciou a fabricação de telhas que incorporam em sua composição a celulose refinada. A fibra de celulose é encontrada em todas as regiões do planeta com muita facilidade, pois são extraídas de madeira ou plantas. A alta alcalinidade de água nos poros da matriz cimentícia enfraquece as fibras de celulose, induz a mineralização e conseqüentemente a decadência da produtividade com um planejamento em longo prazo. Essa absorção de água libera compostos, e dessa forma ocorrem mudanças contínuas no volume da matriz de cimento e da fibra de celulose. Têm-se observado, em conseqüência desses ciclos de absorção de água e lançamento de compostos, uma perda de aderência na interface fibra e cimento, resultando na desarticulação de elementos de reforço e a degradação das propriedades mecânicas do produto final. Várias tentativas por meio de diferentes processos químicos baseadas em explorar as funções de absorção de água e melhorar sua aderência sobre a matriz de cimento como esterificação, e formação de uretano, entre muitos outros. O bloqueio através de vias químicas reduz o número de grupos hidroxila concomitante com a formação de ligações entre as fibras de celulose e a matriz de cimento, resultando na diminuição da absorção de água e em melhorias das propriedades mecânicas do compósito (TONOLI et al., 2009).

Segundo GRAM (apud SWAMY, 1988) a celulose é uma fibra encontrada no interior das células das plantas, mais especificamente na parede celular e é responsável pela rigidez da estrutura do vegetal. Pode ser considerado o esqueleto da célula vegetal, pois suas moléculas filamentosas garantem a resistência da célula. As fibras vegetais possuem uma parede formada por diversas camadas distintas entre si, levando o aspecto espessura como parâmetro. Essas paredes são formadas por micro fibrilas dispostas em diferentes ângulos de orientação.

De acordo com Saheb e Jog (1999) as fibras consistem de micro fibrilas em uma matriz amorfa de lignina e hemi-celulose, conforme a Figura 4 ilustra. Estas

fibras consistem de múltiplas fibras que são interligadas ao longo do comprimento da fibra. As ligações de hidrogênio e outras ligações de proporcionar a resistência necessária e rigidez para as fibras.

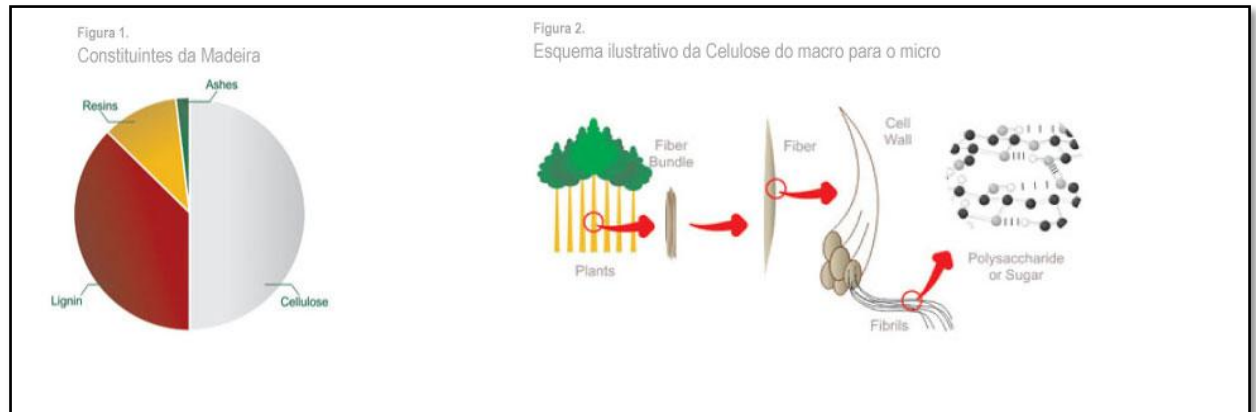


Figura 4 - Constituintes da madeira e esquema da celulose do macro para o micro

Fonte: Site CELULOSE RIOGRANDENSE (2015).

Na indústria é aplicada como base na produção de papel entre outros como plásticos, sedas artificiais. No Brasil existe uma grande preocupação com o compromisso de repor essa matéria prima, portanto são plantadas florestas de eucalipto com grande intensidade.

Nos últimos anos as fibras naturais chamam a atenção de cientistas e estudiosos devido as vantagens que essas fibras proporcionam sobre as matérias convencionais de reforço, baixo custo, baixa densidade, alta propriedade específica. (SAHEB; JOG, 1999)

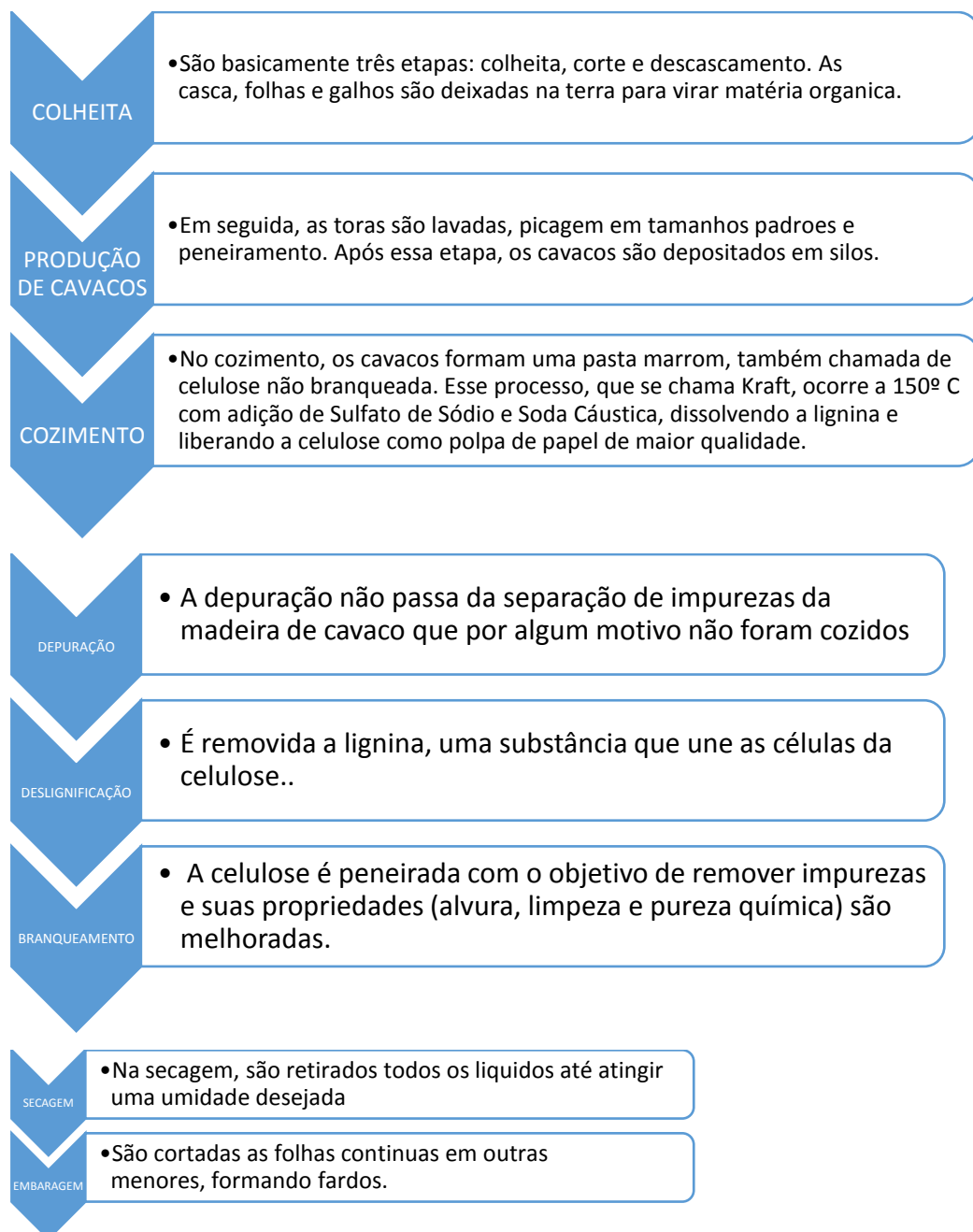
2.2.1. Processo industrial com celulose

Segundo empresa CMPC (CELULOSE RIOGRANDENSE, 2015) tem como objetivo do processo industrial, extrair a celulose da madeira, na forma de uma pasta separando-a da lignina, resinas e minerais, as quais são usadas na geração de

energia elétrica pela própria fábrica. Cerca de 99,7% dos resíduos resultantes do processo de fabricação da celulose são reciclados.

O Fluxograma 1, permite uma visualização da produção de celulose explicando as peculiaridades do processo de produção de celulose, desde a colheita até a embalagem da matéria prima do processo de refino.

Fluxograma 1 - Produção de celulose



Fonte: Adaptado de Celulose Rio-grandense, 2015. Acesso Jan. 2015.

2.2.2. Celulose de fibra longa

A fibra longa é originada das gimnospermas, também chamadas de coníferas. A produção brasileira de celulose de fibra curta cresceu 6,8% ao ano. Nos últimos vinte anos, a de fibra longa elevou-se apenas 1,4 ao ano, de tal maneira que hoje o Brasil tem de importar cerca de 400 mil toneladas anuais dessa celulose para suprir suas necessidades. (CELULOSE DE FIBRA LONGA: UMA OPORTUNIDADE PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA 2013)

A Empresa A utiliza como matéria prima para a produção de telhas, a fibra de celulose na forma longa. No entanto para Martins (O papel, 2012) estamos migrando para um processo unificado desde 2008 utilizando para refino e armazenado celulose de fibra curta. Essa estratégia de utilizar fibra curta vem de um estudo que é fruto da parceria da Infibra e a USP citado por Martins (ano).

Estudiosos garantem que a qualidade do produto final não depende da utilização de fibra curta ou longa, apenas podemos destacar o preço e a logística como ponto diferencial na decisão de qual fibra se adequaria melhor ao processo.

Na Empresa A optaram por usar como matéria prima a fibra longa importada da Rússia.

2.3. FIBROCIMENTO

As fibras vegetais são mais baratas se comparada a outras fibras plásticas, ao mesmo tempo oferecem algumas características relevantes. São fontes de energia obtidas da natureza e são obtidas com baixo consumo de energia. Sem contar que usando fibras não vegetais obtém-se um processo mais complexo além de oferecer um custo elevado.

Segundo Martin (O papel, 2012) toda a história de uma produção que dispensa o amianto começou a mais de 25 anos na Escandinávia posteriormente destaca-se por dar sequência nessa nova tecnologia a Alemanha, Itália e França. O

início dessa produção era dado com base em fibras longas, mas aproximadamente em 2008 tivemos esse cenário alterado para utilização de fibra curta.

“O fibrocimento resulta basicamente de uma mistura homogênea de água, cimento e fibras. Ao comprarmos essa tecnologia europeia, passamos a substituir a tradicional fibra de amianto, de origem mineral, por uma combinação de fibra sintética e celulose”, explica o diretor industrial da Infibra, Luiz Fernando Marchi Jr. Marchi Jr.; contudo, é cauteloso ao definir o novo fibrocimento como material ecológico. “Apesar de dispensar o amianto, o material ainda leva fibra sintética, derivada do petróleo, na composição”, justifica. (O papel, 2012).

2.4. O PROCESSO DE REFINO DA CELULOSE DE FIBRA LONGA

O processo de refino da celulose de fibra longa é necessário para que a matéria prima celulose papelão seja incluída no processo de produção de fibra sintética, conforme indicado na Figura 5, processo este que consiste na desagregação da celulose e posterior refino (O papel, 2012). Pode-se observar nas Figuras 5 e 6, a principal diferenciação entre a produção de telhas de fibrocimento sem a utilização da fibra sintética e com a utilização desta.

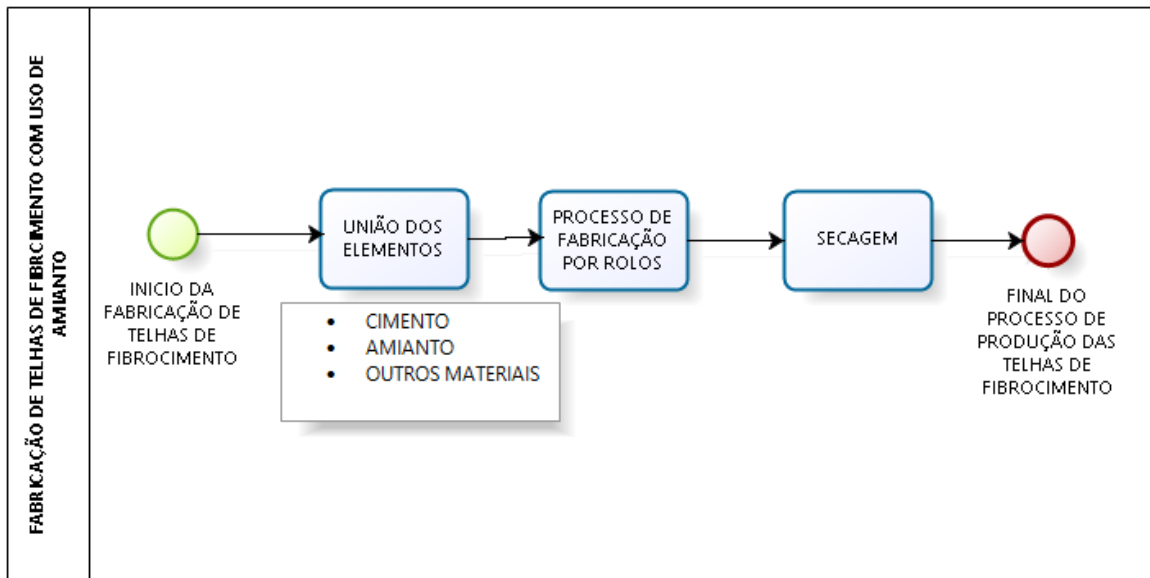


Figura 5 - Processo de fabricação de telhas sem fibra sintética

Fonte: Autoria própria

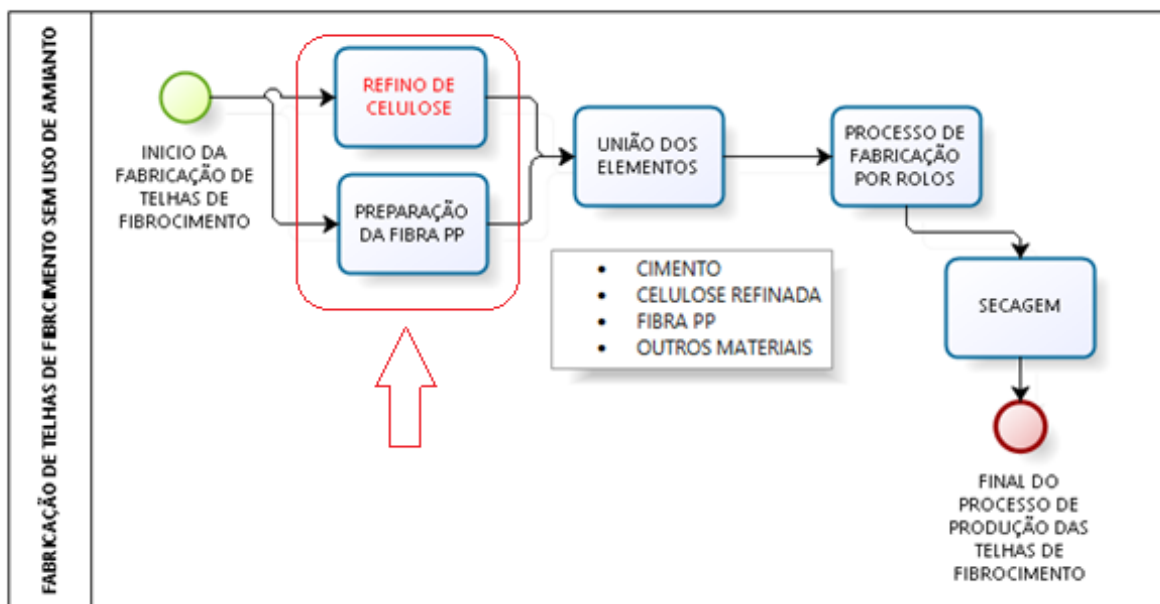


Figura 6 - Processo de fabricação de telhas com uso da fibra sintética.

Fonte: Autoria própria

A celulose sem refino não apresenta características necessárias a produção das telhas de fibrocimento, antes do refino a celulose apresenta pouca resistência a tração, volume específico alto e irregularidades na formação (CASTRO. 2000).

Caso integrada ao processo sem passar pelo processo de refino, o material final poderá desintegra-se devido às fracas ligações entre a fibra, ou seja, a celulose sem refino torna-se um material heterogêneo e com dificuldade de homogeneização na mistura. Após o refino a celulose funciona como elemento de união das demais matérias primas.

Este tratamento mecânico efetuado sobre a polpa com fibras completamente separadas pelo refinador tem como objetivo, mudar a estrutura das fibras que compõem a matéria prima. Desta forma gera mais resistência mecânica ao produto final.

Existem três cones que constituem o refinador: estacionário, rotativo, estacionária tampa. Dispostos como mostra a Figura 7:

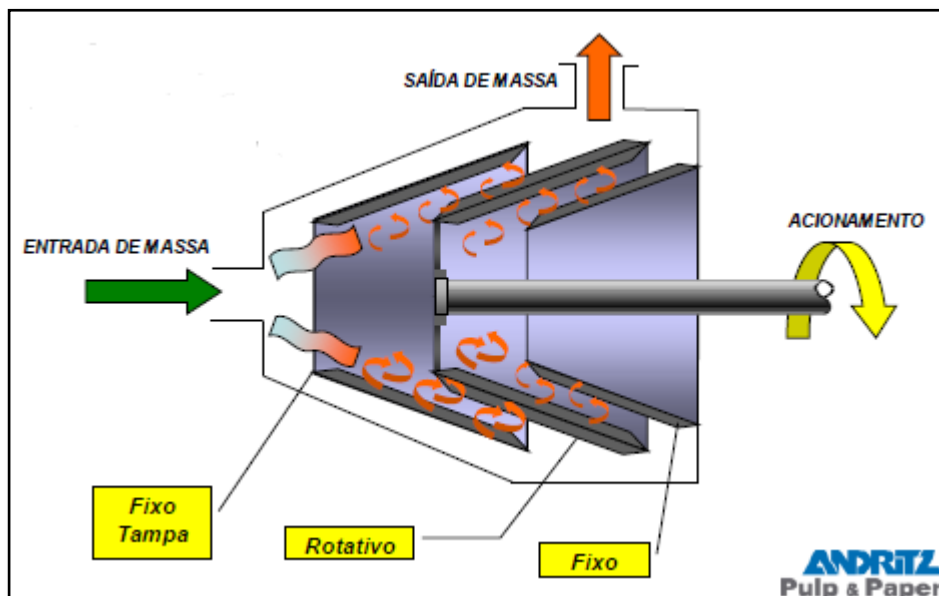


Figura 7 – Disposição dos Cones do Refinador RTC1000

Fonte: Andritz - Treinamento de Instalação, Operação e Manutenção do refinador TriCônico

O desgaste destes discos cônicos impacta diretamente no consumo de energia pois quanto menos desgastado mais eficiente o processo se torna. A vida útil desse equipamento gira em torno de três meses com variações devido a consistência da celulose refinada.

Atualmente na Empresa A, existem duas plantas de refino constituídas por tanques de estocagem e descanso da fibra, um limpador centrifugo Ahl Cleaner e os refinadores tri cônicos do modelo RTC1000 dispostos esquematicamente conforme Figura8.

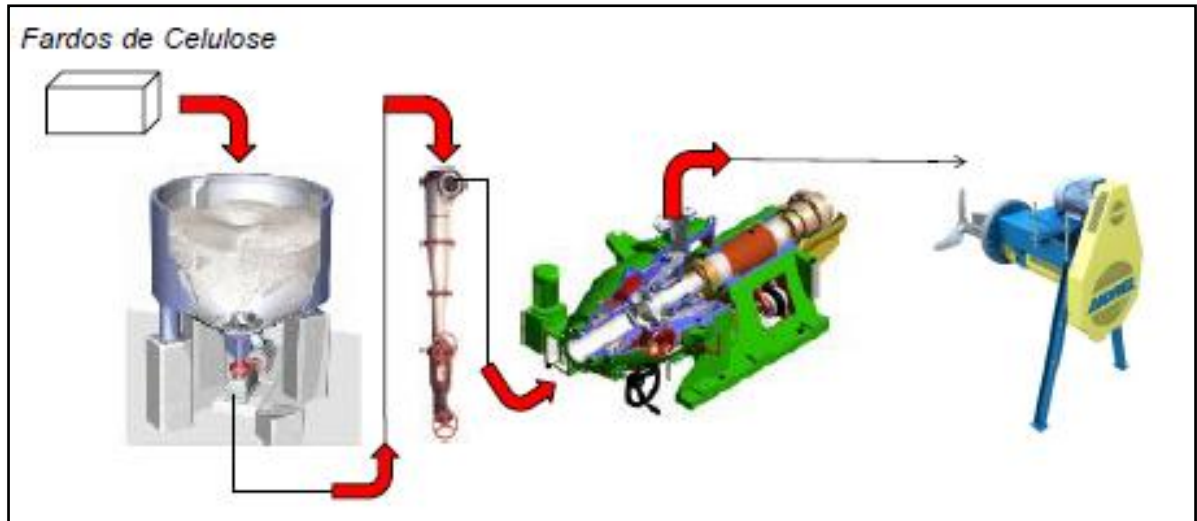


Figura 8 – Disposição esquemática dos componentes da planta de refino.

Fonte: Andritz - Treinamento de Instalação, Operação e Manutenção do refinador TriCônico

De acordo com entrevista realizada na Empresa A, o processo de refino consiste no recebimento da matéria prima pré-hidratada pelo refinador, que refina a celulose no conjunto de filtros cônicos. Após decorrido a quantidade de ciclos pré-determinado pelo operador, a amostra entra nas tubulações onde ocorre uma retirada de amostra, que passa pela medição de grau Schopper Riegler ($^{\circ}\text{SR}$), que define o grau de drenabilidade da matéria. A Empresa A definiu os limites aceitáveis para o grau Schopper. Caso a celulose atenda o grau previamente especificado esta segue para armazenamento até que o processo de fabricação do fibrocimento seja continuado. Caso contrário a celulose volta para o ciclo de refino. Este processo de medição do grau Schopper demanda tempo e disponibilidade da equipe de laboratório. O operador leva uma amostra para análise e assim que obtém uma resposta ajusta as variáveis do processo para tornar a celulose ideal para uso na

fábrica. Este ajuste pode ser feito pelo número de ciclos de refino ou pelo controle da aproximação dos discos de refino.

Alguns fatores que podem interferir no consumo energético da unidade refinadora são apresentados na Tabela 3. Algumas dessas variáveis serão analisadas visando buscar o ponto ótimo de funcionamento da planta de refino.

Tabela 3 - Variáveis do processo de refinação

VARIÁVEIS DA MATERIA PRIMA	VARIÁVEIS DO PROCESSO	VARIÁVEIS DO EQUIPAMENTO
Tipo de fibra (espécie de madeira)	Temperatura	Tipo de refinador
Método de cozimento	pH	Geometria da placa
Grau de deslignificação	Consistência	Tipo de forma da faca
Comprimento da fibra	Pressão	Presença ou ausência de obstrução
Composição química da fibra	Energia aplicada	
Método de alvejamento	Adição de reagentes	
Secagem da massa	Tempo de refino	

Fonte: Adaptado de NEVES, J. M.1986.

O processo de refino de celulose fibra longa demonstrado na Figura 9 consiste basicamente em um período de descanso da fibra em um tanque que leva entre quinze e vinte minutos. Após o descanso da fibra umedecida o operador inicia o processo de agitação que coloca a fibra em no Hidro Pulper, que tem a função de humedecer e triturar a fibra, ainda na forma de matéria prima. O fato que a celulose de fibra longa retém o líquido e alguns sólidos, torna a fibra de celulose a opção mais indicada como alternativa para enriquecer o fibrocimento devido a suas propriedades químicas de criar uma liga resistente.

Em seguida a massa batida é finalmente levada ao processo de refino que gera aproximadamente 4 ciclos ou até atingir um grau de desaguamento ou grau Schopper ideal.

O processo de refino melhora a capacidade de união das fibras com os outros compostos da sequência do processo.

Os estudos elaborados pela Empresa A que englobam os ensaios de drenagem da fibra, apontam que o grau Schopper ideal para este processo é entre sessenta e setenta e cinco.

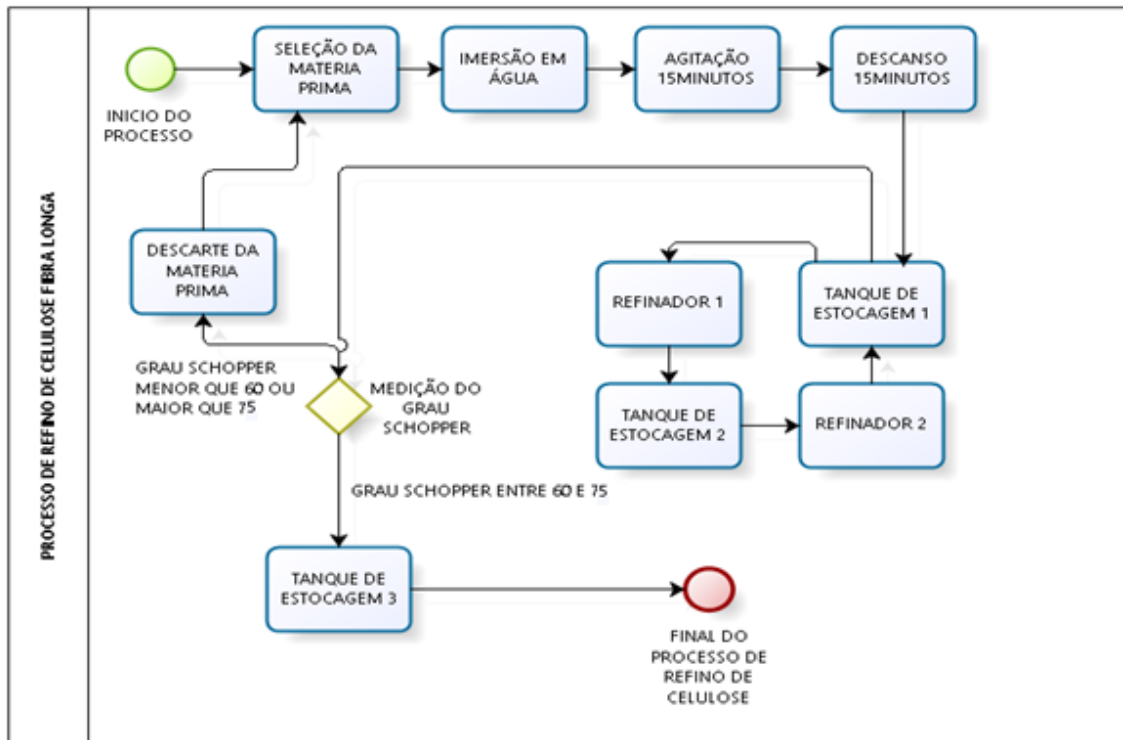


Figura 9 - Processo de refino de celulose fibra longa.

Fonte: Autoria própria

Após os ciclos de refino, a pasta de celulose misturada com os outros componentes como: cimento, fibra PP entre outros.

Após essa união de componentes a matéria prima fica armazenada em um estoque que se mantém cheio durante todo o processo devido à alta demanda da fábrica de matéria prima.

2.4.1.Unidade de refino

Unidade de Refino: Refinador RTC1000

O equipamento responsável pelo refino de celulose na Empresa A é do modelo RTC1000, uma unidade refinadora Tricônica conforme mostrado na Figura 10. Essa máquina é destinada a atender as mais diferentes necessidades de trabalho das indústrias em especial àquelas voltadas para o ramo do papel e celulose, a unidade em questão é capaz de produzir até 150 toneladas, conforme dados da sua ficha técnica, detalhados na Tabela 4. A unidade refinadora pode ser usada para o tratamento de todo tipo de fibra de celulose ou papéis reciclados. Os dados de procedimentos de operação técnica são determinados a partir do tipo de matéria-prima a utilizada, o grau de refinamento desejado, o local de instalação e a preparação do material a ser refinado.

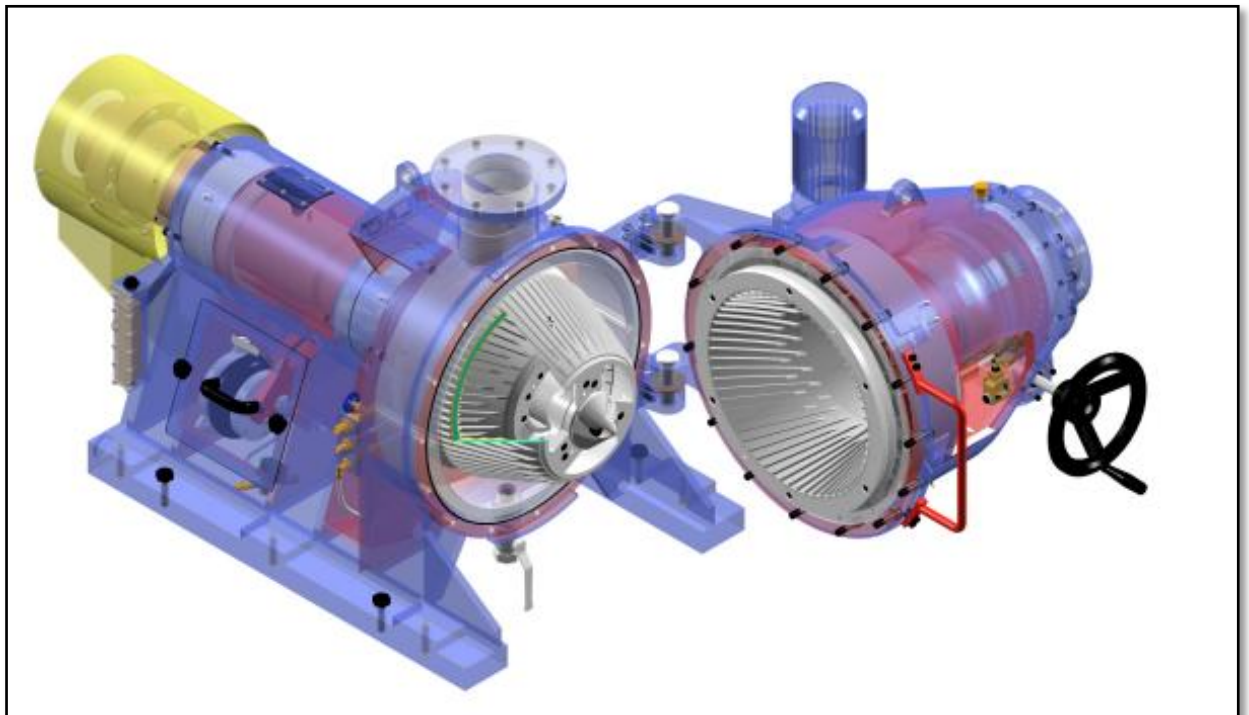


Figura 10 - Refinador RTC1000

Fonte: Andritz - Manual de Instruções, Instalação, Operação e Manutenção RTC-1000

Os dados técnicos do refinador RTC-1000 são descritos na Tabela 4, e ilustram características de produção deste.

Tabela 4 - Dados Técnicos RTC – 1000, unidade refinadora

Dados Técnicos Refinador RTC-1000		
Item	Unidade	Valor
Capacidade de produção	Ton. /Dia	30 - 150
Potência do motor principal	kW	150-355
Velocidade	RPM	720 - 1200
Consistência %	%	3--6
Tubos internos e externos	mm	150
Capacidade Hidráulica	l/min	520--3000
Pressão de Entrada Máxima	kgf/cm ²	1.5-3
Pressão de saída máxima do material	kgf/cm ²	5
Pressão de água de Selagem	kgf/cm ²	1*
Fluxo de água de Selagem	l/min	5—14
Pressão do Sistema Pneumático	kgf/cm ²	6
Peso Aproximado do motor	Kg	1595
Comprimento	mm	2020
Largura	mm	1000
* sobre a pressão de entrada da massa		

Fonte: Andritz - Manual de Instruções, Instalação, Operação e Manutenção RTC-1000

2.4.2. Protótipo da unidade de refino

O setor de desenvolvimento de produto da Empresa A dispõe de um protótipo para simular o processo de refino, porém este equipamento trabalha com discos circulares, diferentemente do equipamento de estudo que possui discos cônicos.

Pretendeu-se simular as variáveis do processo utilizando este protótipo, Figura 11, porém, conforme informado pela Empresa A e identificado pela pesquisa,

diferenças significativas entre a planta de refino e seu protótipo estas variações impediriam a pesquisa de obter resultados satisfatórios.

A função deste equipamento se restringe apenas a testar a densidade da matéria prima celulose.

Portanto descartou-se a ideia de trabalhar com aproximações tão distantes da condição real de operação do sistema, pois não forneceria resultados confiáveis.



Figura 11 - Protótipo da unidade de refino de celulose

Fonte: Autoria própria - Autorizada por Empresa A

2.5. ANALISADOR DE ENERGIA RE7000/TM

Para verificar o estado atual das instalações elétricas da planta refinadora foi utilizado o analisador de energia RE7000/TM, que é responsável por gravar as grandezas elétricas da planta de refino, como: correntes, tensões e potências.

2.5.1. Características do medidor RE7000/TM

O Analisador de energia ilustrado na Figura 12, possui memória interna de 2GB, portanto, foi possível realizar medições a cada 1s, totalizando um total de aproximadamente 15 dias de leitura e gravação.



Figura 12 - Analisador de energia RE7000TM - EMBRASUL

Fonte: Catálogo RE7000TM - EMBRASUL

De acordo com Catálogo do equipamento (RE7000TM) as seguintes grandezas serão armazenadas para análise:

- Sobretensão;
- Sობтensão;
- Harmônicas;
- Transientes;
- Flicker;
- Ajuste do fator de potência;
- Estudo do fluxo de carga;
- Laudos para certificações;
- PRODIST;
- Grandezas em RMS e TRUE RMS.

O processo de análise constitui em um estudo dos dados armazenados no RE7000RM, que são tratados pelo software ANL 7000, este gera curvas, gráficos e tabelas que demonstram as características elétricas do processo monitorado.

2.6. EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE

2.6.1. Medidor Inline de Grau Schopper Riegler DRT-5500– BTG Instruments

Com base em informações disponíveis no site da BTG Instruments o analisador de grau Schopper é um equipamento que tem como função automatizar e controlar o processo pós refino, se baseando na consistência da celulose após cada ciclo de refino. Os resultados do DRT-5500 são fornecidos remotamente pois seu dispositivo de amostragem extrai da polpa diretamente da linha de produção. O

fabricante sugere-se que seja instalado na saída de um refinador associado a um sistema de realimentação, para que seja possível avaliar a necessidade de ciclos extra no processo de refino. Devido ao princípio de medição única do DRT-5500, mostrado na Figura 13, as medições são automaticamente compensadas pela consistência variações de temperatura.

Este medidor foi desenvolvido para monitorar e controlar processos de refino de matérias-primas e operação dos mesmos. Pode ser aplicado para otimização de refinação e drenagem, buscando a eficiência energética somada a confiabilidade do produto desejado.

Este permite uma resposta rápida a variações do processo através de um refino otimizado.



Figura13 - DRT-5500 FREENESS INLINE – BTG Instruments

Fonte: Catálogo DRT-5500 FREENESS INLINE – BTG

2.6.2. Medidor Inline de Consistência Mek-2500 Rotoforce – BTG Instruments

Segundo o catálogos da BTG Instruments o produto BTG - MEK-2500 RotoForce™ transmissor inline conforme Figura 14, foi desenvolvido para transmitir a consistência da polpa em suspensão em uma faixa de 1-16%. O desenvolvimento do produto buscou que esse pudesse operar em qualquer posição de medição em aplicações de refino de fibra de celulose. Ele pode garantir através de uma associação um sistema realimentação que a fibra em suspensão somente avance no processo quando essa se encontra ao um determinado grau de consistência.



Figura 14 - BTG - MEK-2500 RotoForce™ - BTG Instruments

Fonte: Catálogo MEK-2500 RotoForce™ – BTG

3. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo são apresentados os dados das medições realizadas na empresa parceira deste trabalho acadêmico e discussões relevantes do processo. Busca-se apresentar ao leitor análises que permitam a identificação de características elétricas que possam ser associadas com a produção nas unidades de refino.

3.1. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

3.1.1. Medições

A primeira parte da medição consiste em conectar o aparelho na instalação a ser analisada, conforme Figura 15, para tanto é necessário que a seguinte configuração seja respeitada:

Para os sensores de corrente (TC's):

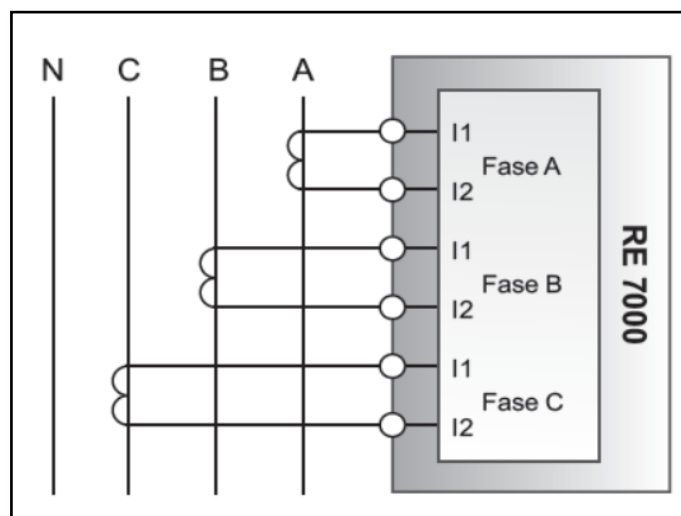


Figura 15 - Esquema de ligação dos sensores de corrente

Fonte: Catálogo RE7000TM - EMBRASUL

Os sensores de corrente ilustrados na Figura 16 devem enlaçar os condutores responsáveis pela alimentação da carga estudada.

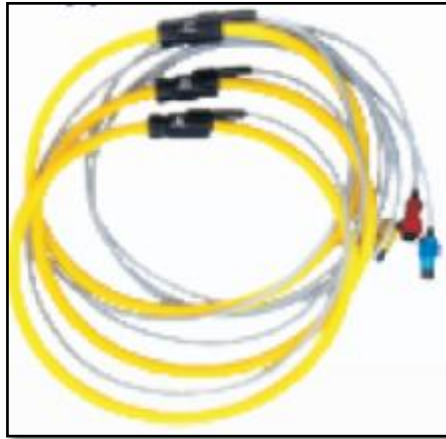


Figura 16 – Sensores de corrente
Fonte: Catálogo RE7000TM - EMBRASUL

Para medição das correntes é importante que a polaridade dos TC's seja respeitada, portanto é necessário averiguar o sentido da corrente entre fonte e carga.

Para tensão deve-se utilizar a configuração conforme Figura 17:

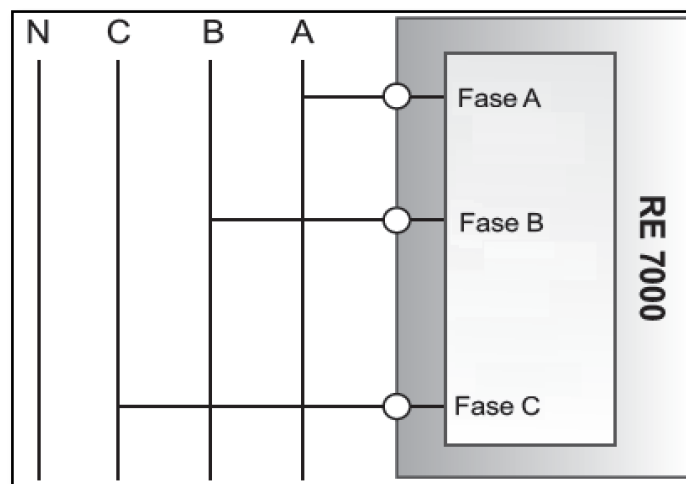


Figura 17 - Esquema de ligação dos sensores de tensão
Fonte: Catálogo RE7000TM - EMBRASUL

Nas medições de tensão é necessário respeitar a sequência de fases utilizada nos medidores de corrente, caso a sequência seja invertida os dados coletados não terão validade para o estudo.

3.1.2. Etapas da medição

A medição consiste em obter as tensões e correntes do motor que alimenta um dos refinadores RTC 1000, lembrando que cada refinador é composto de um conjunto de 1 refinador tricônico acoplado a um motor elétrico, a Figura 18 ilustra a planta refinadora completa, com destaque em vermelho para o conjunto de refino (refinador + motor).

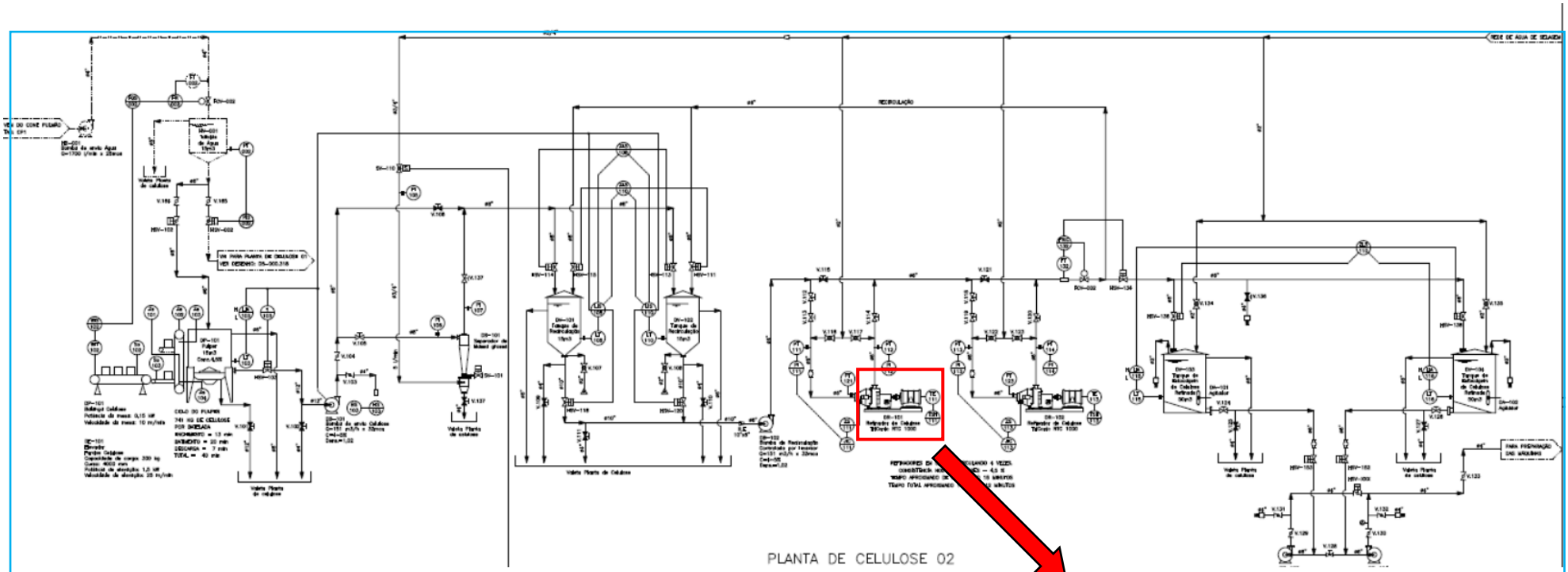
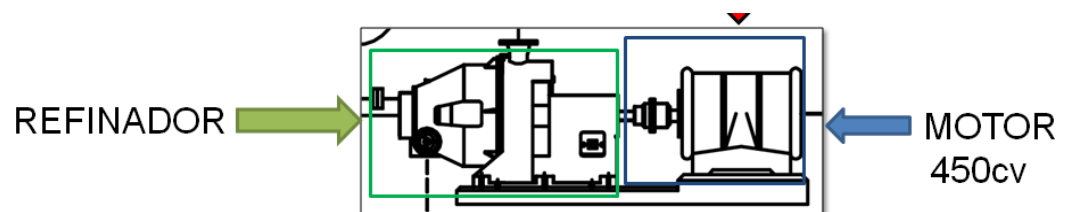


Figura 18 - Planta refinadora 2

- Medição - 1(um) refinador RTC1000 + Motor 450cv.
- Planta refinadora 2 completa.



3.2. VERIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

A primeira etapa do estudo energético da situação atual foi medir as grandezas elétricas para analisar a característica de operação/consumo de energia elétrica de um refinador de celulose da planta de refino 1, por meio da instalação de analisador de energia RE7000, junto ao alimentador do motor do refinador em estudo. Este capítulo tem a finalidade de demonstrar as características elétricas atuais de um refinador, estando fora do escopo deste capítulo a análise gráfica de consumo versus produção, que visa buscar soluções para eficiência energética do processo, que são mostrados no capítulo 3.1.2. A medição consistiu em verificar correntes, tensões e potências do painel que alimenta diretamente um dos refinadores conforme Figura 19



Figura 19 - Instalação do analisador de energia RE7000TM.

O intervalo de medição é entre os dias 15/04/2015 e 27/04/2015, com operação normal dos refinadores. Após as medições os dados armazenados foram transferidos e analisados com auxílio do software ANL7000 da Embrasul, mesma fabricante do analisador. Os dados armazenados pelo medidor forneceram os dados mostrados nos Gráficos 3 e 4. A partir destes gráficos temos embasamento para relacionar os dados medidos com a produção de celulose refinada no mesmo período.

O Gráfico 3 ilustra as características elétricas do refinador, em medições de 1 segundo, nota-se picos de corrente com duração de aproximadamente 3 segundos, estes picos são gerados pelas partidas dos motores e alta concentração de celulose nos discos dos refinadores. Estes picos não são visualizados no Gráfico 4, no qual a medição ocorre a cada 1 hora, tornando a curva mais suavizada pelo fato dos picos serem distribuídos em médias de corrente em uma hora de medição

É de conhecimento que o processo de refino de celulose é cíclico, ou seja, as etapas do processo são sempre as mesmas e os períodos de tempo são iguais, contudo, existem grandes variações elétricas durante os ciclos. Isto se dá devido ao fato de as variáveis do processo como: Matéria prima utilizada, e intervenção de operadores estarem interferindo constantemente no processo, ao nível de não ter nenhum ciclo completo com as mesmas características elétricas, como observa-se no Gráfico 3.

GRÁFICO DA MEDIÇÃO INSTANTÂNEA DE CORRENTE E TENSÃO (leitura a cada 1 segundo)

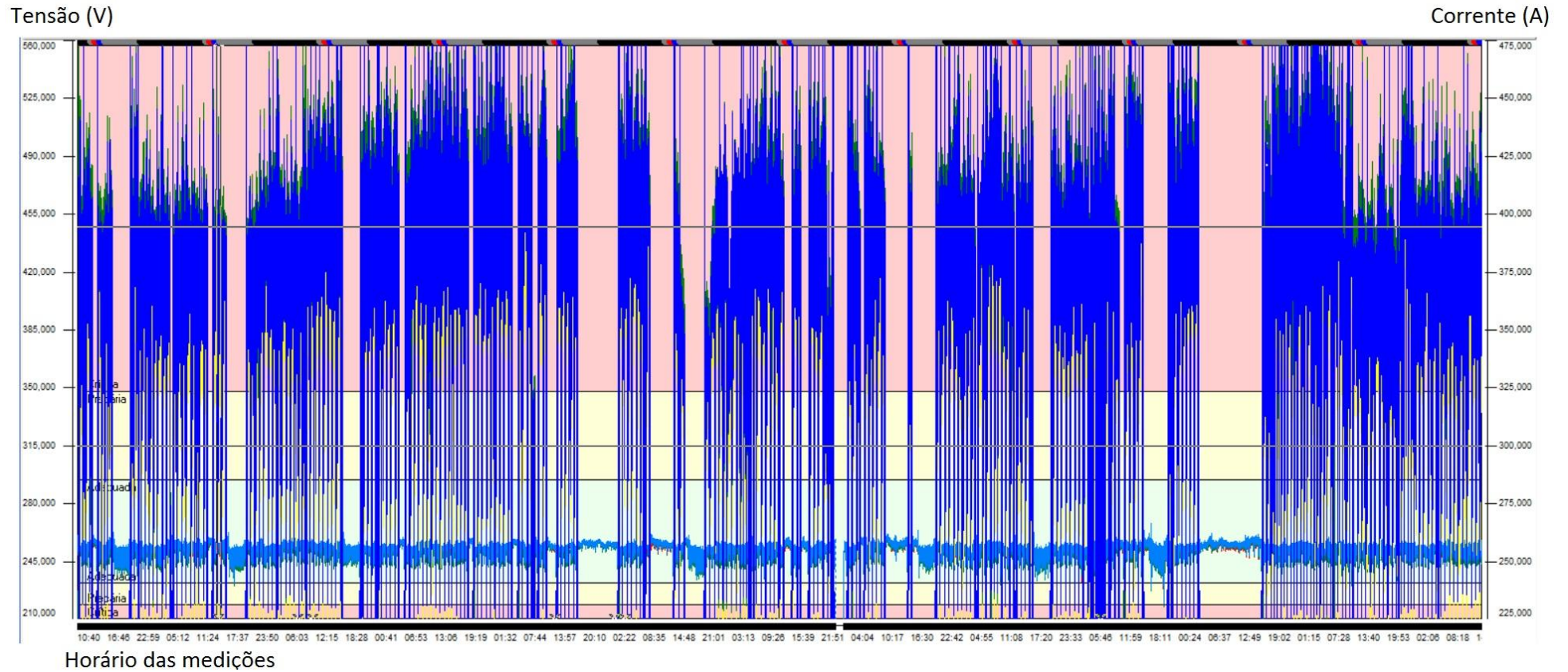


Gráfico 3 - Curvas de corrente e tensão (leitura a cada 1 segundo).

Fonte: Relatório de análises do software EMBRASUL ANL 7000.

GRÁFICO DA MEDIÇÃO INSTANTÂNEA DE CORRENTE E TENSÃO (leitura a cada 1 hora)

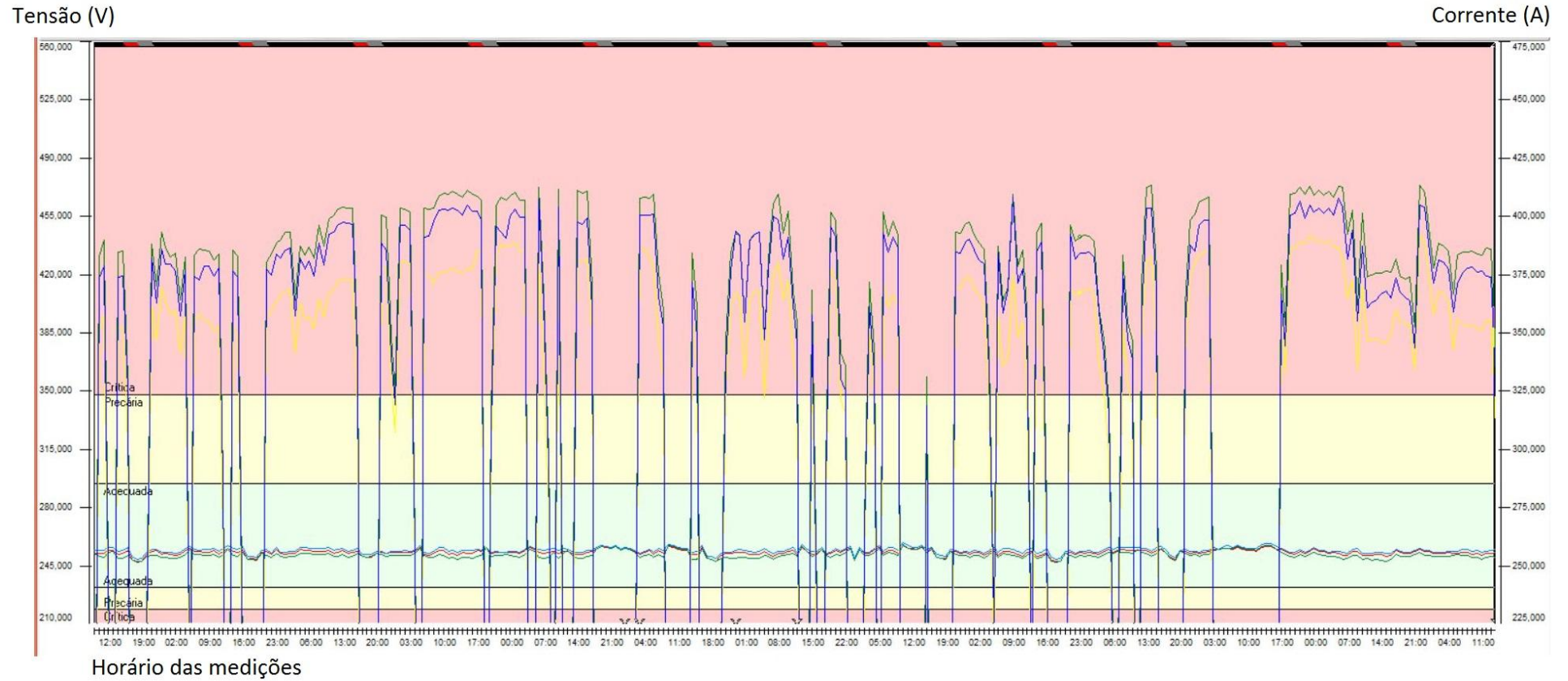


Gráfico 4 - Curvas de tensões e correntes (leitura a cada 1 hora)

Fonte: Relatório de análises do software EMBRASUL ANL 7000.

Para processos com característica de não uniformidade devido a variáveis é necessário ter acompanhamento em tempo real das variáveis de processo, pois, como não há constância no decorrer do processo não é viável notar alguma variação negativa de processo apenas ao final, mas sim no primeiro momento que seja possível detectar pontos de anomalia no processo.

A partir de dados nominais, é possível aferir as medições de correntes e tensões envolvidas, que teoricamente devem estar próximas dos dados nominais da máquina, conforme Tabela5:

Tabela 5 - Dados motor planta de Refino

Motor Trifásico 450cv - Modelo HGF WEG		
Tensão Nominal (V)	Corrente nominal (A)	Frequência (Hz)
440	551	60

Fonte: Empresa A

Os dados obtidos durante as medições mostrados na Figura 20 correspondem as correntes e tensões médias medidas e indicam a correta instalação do equipamento, visto que os valores medidos mostrados na Figura 20 são coerentes com os valores nominais do equipamento, os valores médios de tensão estão entre 252,77V e 255,172V que são próximos ao valor de fase da tensão de linha de 440V, que é 254V, assim, o erro percentual da medição em relação ao valor nominal do equipamento é menor que 0,5% em relação ao menor e maior valor médio de tensão, conforme Tabela 5. Em relação as correntes, é de conhecimento que esta varia em relação aos ajustes do refinador, os valores fornecidos pela Empresa A são entre 360A e 380A de corrente de ajuste, podendo haver variação nestes valores, conforme matéria prima utilizada.

Fase A: tensões [V]				Correntes [A]		
Média	254,310			Média	264,858	
Mínimo	217,830	03:16:09,08	22/04/2015	Mínimo	-440,843	07:05:25,43 24/04/2015
Máximo	266,270	18:39:45,64	24/04/2015	Máximo	475,121	10:43:46,84 15/04/2015
Fase B: tensões [V]				Correntes [A]		
Média	252,776			Média	284,317	
Mínimo	216,010	03:16:09,08	22/04/2015	Mínimo	-441,307	09:04:54,19 23/04/2015
Máximo	266,390	18:39:45,64	24/04/2015	Máximo	475,121	10:43:46,84 15/04/2015
Fase C: tensões [V]				Correntes [A]		
Média	255,172			Média	278,710	
Mínimo	219,310	21:11:37,90	24/04/2015	Mínimo	-464,000	10:13:04,15 17/04/2015
Máximo	268,120	18:39:45,64	24/04/2015	Máximo	475,121	11:48:57,96 15/04/2015

Figura 20 - Correntes e tensões médias medidas
Fonte: Relatório de análises EMBRASUL ANL 7000.

Durante as medições foi registrado uma queda de energia, esse fato já era esperado, visto que os profissionais da Empresa A relataram como frequente a queda momentânea de energia na planta, conforme relatório ilustrado na Figura 21:

RELATÓRIO DE FALTAS DE ENERGIA (Integração = 1 segundo)			
Intervalo considerado: quarta-feira 15/04/2015 10:40:18,84 até segunda-feira 27/04/2015 15:52:23,57			
Número total de faltas no arquivo: 000			
Queda de energia	Energia reestabelecida	Duração	No.
22/04/2015 às 00:51:59,99	22/04/2015 às 02:28:40,99	00d 01:36:41,00	001

Figura 21 - Relatório de faltas de energia
Fonte: Relatório de análises EMBRASUL ANL 7000.

Após a verificação das correntes e tensões de fase, pode-se analisar as medições de corrente e tensão instantâneas no medidor, conforme Gráfico 5. É necessário lembrar que as medições foram realizadas a cada um segundo, e teoricamente os níveis de corrente devem ser constantes durante cada etapa do processo, salvo o fato de alguma variável do processo interferir no consumo elétrico do motor do refinador. Neste caso é aceitável que nas configurações atuais da planta de refino hajam picos de corrente devido a mudança de variáveis de processo.

Analisando graficamente:

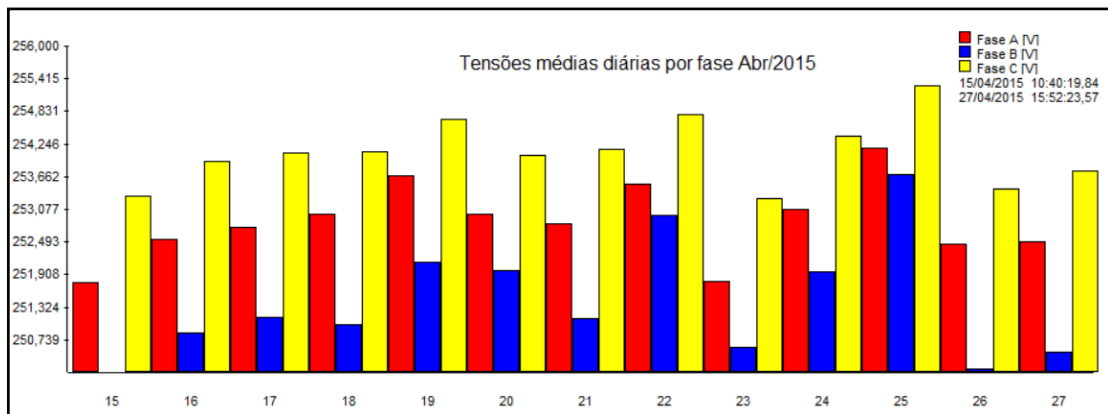


Gráfico 5 - Tensões medidas médias diárias por fase

Fonte: Relatório de análises EMBRASUL ANL 7000.

A partir do Gráfico5 nota-se um desbalanceamento entre as fases, porém, esse valor não excede 10% do valor nominal, assim, é aceitável esta variação.

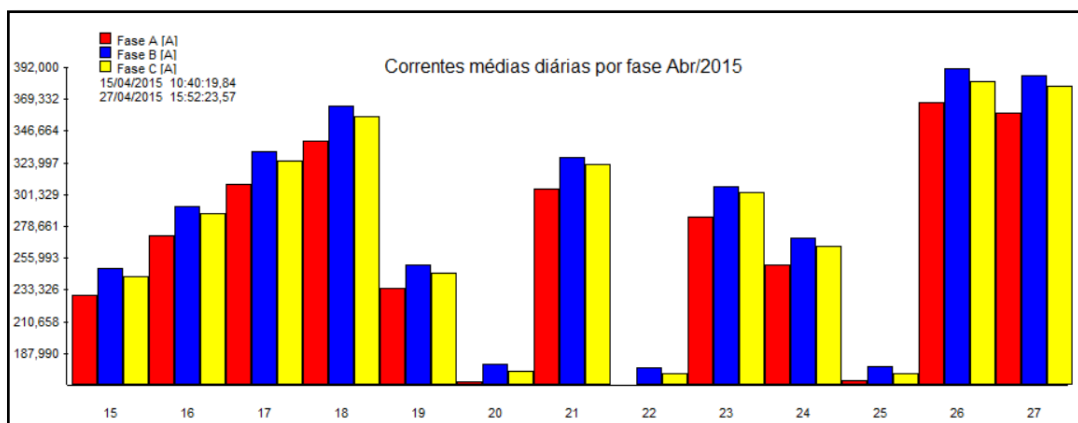


Gráfico 6 - Correntes medidas médias diárias por fase

Fonte: Relatório de análises EMBRASUL ANL 7000.

A partir dos dados expostos no Gráfico6 nota-se que as medições de corrente apresentam grandes variações que serão analisadas em função da potência e da produção no capítulo 3.1.2.

3.3. ANÁLISE DE DADOS EXTRAÍDOS

3.3.1. Análise das medições

Após as medições, foram analisados os dados extraídos através do software EMBRASUL ANL 7000, conforme Tabela 6. Buscou-se que tais dados tornassem possível a análise das curvas de consumo. Que permitiram a pesquisa buscar alternativas para de tornar processo mais eficiente do ponto de vista energético elétrico.

Tabela 6 - Consumo Energético com produção diária em Toneladas

Dia	Data	CONSUMO (KWh)	PRODUÇÃO (Ton.)	CONSUMO ESPECIFICO (KWh/Ton.)
1	16/04	1147,0	12,82	89,46957878
2	17/04	1547,0	14,102	109,7007517
3	18/04	2254,0	14,102	159,8354843
4	19/05	1040,0	16,025	64,89859594
5	20/04	962,4	7,692	125,1151846
6	21/04	1497,0	14,102	106,1551553
7	22/04	700,1	7,692	91,01326053
8	23/04	1327,0	13,461	98,5810861
9	24/04	1241,0	13,84	89,66763006
10	25/04	1385,0	18,19	76,14073667
11	26/04	2225,0	19,23	115,7046282
Média		1393,22	13,75055	102,3892811

Fonte: Autoria Própria – Dados: Relatório de análises EMBRASUL RE7000TM

Como já mencionado anteriormente as datas de medição em análise ficaram entre os períodos de 16/04/2015 a 27/4/2016. A Tabela 6 descreve o consumo em kWh para todos os dias assim como a produção em toneladas utilizadas de fibra de celulose. Dados de massa produzida obtida através de relatórios de produção da Empresa A.

A equipe buscou obter a relação entre consumo energético e produção total, chamado de consumo específico, se trata de dividir o consumo energético pela produção dentro de um mesmo período de tempo, a unidade, é amplamente utilizada em indústrias para se obter uma relação real do insumo energético relacionado ao processo. Neste trabalho a análise foi feita para uma média diária sendo o consumo específico médio 102,39 kWh/ton. Apresentando um desvio padrão de 24,54 kWh/ton. Detalhes para todos os dias estão descritos na Tabela 6.

Em reunião que foi discutido as variações da relação consumo/produção com a equipe de manutenção e supervisão responsável pela produção o relatório obtido foi que a produção é diretamente afetada por aspectos do fluido que está sendo refinado e pela sensibilidade que operador apresenta diante das características diferentes do processo. Sendo o operador responsável por regular a corrente do processo.

Tomando as informações descritas na Tabela 6, de produção e consumo em kWh ao longo do período de medição segue-se com a análise:

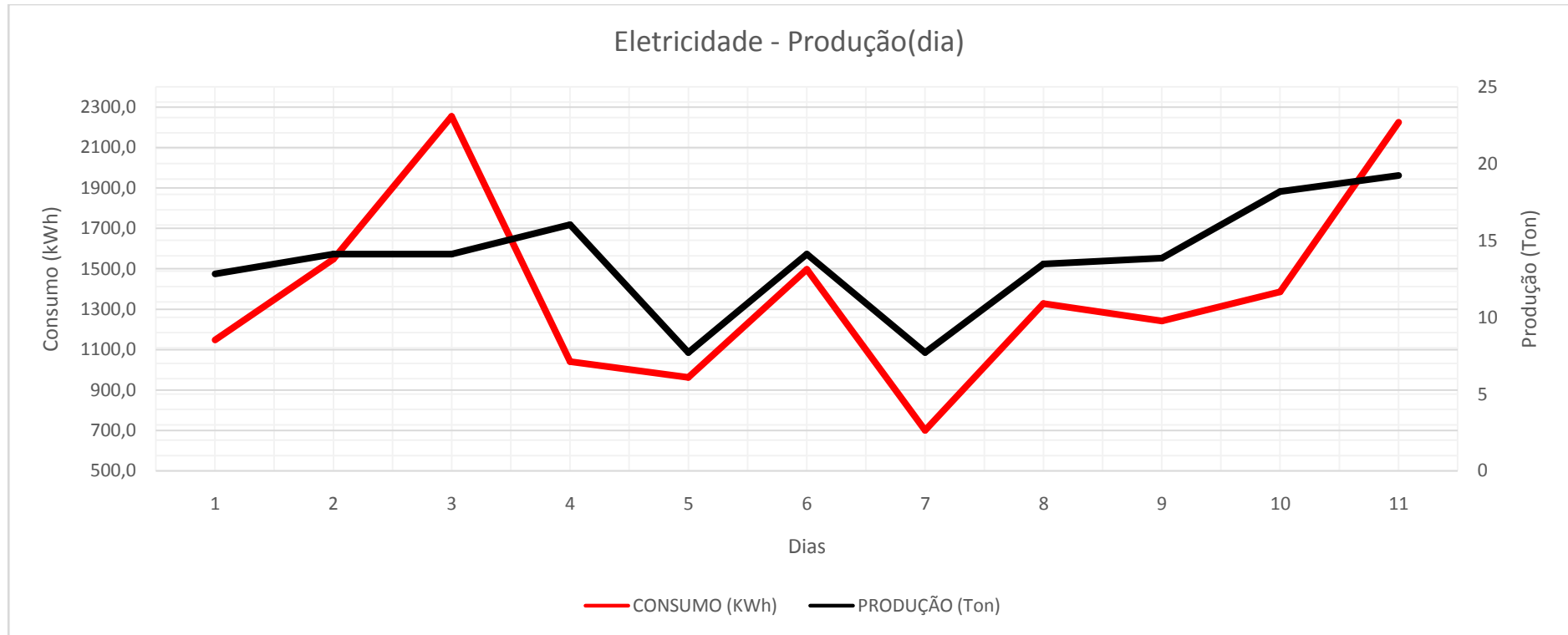


Gráfico 7 - Consumo x Produção

Fonte: Autoria Própria

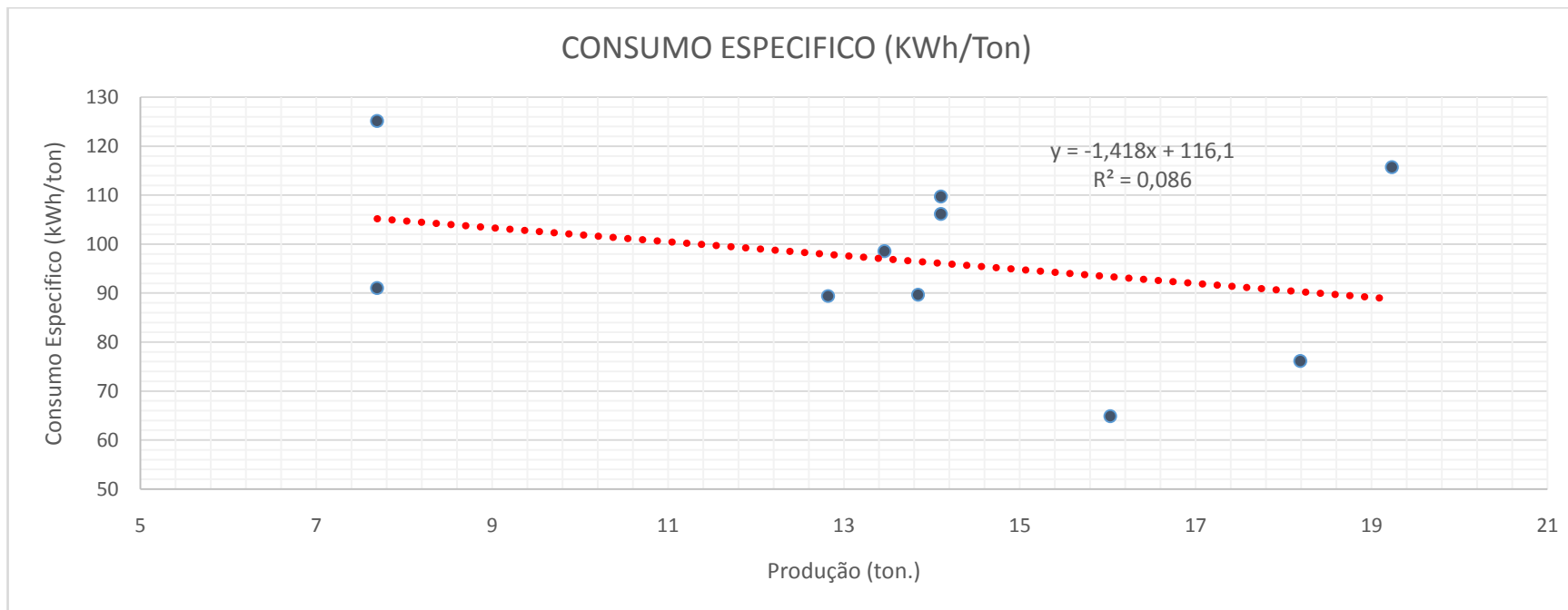


Gráfico 8 - Consumo específico

Fonte: Autoria Própria

Ao finalizar a análise dos dados Gráficos 7 e 8 pode-se verificar que o consumo energético está ligado diretamente ao nível de produção, porém o mesmo apresenta variações que apontam inconformidades no processo de controle de produção. Considerando que a produção diária se mantém a um nível quase constante verifica-se através do Gráfico 8 que o consumo específico não tem uma curva de tendência que poderia representar matematicamente, com confiabilidade superior a 10%. Isso comprova que particularidades da fibra de celulose e de como o operador responde as características do processo fazem que o refinador consuma cargas diferentes para a mesma massa produzida em tempos diferentes.

Repetiu-se a mesma análise, para um período hora-hora, considerando que o processo toma em média 40~50 minutos, com base nos relatórios de produção fornecidas pela empresa, a cada carga são utilizados 641kg de fibra. Como o fluxo na saída do refinador varia de constantemente, foi assumido, para esse análise que o nível de produção se manteve constante, conforme análise descrita na Tabela 7:

Tabela 7 - Potencia consumida hora a hora dias 16 e 17 de abril - Motor refinador

Potencia Consumida entre os dias 16 e 17 de abril (hora a hora)									
Hora	Potencia kWh	Hora	Potencia kWh	Hora	Potencia kWh	Hora	Potencia kWh	Hora	Potencia kWh
1	207,91201	11	217,659955	21	0,050592	31	221,406935	41	232,150838
2	224,60572	12	217,108371	22	0,050371	32	217,200125	42	232,121834
3	220,212972	13	214,038737	23	72,296761	33	219,226711	43	198,43285
4	217,464895	14	216,081989	24	215,028581	34	214,445742	44	0,061795
5	217,52382	15	162,726137	25	216,444228	35	225,716911	45	0,061878
6	204,402299	16	41,368296	26	221,869297	36	219,811321	46	0,061988
7	217,338799	17	215,891518	27	222,146938	37	228,352788	47	78,954245
8	101,697948	18	213,810789	28	224,347693	38	228,643231	48	229,304458
9	215,549585	19	118,822819	29	224,977824	39	231,517086		
10	216,857656	20	0,055672	30	203,959549	40	232,568505		

Fonte: Relatório de análises EMBRASUL ANL 7000.

Novamente, tomando a documentação disponibilizada pela a empresa e assumindo que a produção se manteve a níveis constantes, o consumo energético apresentou oscilações superiores a 10% hora a hora o que sugere novamente, através do Gráfico 9 que o consumo esta ligado as características de cada lote de fibra de celulose e procedimentos de operação.

Tomando a curva de consumo específico por tonelada ilustradas nos Gráficos 10 e 11, aplicou-se a formula da linha de tendência para calcular qual seria a nova potência utilizada caso o consumo estivesse alinhado com a produção:

3.3.2. Análise do consumo em horário de ponta

Ao analisar o consumo do processo em horários de ponta, nota-se que houve consumo de energia entre 18:00 e 21:00, o que caracteriza o pagamento de uma tarifa maior nesses horários em relação a tarifa fora de ponta, o pagamento nesse período é aproximadamente 70 por cento maior, conforme mostrado na Tabela8:

Tabela 8 - Consumo em ponta e fora ponta

DIA	CONSUMO EM KWh	VALOR DO KWh EM PONTA	CUSTO EM PONTA	VALOR DO KWh FORA DE PONTA	CUSTO FORA DE PONTA
15/abr	0,165	R\$ 1,32	R\$ 0,22	R\$ 0,39	R\$ 0,06
16/abr	0,158	R\$ 1,32	R\$ 0,21	R\$ 0,39	R\$ 0,06
17/abr	0,184	R\$ 1,32	R\$ 0,24	R\$ 0,39	R\$ 0,07
18/abr		R\$ 1,32	R\$ -	R\$ 0,39	R\$ -
19/abr		R\$ 1,32	R\$ -	R\$ 0,39	R\$ -
20/abr	0,167	R\$ 1,32	R\$ 0,22	R\$ 0,39	R\$ 0,07
21/abr	398,909	R\$ 1,32	R\$ 526,64	R\$ 0,39	R\$ 156,42
22/abr	0,167	R\$ 1,32	R\$ 0,22	R\$ 0,39	R\$ 0,07
23/abr	0,177	R\$ 1,32	R\$ 0,23	R\$ 0,39	R\$ 0,07
24/abr	0,239	R\$ 1,32	R\$ 0,32	R\$ 0,39	R\$ 0,09
25/abr		R\$ 1,32	R\$ -	R\$ 0,39	R\$ -
26/abr		R\$ 1,32	R\$ -	R\$ 0,39	R\$ -
27/abr	0,177	R\$ 1,32	R\$ 0,23	R\$ 0,39	R\$ 0,07
		15 DIAS	R\$ 528,54		R\$ 156,99
1 REFINADOR		30 DIAS	R\$ 1.057,07		R\$ 313,97
2 REFINADORES		30 DIAS	R\$ 2.114,15		R\$ 627,95
4 REFINADORES		30 DIAS	R\$ 4.228,30		R\$ 1.255,89
4 REFINADORES		12 MESES	R\$ 50.739,57		R\$ 15.070,70

Diferença percentual de:

70,298%

Fonte - Autoria própria - A partir de dados obtidos nas medições.

Uma outra análise que é considerada é o total de energia consumida pela planta refinadora em relação a demanda contratada e consumida pela indústria. Cada planta refinadora tem 1008,50kW de capacidade instalada sendo que a carga mensal contratada, para toda a indústria é 3100MVA e apresenta um consumo médio mensal de 3260,80MVA. Assim nota-se que o consumo médio mensal da planta de refino é aproximadamente 900MVA, usualmente essa é responsável por 27,6% do total da carga contratada.

4. PROPOSTAS DE MELHORIA NO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO

4.1. OTIMIZAÇÕES COM EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE

Como a instalação das plantas de refino já estão consolidadas impossibilitando algumas modificações no sistema, concentrou-se os estudos em equipamentos que consigam oferecer um ganho de produção, ou uma redução de consumo de energia elétrica.

A ideia de melhorar o processo de produção através do aperfeiçoamento do controle de qualidade não se baseia em problemas encontrados na produção da fibra, mas busca-se conhecer o processo realizado em outras indústrias que detém um processo semelhante, em sua maioria, empresas que produzem papel. Em reuniões pode-se concluir que se faz necessário a instalação de equipamentos que suportariam o controle da qualidade de maneira mais avançada.

Fatores como Consistência, pH se somam ao Grau Schopper Riegler entre as variáveis que interferem no processo significativamente.

4.1.1. Analisador de Grau Schopper Riegler Inline e Medidor de consistência Inline.

Durante o desenvolvimento do projeto a equipe consultou catálogos e informações disponíveis no site da empresa BTG Instruments, desenvolvedora dos equipamentos *DTR-5500 FREENESS INLINE* e *MEK-2500 Roto Force TM*. A equipe buscou encontrar pontos que independessem do consumo elétrico e estivessem voltados a linha de produção que pudessem ser alterados e trazer resultados significativos ao consumo elétrico.

O resultado da análise que visou buscar alterações possíveis ao processo de refino concluiu que seria necessário a implementação de um analisador de grau

Schopper Riegler (°SR) na tubulação que antecede o tanque de estocagem e um medidor de consistência antes da entrada do refinador associado a um sistema de realimentação caso a consistência essa não seja satisfatória ao processo.

O medidor de grau Schopper *DRT-5500 FREENESS INLINE*, anularia a necessidade uma amostra de celulose refinada ser levada ao laboratório a cada ciclo. Otimizaria o processo através do monitoramento em tempo real do °SR. Por consequência os refinadores trabalhariam de forma linear reduzindo a alta variabilidade do grau Schopper Riegler (°SR) encontrado no processo.

A consistência do fluido que entra no refinador, também, impacta no consumo energético elétrico, portanto a configuração ilustrada na Figura 22 é importante para uniformidade do processo: Quando a fibra deixa o *Hidro Pulper* a consistência passa a ter probabilidade de ser alterada, uma vez que, a distribuição de massa para cada volume de água não é garantida em nenhum momento, então o refinador pode encontrar dificuldades em refinar volumes com uma consistência muito distante da consistência ideal para o processo, e o operador apresentará uma resposta lenta a esse comportamento, gerando um alto consumo energético. Dados obtidos com a empresa responsável pela instalação da planta indicam que a consistência antes da entrada do refinador deve estar próxima a 5%.

O laboratório ainda deveria manter a função de garantir a calibração do medidor *inline* através de testes de amostragem. A Figura 22 ilustra o posicionamento dos equipamentos DRT-5500 (°SR) e MEK 2500 (Consistência) na planta de refino.

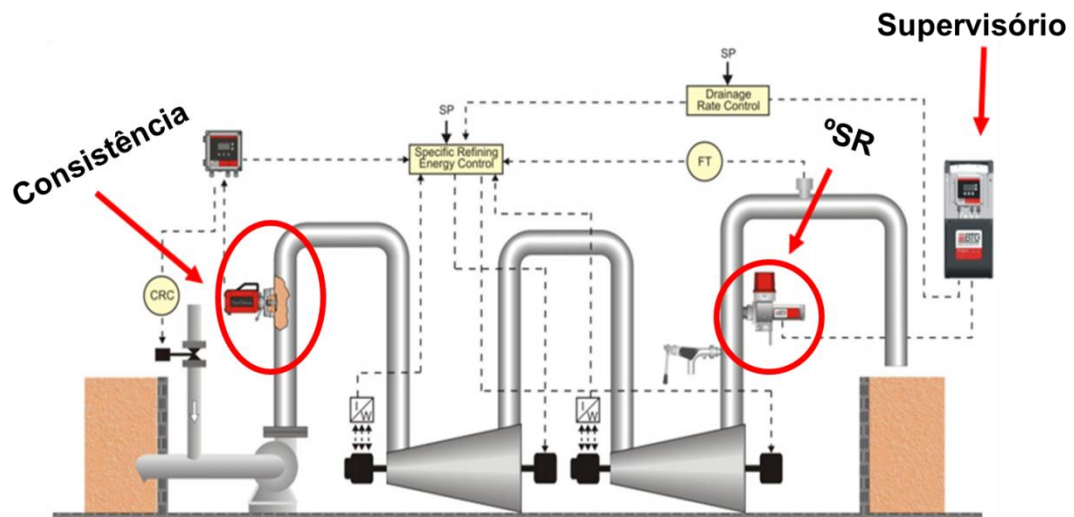


Figura 22 - Planta de refino demonstrando instalação do DTR 5500 BTG
 Fonte: Estudo de caso feito pela BTG instruments para os resultados do DTR5500

Durante essa pesquisa, a planta de refino mantinha a média de produção diária em 280 toneladas e não detinha um controle a disposição para demonstrar o grau de refino que essa polpa apresentava. Dados coletados em campo durante a pesquisa apontaram que por muitas vezes as amostras retiradas para controle, apresentavam um grau de refino superior ao que era requerido para a produção. Isso criou um indicador apontando que haviam momentos de consumo demasiado de energia ao entregar a matéria prima com um grau Schopper Riegler superior ao esperado.

Um estudo de caso feito pela BTG instruments, fabricante do equipamento de análise inline, demonstrou que dentro do período de 24 horas, de produção de celulose refinada apresenta resultados com grande variabilidade em seu $^{\circ}\text{SR}$ (grau Schopper Riegler) entre a análise laboratorial e do medidor Inline é o que interfere diretamente na qualidade do produto final e prejudica decisões tomadas pela equipe responsável pela produção. Conforme o Gráfico 11 apresenta.

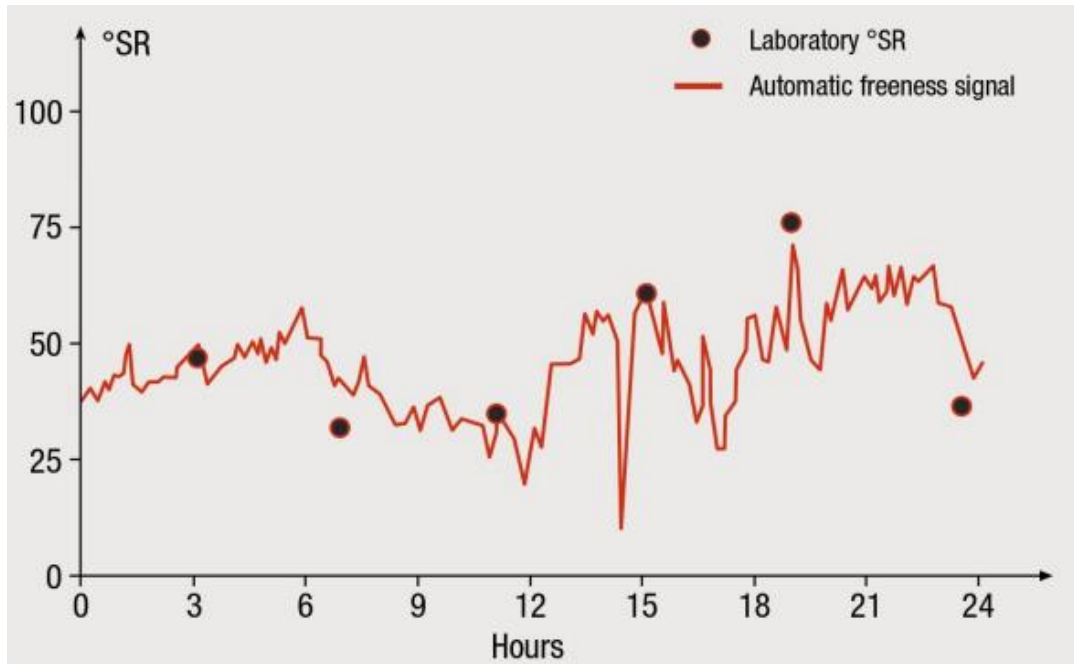


Gráfico 11 - Grau °SR sem acompanhamento do analisador

Fonte: Estudo de caso feito pela BTG instruments para os resultados do DTR5500

Já com o monitor de consistência MEK-2500 RotoForce TM junto ao *DRT-5500 Freeness Inline*, que detém um ciclo de 3 minutos entre amostragens, permite ao controlador do sistema tomar ações mais rápidas às características apresentadas pela particularidade de cada lote e volume de fibra de celulose (cada folha de fibra) e o monitor de consistência permite ao operador conhecer qual a consistência do fluido em tempo real que passará pelo refinador. Logo o desvio padrão diário se torna muitas vezes inferior ao encontrado anteriormente. Conforme Gráfico 12:

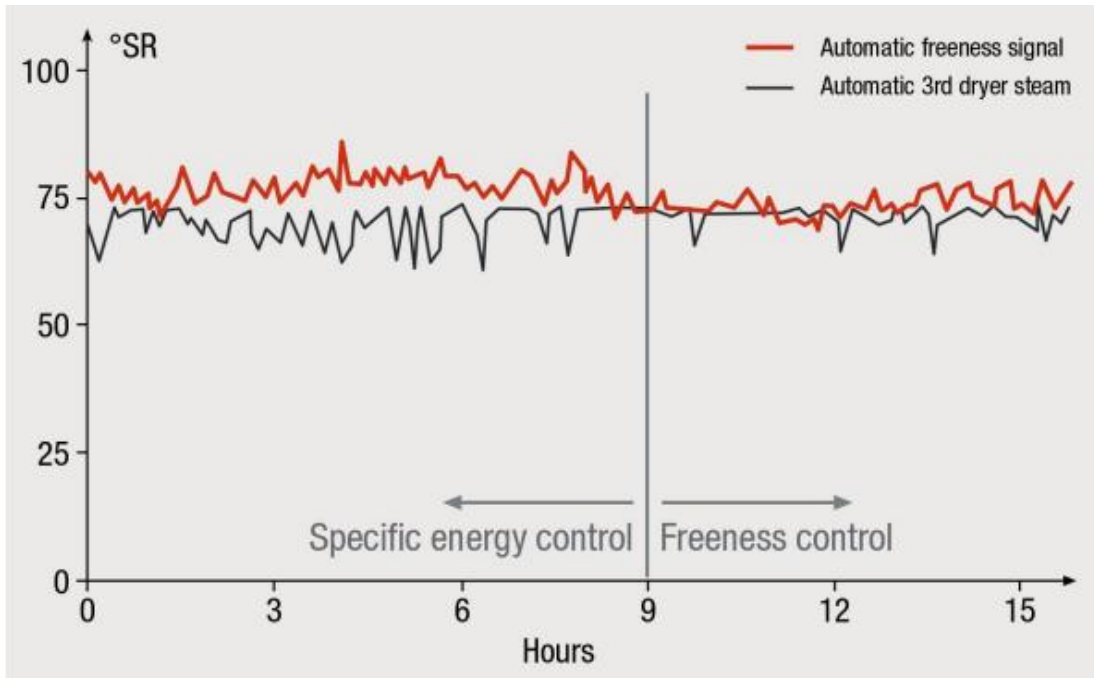


Gráfico 12 - Grau °SR com controle do analisador

Fonte: Estudo de caso feito pela BTG instruments para os resultados do DTR5500

Assim os esforços das máquinas da planta de refino, estarão configuradas a operarem voltadas a qualidade do produto final e da eficiência energética de toda a planta. Também oferecendo ao operador o máximo de informação e controle.

Fato importante a ser descrito como forma de comentário: Durante a pesquisa as empresas gentilmente ofereceram resultados obtidos em experiências no mercado em geral, mas com o intuito de preservar os interesses comerciais de ambas as partes esses resultados não são demonstrados nessa pesquisa acadêmica.

4.2. ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA ALIMENTAÇÃO DOS MOTORES DOS REFINADORES

Visto as curvas (Gráficos 3 e 4) apresentadas nas medições, nota-se que existem picos de corrente e grandes variações de demanda de corrente em diversas etapas do processo. Isso justifica um estudo detalhado para aplicação de inversores

de frequência. A tecnologia do inversor de frequência é mais moderna e possibilita mais controle dos motores dos refinadores em relação a Soft-Starter que hoje é utilizada na alimentação dos motores das plantas de refino. O inversor basicamente atua na frequência do sistema, assim possibilita o controle de velocidade do refinador sem alterar o torque, esse fato associado as curvas do sistema e um possível sistema de monitoramento de Grau Schopper Riegler mencionado no Capítulo 4.1 irá proporcionar possíveis benefícios visto que tornará o sistema mais controlável em relação a situação atual.

Para a implementação de inversores é necessário que haja um estudo detalhado das características elétricas dos motores e do sistema, é importante salientar que essa possibilidade de aplicação deve ser estudada de forma rigorosa por especialistas na área antes de uma possível aplicação, verificando alguns pontos como: a questão da interferência da velocidade do refinador no produto final, a partida de motores em plena carga, partida de motores com rotor bloqueado, aumento de reativos na rede, entre outros.

4.3. MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS ELÉTRICAS DO PROCESSO DE REFINO DE CELULOSE.

Levando em consideração o valor da tarifa de energia elétrica atual, é importante que os sistemas elétricos que tenham alto consumo de energia elétrica, se comparado ao consumo total da indústria, sejam constantemente monitorados e avaliados do ponto de vista da eficiência energética, para tanto é importante que os sistemas elétricos sejam mantidos atualizados e avaliados constantemente.

Em relação ao sistema elétrico da indústria Empresa A foi avaliado que o sistema deve ser monitorado e as medições armazenadas para possíveis estudos de eficiência energética elétrica. Contudo, é necessário o investimento em um sistema de leitura e gravação das correntes e tensões envolvidas no processo, ou seja, é necessário que haja o controle de gastos da planta de refino. Tal monitoramento possibilitará avaliar as curvas obtidas e relacioná-las com variáveis de processo, visando eliminar as variações de processo que afetam no consumo elétricos.

Como exemplo é válido citar a variação da densidade da fibra que passa pelo refinador, no momento que são refinados lotes com maior densidade os filtros passam por um momento de bloqueio do rotor, que ocasiona a elevação da corrente demandada. Com o sistema de monitoramento seria possível verificar em qual etapa está o processo em certos pontos de consumo, como o do exemplo citado anteriormente. Visando aumentar a eficiência energética, deve-se avaliar a causa do aumento de demanda, após avaliar, será necessário traçar um plano de ações para os momentos que é notado a elevação de demanda visando mitigar as causas dessa elevação, e então manter o monitoramento para que o processo continue atuando sem variações.

Portanto para um sistema com a complexidade do processo de refino de celulose é imprescindível que haja monitoramento das grandezas elétricas, visando melhora do processo, melhora dos equipamentos com base nos históricos obtidos.

4.4.AQUISIÇÃO DOS DADOS DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Após verificação do processo conclui-se que seria que grande valia a possibilidade de armazenamento dos dados de monitoramento do sistema supervisório.

Atualmente o sistema de monitoramento é em tempo real, porém não armazena os dados e não monitora todas as variáveis, isso impossibilita de ter um histórico que auxiliaria nos estudos que necessitam de dados passados da planta de refino, como: variedade da celulose utilizada, tempo de cada etapa do processo, possíveis anomalias que tenham ocorrido durante, consumo de matéria prima, produção, operador, ajuste de variáveis, entre outros.

4.5. ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE GRUPO MOTOR GERADOR PARA ALIMENTAÇÃO DA PLANTA DE REFINO EM HORÁRIO DE PONTA

A partir dos dados obtidos durante a pesquisa verificou-se que o número de ciclos de refino e o tempo que a matéria prima permanece no HidroPulper são restritos devido à alta demanda. Como a planta de refino fornece matéria prima para a produção da Empresa A, não se pode considerar um tempo maior para esse processo que envolve o Hidro Pulper, pois geraria um atraso na produção que ficará parada na intercalação de matéria prima.

A partir do fato de que o aumento do número de ciclos reduzirá o afastamento dos discos de refino e conseqüentemente o consumo de energia, existe a possibilidade de aquisição de um Grupo Motor Gerador para alimentar as duas plantas de refino nos horários de ponta, assim a planta passaria a operar com o máximo de sua capacidade durante 3 horas a mais por dia. Com uma reprogramação de fábrica seria possível aumentar a produção de celulose refinada que poderá possibilitar o acréscimo de ciclos, e uma possível redução no consumo elétrico, sem perda nos níveis de produção.

Atualmente, as indústrias que possuem sistema de cogeração têm a possibilidade de vender a energia produzida que não é aproveitada, assim, surge mais uma possibilidade de obter o retorno financeiro do investimento realizado.

Para tanto é necessário um estudo aprofundado visando a possível aplicação desse sistema, os pontos que devem ser avaliados são os seguintes: Custo da implantação do Grupo Motor Gerador, redução nos insumos elétricos frente ao aumento do número de ciclos, redução no desgaste mecânico das peças devido à redução no atrito causado pelo aumento dos ciclos, maior linearidade de produção, maior capacidade de produção caso seja mantido o número de ciclos atual, tempo de retorno e a possibilidade de vender a energia gerada que não é utilizada.

4.6. ESTUDO PARA AUMENTO DA CAPACIDADE DOS TANQUES DE ESTOCAGEM DE CELULOSE REFINADA.

Conforme citado no item 4.5, existe uma limitação em relação a alteração das variáveis de processo pelo fato de existir uma dependência da celulose refinada pela produção.

Atualmente existem dois tanques de armazenamento de celulose refinada, que quando estão cheios impendem o processo de refino de celulose, porém a produção de telhas consome em instantes todo o material armazenado, portanto um aumento dos tanques de estocagem tornaria o processo mais flexível tanto em relação a possibilidade de modificação das variáveis de processo como número de ciclos e tempo de descanso da matéria prima no Hidro pulper, assim como poderá reduzir o desgaste das peças mecânicas, visto que o refinador poderá atuar com seus discos em uma posição mais afastada, devido ao aumento do número de ciclos. Haverá aumento da confiabilidade do sistema, caso seja necessário realizar manutenções ou haja algum problema de operação, pois existirá matéria prima refinada estocada. Para tanto é necessário que seja realizado um estudo detalhado do ponto de vista de produção, consumo elétrico, da característica química da celulose refinada estocada, entre outros.

4.7. ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA TUBULAÇÃO DE REFINO.

Atualmente existem diversas curvas na tubulação da planta de refino, fato esse que impede a variável pressão da fibra na tubulação de atingir seu ponto de otimização conforme foi projetado pelo fornecedor do sistema.

Sugere-se que seja feito um rearranjo desta tubulação evitando curvas drásticas que interferem diretamente no tempo de refino e qualidade da celulose refinada.

4.8. ESTUDO DA MATERIA PRIMA: CELULOSE.

Após estudo de campo e bibliográfico, nota-se que a alteração da matéria prima é uma alternativa para redução de tempo do processo. Ao invés de usar celulose de fibra longa importada da Rússia, poderia ser implementado um processo com celulose de fibra curta. Um estudo mais a fundo das propriedades mecânicas e químicas da matéria prima, forneceria uma resposta mais confiável para qual seria a melhor matéria prima para se aplicar.

Visto que existe um protótipo que não simula o processo real encontrado na planta de refino, poderia utilizá-lo como base de testes para nova matérias primas levando em conta o resultado final, pois como mencionado, se trata de um equipamento diferente do real.

A alteração da matéria prima impactaria em diversos pontos, mas o mais crítico seria a alteração no processo, porque uma matéria prima diferenciada requer cuidados especiais e talvez um novo número de ciclos de refino para atingir grau Schopper Riegler (°SR) ideal.

É valido ressaltar que o estudo detalhado da nova matéria prima pode fornecer resultados pouco satisfatórios, pois talvez a melhor opção para a operação produção de telhas corrugadas na Empresa A seja realmente a celulose de fibra longa.

5. CONCLUSÃO

Em reunião envolvendo a equipe elaboradora deste TCC, professor orientador e responsáveis da empresa, foram apresentados diversos temas envolvendo as possíveis áreas com perspectivas de melhoria na Empresa A, após consenso optou-se pelo estudo de eficiência energética do processo de refino, o qual foi o tema da proposta deste TCC. Durante a pré-análise da problemática, foram destacadas diversas melhorias que poderiam ser implementadas no sistema, contudo, ao passo que avançamos no estudo criou-se maturidade para entender as reais possíveis melhoras que poderiam ser propostas à empresa.

O primeiro passo foi conhecer o processo e traçar variáveis que interferem diretamente ou indiretamente na eficiência energética. Após inúmeras visitas a indústria e pesquisas bibliográficas, adquiriu-se conhecimento suficiente para iniciar o estudo. A partir do conhecimento das variáveis, matérias primas e especificações do processo, iniciou-se a fundamentação teórica que trouxe embasamento nos temas que envolvem o processo de refino de celulose, como: Eficiência Energética, Celulose, o Refinador RTC100 e, equipamentos necessários para medição. O segundo passo foi avaliar a planta de refino após algumas alterações na configuração das variáveis de processo, como ciclos de refino, tempos de etapas, etc. Então, todo o trabalho convergiu para esta ideia. Porém não havia possibilidades de aplicar tais alterações na planta de refino durante a produção, que ocorre todos dias, 22 horas por dia. Então partiu-se para a ideia de utilização o protótipo do refinador para teste de alterações de variáveis, novamente modificou-se o escopo do trabalho, visando abranger as informações necessárias sobre o protótipo do refinador, porém em vista técnica com o responsável pelo protótipo, foi argumentado sobre a similaridade entre refinador e protótipo, recebeu-se a informação que não há similaridade, e o protótipo é utilizado apenas como forma de mensurar a qualidade das fibras de celulose testadas no processo. Este protótipo não possuía discos de refino similares aos da planta real de refino, e o processo envolvendo este equipamento não é automatizado como na planta de refino em estudo.

A partir dessas informações alterou-se o foco para verificar possíveis melhorias a partir de estudo da situação energética atual, e posterior análise junto a

fabricantes de soluções para sistemas de refino de celulose, e pesquisas bibliográficas. Para tanto foi necessário verificar os parâmetros elétricos da planta atual, então foi instalado um analisador de energia que coletou dados do consumo elétricos do refinador durante duas semanas, com essas informações coletadas iniciou-se a análise, que consistiu em verificar inicialmente uma possível relação entre o consumo elétrico e produção de celulose refinada, o que é incorreto. Em paralelo iniciamos a pesquisa com fornecedores de soluções para sistemas de refino, buscando novas tecnologias que poderiam ser incorporados ao processo, tornando-o mais eficiente do ponto de vista energético.

Após o estudo do processo, entendimento das variáveis de processo, análise das curvas de consumo elétricos, e pesquisa com fornecedores de equipamentos para sistemas de refino, conseguiu-se elaborar sete possíveis melhorias para o sistema, que o tornariam mais eficiente, mensurável, controlável e com maior nível de confiabilidade. A partir de então cabe a Empresa A avaliar cada uma destas indicações, que ao todo trarão qualidade e uniformidade ao produto final, confiabilidade e controlabilidade em tempo real do sistema de refino e redução dos insumos energéticos da planta de refino.

Assim concluímos este estudo, atingindo o objetivo específico deste Trabalho de Conclusão de Curso, assim como os objetivos específicos, e principalmente com o desenvolvimento pessoal e profissional adquirido com as dificuldades superadas e conhecimentos aprendidos. Deixamos claro que este trabalho superou as expectativas lançadas no início, tanto em nível de desafios superados quanto em conhecimentos adquiridos.

5.1. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa iniciou a um ponto onde a equipe precisou conhecer todo o processo que se seguia a partir do refino, para obter a capacidade de compreensão da importância econômica e comercial para que todas as propostas estivessem alinhadas conforme detalhado no capítulo 4. Durante o levantamento de dados foram percebidas variáveis que possibilitariam novos estudos das várias

engenharias, essa tem o potencial de permitir que novos trabalhos ou pesquisas acadêmicas possam ser desenvolvidas em diferentes situações presentes na indústria.

Segue abaixo pontos relacionados ao processo de refino que poderiam servir como base de estudos e pesquisas acadêmicas aplicadas:

- Adequação da partida de motores 450cv em uma planta de refino com Inversores de frequência;
- Pesquisa e desenvolvimento de um sistema de armazenamento de dados do sistema supervisório atual;
- Pesquisa e proposta para implementação de um grupo gerador para suporte das unidades de refino de celulose em horário de ponta;
- Estudo de viabilidade para aumento da capacidade de estocagem de matéria base (Celulose refinada);
- Pesquisa e proposta para implementação de sistema de acompanhamento e armazenamento de variáveis elétricas.

Essa pesquisa manteve o foco no aprimoramento da qualidade e eficiência energética e deve servir como referência para estudos e pesquisas futuras que tenham o mesmo foco.

REFERÊNCIAS

BEN (Balanço energético nacional). Disponível em: <www.epe.gov.br/imprensa/apresentacaoevento/20080508_1.pdf>. Acesso em 13 Jun. 2014.

BTG.Medidor Inline de Consistência Mek-2500 Rotoforce – BTG Instruments Disponível em: <<http://www.btg.com/en/products/products-by-type/inline-instrumentation/consistency-detail/279/>>. Acesso em 12 de Abril de 2015.

BTG.Medidor Inline de Grau Schopper Riegler DRT-5500– BTG Instruments Disponível em: <<http://www.btg.com/en/products/products-by-type/inline-instrumentation/freeness-detail/285/>>. Acesso em 12 de Abril de 2015.

CASTRO, Élcio Donizeti; NEVES, José Mangolini; KOGA, Marisa. 2000. **REFINAÇÃO DE PASTA EM BAIXA CONSISTÊNCIA EM SISTEMA TRICÔNICO**. Congresso Iberoamericano de Investigación Em Celulosa Y Papel.

CELULOSE RIOGRANDESE. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>>. Acesso em 15 Jan. 2015.

CNI. **Eficiência energética na indústria**. Disponível em: <<http://www.cni.org.br/portal/data/files/00/FF808081234E24EA0123627A07156F8E/Eficiencia.pdf>>. Acesso em 7 Jan. 2015.

COPEL. **Manual de eficiência energética na indústria**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/\\$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf)>. Acesso em 13 Jun. 2014.

COSTA, Ruth (2014) “**Custo da energia ameaça frear economia, alertam analistas**”. BBC Brasil, 31 de Junho. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/07/140721_sistema_eletrico_ru> Acesso em 7 Jan. 2015.

ELETROBRAS. **Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil oportunidades de redução de custo e experiência internacional. 2009.** <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf> Acesso em 7 jan 2015.

GRAM, H.E. **Natural fibre concrete roofing.** In: SWAMY, R.N. Natural Fibre reinforced cement and concrete. Glasgow: Blackie, 1988. P. 256-85 (Concrete Technology and Design, 5).

HILGEMBERG, E.; BACHA, C. J. **A evolução da indústria brasileira de celulose e sua atuação no mercado mundial.** Artigo para BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) – Revista Análise Econômica, ano 19, n.36.

LUCIANA Mendonça (2012) **“Questão de competitividade”.** O Setor Elétrico Ed.77, Junho 2012. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/879-questao-de-competitividade.html>> Acesso em 7 Jan. 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência Energética e Conservação de Energia.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>> Acesso em 7 Jan. 2015.

NEVES, J. M. ;**Refinação de pasta celulósica – fatores que influem no processo e que são afetados por esta etapa da preparação de massa.** O Papel, V. 47, no 5, p. 35-40, 1986.

O GLOBO. **Após reajustes o custo médio da energia para indústria ultrapassa os 300 por MWh.** Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/apos-reajustes-custo-medio-da-energia-para-industria-ultrapassa-os-300-por-mwh-12215187>>. Acesso em 7 Jan. 2015.

O PAPEL. 2012. **CELULOSE DE FIBRA CURTA CONQUISTA NOVOS MERCADOS.** Por Caroline Martins.

PILÃO S. A. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Conceitos fundamentais de refinação de papel e celulose**. Apostila. Junho 98. 33 p.

SAHEB, Nabi; JOG, J.P. 1999. **Natural Fiber Polymer Composites: A Review**.

SISTEMA FIRJAN. **Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?** - Estudo para o desenvolvimento do estado do Rio de Janeiro. n.8 Agosto de 2011. Disponível em: <<http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908CEC33B2BA9F0133F997CC3D3359>> Acesso em 7 Jan. 2015.

TONOLI G.H.D, RORIGUES Filho U.P, SAVASTANO H., BRAS J., BELGACEM M.N, LAHR Rocco. 2009. **Cellulosemodifiedfibres in cementbasedcomposites**.

VIDAL, André Carvalho Foster. HORA, André Barros. 2013 **CELULOSE DE FIBRA LONGA: UMA OPORTUNIDADE PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA?**. BNDES Setorial 39, p. 281-342.