

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NAIARA MACHADO CASAGRANDE

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LEAN E SEIS SIGMA NO REUSO DO
EFLUENTE TRATADO. ESTUDO DE CASO: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE
PAPEL TISSUE**

CRICIÚMA

2014

NAIARA MACHADO CASAGRANDE

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LEAN E SEIS SIGMA NO REUSO DO
EFLUENTE TRATADO. ESTUDO DE CASO: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE
PAPEL TISSUE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA

2014

NAIARA MACHADO CASAGRANDE

**REUSO DO EFLUENTE TRATADO DO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE PAPEL TISSUE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recirculação de efluentes.

Criciúma, 25 de novembro de 20014.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Nadja Zim Alexandre - Eng. MSc. Química - (UNESC) - Orientadora

Prof^a. Rosimeri Venâncio Redivo - Eng. MSc. Química - (UNESC)

Prof^o José Alfredo Dallarmi da Costa - Eng. MSc. Química - (UNESC)

Dedico este trabalho final aos meus pais amados, Márcio e Sirley.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por guiar meus caminhos e dar sabedoria para eu seguir minha jornada.

Gostaria de agradecer a minha família, Márcio, Sirley e Liandra Casagrande, pelo amor, carinho e apoio.

Gostaria de agradecer à Murilo Botelho, por todo apoio e companheirismo durante o estágio e a confecção do projeto.

Gostaria de agradecer ainda aos meus colegas de trabalho, Oneide, Vanessa, Eliziane, Alacir, Josuel e demais operadores da ETE, pela confiança depositada em mim e aos conhecimentos repassados.

Gostaria de agradecer ao gestor Bruno Bin, pela confiança em meu trabalho e comprometimento com o meu desenvolvimento.

Agradeço ainda aos colegas do setor de Qualidade por toda a paciência e dedicação para colaborar com meus trabalhos.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos e colegas da faculdade, pelos momentos de felicidade e companheirismo.

Agradeço também a Nadja pela orientação e apoio na realização deste projeto.

Muito obrigada a todos!

“Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se esperam, e a prova das coisas que não se veem.”

Hebreus 11:1

RESUMO

É de conhecimento geral que o setor de produção de papel é um grande consumidor de água. Simultaneamente, o projeto em questão foi desenvolvido no intuito de aumentar a taxa de reuso do efluente, e é apoiado pelo pilar de sustentabilidade da visão estratégica da empresa Kimberly-Clark. Para atender a demanda da empresa, unidade Correia Pinto, é utilizada uma quantidade de água captada do Rio Canoas bastante considerável. Logo, a recirculação do efluente diminui esta demanda de captação, preservando a água como recurso natural. Para atingir o objetivo proposto, o estudo foi desenvolvido por meio de uma metodologia que busca as oportunidades de melhoria no processo. A metodologia considerou a máquina de papel como o cliente da estação de tratamento de efluentes. A partir daí e com auxílio dos responsáveis pela estação de tratamento de efluentes, em um brainstorming, foram apontadas as principais variáveis que influenciam na qualidade da água. Avaliou-se o grau de importância de cada uma delas, em relação aos parâmetros estabelecidos, e que devem ser atingidos para assegurar a recirculação. Com a confecção de um diagrama de Pareto, foram obtidos os modos de falha mais críticos. Do mesmo modo com o auxílio dos 5 por quês, foram investigadas as causas para então encontrar soluções. Portanto a instalação das melhorias propostas reflete a implementação das soluções e obtenção da água com qualidade e com as condições exigidas pelo processo. Considerando que isto é de extrema importância para o atendimento do cliente e maior consumidor, a máquina de papel.

Palavras-chave: Máquina de Papel, reuso, diagrama de Pareto, modo de falha.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Etapas principais da máquina de papel Tissue. | 18 |
| Figura 2: Estrutura do início de formação do papel na Máquina de Papel. | 18 |
| Figura 3: Estrutura interna do cilindro secador Yankee..... | 20 |
| Figura 4: Meio de suporte em sistema MBBR..... | 24 |
| Figura 5: Imagem de satélite ilustrando localização da empresa em estudo (limite ilustrativo em vermelho). | 27 |
| Figura 6: Fardos de celulose prontos para ir ao Hidrapulper..... | 28 |
| Figura 7: Fluxograma processo de preparação de massa. | 31 |
| Figura 8: Componentes da Máquina de Papel Tissue..... | 33 |
| Figura 9: Estoque de Jumbo Rolo. | 34 |
| Figura 10: Fluxo de água no processo de fabricação do papel..... | 35 |
| Figura 11: Fluxo do processo de tratamento de efluentes. | 38 |
| Figura 12: Tanque de Equalização da Estação de Tratamento de Efluentes..... | 39 |
| Figura 13: Foto Difusor por ar flotado – DAF..... | 40 |
| Figura 14: Fundo do Poseidon composto por lamelas. | 40 |
| Figura 15: Tanque de aeração com hastes de distribuição de oxigênio no fundo..... | 41 |
| Figura 16: Tanques de Aeração contendo mídias para aderência dos microrganismos. | 42 |
| Figura 17: Tanque de desinfecção em reforma..... | 43 |
| Figura 18: Tanque de lodo da ETE. | 43 |
| Figura 19: Engrossador de lodo. Sendo: A) parte externa e B) parte interna..... | 44 |
| Figura 20: Prensa desaguadora. Sendo: A) parte externa e B) parte interna. | 44 |
| Figura 21: Fluxograma do processo de tratamento de lodo. | 45 |
| Figura 22: Histórico da média mensal de recirculação de efluente em 2013.. | 46 |
| Figura 23: Histórico do percentual de recirculação e estabelecimento de meta para o projeto. | 48 |
| Figura 24: Estratificação das variáveis apontadas como principais causas da instabilidade do processo e que influenciam no reuso de água. | 55 |
| Figura 25: Priorização de modos de falha em ordem decrescente. | 57 |
| Figura 26: Fluxograma com alterações para melhoria de correção do pH na Máquina de Papel. | 60 |
| Figura 27: Tanque de desinfecção no início do processo de pintura. | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Classificação dos tipos de Papel em função do uso e características. | 15 |
| Tabela 2: Dados de água captada, efluente tratado e média de recirculação..... | 47 |
| Tabela 3: Cálculo do baseline para o projeto. | 47 |
| Tabela 4: Parâmetros físico-químicos para recirculação de efluente..... | 49 |
| Tabela 5: Informações para definição do Grau de Severidade, Ocorrência e Detecção do modo de falha..... | 51 |
| Tabela 6: Mapa de variáveis de relevância no processo..... | 53 |
| Tabela 7: Variáveis do processo que influenciam na recirculação. | 54 |
| Tabela 8: Etapas do processo e análise dos modos de falha e efeito..... | 56 |
| Tabela 9: Análise dos 5 por quês de cada modo de falha..... | 58 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----|---|
| CCM | Centro de controle de motores |
| DCS | <i>Distributed Control System</i> - Sistema de Controle Distribuído |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| MOC | <i>Management of Change</i> - Gestão de mudança |
| MP | Máquina de papel |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| TQ | Tanque |
| WBB | Água Branca |
| WBC | Água Branca Clarificada |
| WBT | Água Branca Turva |
| WCM | Água Clara Morna |
| WIF | Água Industrial Fresca |
| WLM | Água Limpa Morna |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 13 |
| 2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PAPEL..... | 14 |
| 2.2 CELULOSE PROVENIENTE DA MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DO PAPEL.. | 16 |
| 2.3 SEÇÃO DE FORMAÇÃO DO PAPEL “TISSUE” – VISÃO GERAL..... | 17 |
| 2.4 USO DA ÁGUA PARA FABRICAÇÃO DO PAPEL TISSUE..... | 21 |
| 2.5 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES | 22 |
| 2.5.1 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR - Reator de Leito Móvel com Biofilme) | 23 |
| 2.6 REUSO INDUSTRIAL | 24 |
| 3 METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 HISTÓRIA DA EMPRESA E SUA ATUAL ESTRUTURA NO BRASIL..... | 26 |
| 3.2 DESCRIÇÃO BÁSICA DOS FLUXOS DE MASSA, ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTE..... | 28 |
| 3.2.1 Preparação de massa..... | 28 |
| 3.2.2 Formação do papel..... | 32 |
| 3.2.3 Seção de prensagem..... | 32 |
| 3.2.4 Secagem da Folha | 32 |
| 3.2.5 Enroladeira..... | 33 |
| 3.3 FLUXO DE ÁGUAS NA MÁQUINA DE PAPEL..... | 34 |
| 3.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE – ETE | 36 |
| 3.4.1 Tanque de equalização | 39 |
| 3.4.2 Difusor por ar Flotado – DAF/Poseidon | 39 |
| 3.4.3 Tanques de Aeração | 41 |
| 3.4.4 Tanques de Desinfecção e destinação final da água | 42 |
| 3.4.5 Tratamento de Lodo | 43 |
| 3.5 REUSO INDUSTRIAL – DETERMINAÇÃO DE BASELINE | 45 |
| 3.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE . | 48 |
| 3.7 PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CONTROLE PARA REUSO DA ÁGUA NO PROCESSO..... | 49 |
| 3.8 ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE CAUSA E EFEITO | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 3.9 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITO | 50 |
| 3.10 PRIORIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS | 51 |
| 3.11 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ..... | 52 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 53 |
| 4.1 IMPLEMENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES | 59 |
| 4.1.1 Adequação do sistema de correção de pH na Máquina de Papel | 59 |
| 4.1.2 Recuperação, pintura e nivelamento do tanque de desinfecção | 61 |
| 4.1.3 Definição de frequência de manutenção preventiva das bombas | 62 |
| 5 CONCLUSÃO | 63 |
| REFERÊNCIAS..... | 65 |

1 INTRODUÇÃO

O conjunto de atividades econômicas, associado ao crescimento demográfico, vem exigindo maior atenção ao uso de água para as mais diversas finalidades. A indústria de papel em geral, é uma grande consumidora de água em seu processo de fabricação. A empresa em questão tem como produto final o papel Tissue. Para fabricação deste tipo de papel são necessários em média 16 m³ de água por tonelada de papel produzido. Por isso, a importância do estudo de elevação do percentual de reuso interno deste recurso, reduzindo a captação de água do meio natural.

O setor estudado e onde foi desenvolvido o este trabalho é a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da indústria Kimberly-Clark, localizada na Serra Catarinense, município de Correia Pinto. O estudo considerou a possibilidade de aumento do reuso do efluente tratado na máquina de papel. Logo, se encontra focado na estação de tratamento de efluentes e nos requisitos de qualidade da água exigidos para operação da máquina.

Assim, procurou-se elevar a média atual de reuso, considerando a manutenção da qualidade da água fornecida para atender aos indicadores necessários na Máquina de Papel.

O presente estudo tem como objetivo principal promover o aumento do reuso de água numa indústria de fabricação de Papel Tissue. Para tanto, foram definidos os objetivos específicos, entre estes: definir e descrever os processos que serão afetados pelo projeto, mapear e descrever o processo de tratamento de efluente com auxílio de um fluxograma, listar as variáveis do processo, identificar os parâmetros de qualidade de água necessários para manter a qualidade no processo de fabricação, determinar alvos e especificações de parâmetros para reuso de água, avaliar os principais pontos de controle do processo e executar uma análise de problemas potenciais.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A fabricação de papel é uma das práticas mais antigas desenvolvidas pela humanidade, sendo que atualmente a indústria do papel tem sido uma das mais desenvolvidas tecnologicamente, ocupando lugar de destaque no setor industrial dos países mais desenvolvidos do mundo (KLOCK, 2014).

A história do papel está intimamente ligada à reprografia. Foi como suporte reprográfico que o papel surgiu. Desde os primórdios da humanidade, o homem vem desenhando as lembranças visuais de sua vida. Isto data de 30 mil anos atrás. Os desenhos nas paredes das cavernas eram chamados de pictografias. Depois, se tornaram mais complexos, e vieram as ideografias, os cuneiformes persas e até chegar aos hieróglifos egípcios por volta de 2.500 a.C. (DRUMOND, 2004).

É atribuída aos egípcios o primeiro processo fabril de um material que, poderia chamar-se de papel: o papiro, que deu origem a palavra papel. A planta, papiro, nativa dos pântanos egípcios começou a ser usada como material para desenho ou escrita de símbolos, por volta do ano 3.000 a.C. O uso do papiro continuou, ainda, até o século IX da Era Cristã (CAMPOS, 2007).

Outro material utilizado para escrita, considerado mais antigo que o Papiro, foi a pele de animais como ovinos e caprinos. Há registros feitos pelo naturalista romano Plínio (23-79 D.C.) sobre a introdução deste material na cidade romana de Pergamo, de onde originou o nome pelo qual é conhecido até hoje: Pergaminho. Enquanto isso, o papel como se conhece até hoje, começa a tomar forma na China (KLOCK, 2014).

Em 105 A.C., o imperador chinês Chien-ch'u, irritado em escrever sobre seda e bambu, ordena a Ts'ai Lun, que invente um novo material para a escrita. Ts'ai Lun produz uma substância feita de fibras de casca da amoreira, restos de roupa e cânhamo, umedecendo e batendo a mistura até formar um mingau. A seguir, usando uma peneira e secando ao sol a fina camada ali depositada, foi possível obter uma folha de papel. O princípio básico desse processo é o mesmo usado até hoje na fabricação do papel (DRUMOND, 2004).

A invenção do papel, porém, permaneceu confinada e mantida como um segredo pelos chineses durante mais de 600 anos. No ano de 761 d.C. um exército

árabe atacou a cidade de Samarcanda, integrada ao império chinês daquela época. E lá os árabes conheceram uma fábrica de papel. Os técnicos chineses foram presos e transportados alguns anos mais tarde para Bagdá, cidade muçumana recém fundada, dando início naquela região à primeira fabricação de papel a oeste das fronteiras do grande e desenvolvido império chinês. Tal fabricação permaneceu em segredo durante muitos séculos, até que no século XI foi introduzido pelos árabes na Espanha, dando início ao caminho da “arte de fazer papel” percorrido pelo ocidente. Daí se espalhou por outros países da Europa, alcançando a Inglaterra em 1494 (CAMPOS, 2007).

O papel, durante a maior parte de sua história, foi fabricado manualmente, persistindo até o aparecimento da 1ª máquina de papel, na França. Em 1799 o francês Louis Nicolás Robert inventou uma máquina que possibilitava a formação de uma folha de papel com comprimento infinito. Era construída de madeira e possuía uma tela de tecido suspensa por roletes, na qual era lançada uma suspensão de fibras. Robert por dificuldades financeiras e técnicas, não conseguiu levar adiante o seu projeto e foi obrigado a vender sua patente a dois franceses, os irmãos Fourdrinier (IPT, 1988).

No ano de 1803, a máquina era introduzida e aperfeiçoada na Inglaterra, pelos irmãos Fourdrinier, nome pelo qual ficou conhecida essa máquina pioneira no processo contínuo de fabricação de papel. Tais máquinas, produzidas a partir da 1ª metade do Século XIX, continuaram sendo aperfeiçoadas até a 2ª metade deste século. Na sequência, foram introduzidas pastas feitas de madeira de diversas plantas. Desta forma, decresceu, a importância das pastas de trapos, inicialmente utilizadas na fabricação do papel (CAMPOS, 2007).

Hoje a máquina Foudrinier, contém basicamente as mesmas etapas do primeiro modelo, havendo mudanças apenas nos elementos que compõem a mesma (CAMPOS, 2007).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PAPEL

O papel tem múltiplas aplicações, serve para imprimir, escrever, compõe embalagens de produtos, é utilizado para fins sanitários, e tem ainda utilidades especiais, em selos, papel moeda, filtros de café, motores dos automóveis, entre

tantos outros exemplos (BRACELPA, 2014). Os papéis possuem variadas classificações, conforme, Tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos tipos de Papel em função do uso e características.

| | |
|----------------------------------|---|
| Papéis utilizados para impressão | <i>Acetinados</i> : impressão; <i>Bíblia</i> : para confecção de bíblias e certos impressos de espessura baixa; <i>Bouffant</i> : usado para impressão de livros, em serviço geral de tipografia e mimeografia; <i>Couché</i> : reúne todas as qualidades necessárias para a reprodução perfeita de “clichés”; <i>Imprensa</i> : para impressão de jornais e periódicos; <i>Jornal</i> : usado para impressos comerciais, blocos de rascunho e outros; <i>Monolúcido</i> : para rótulos, embalagens, cartazes, sacolas e papéis fantasia; e <i>Offset</i> : impressão em Offset; |
| Papéis para escrever | <i>Apergaminhado</i> : para correspondências, formulários, impressos, cadernos escolares e envelopes; <i>Correspondência aérea</i> : usado essencialmente para correspondência aérea; <i>Flor Post</i> : geralmente utilizado para segundas-vias em correspondência ou formulários impressos; |
| Papéis para embalagem | <i>Embalagens leves e embrulhos</i> : para tubetes, conicais, padarias, confecção de envelopes, forrar caixa de fósforo, entre outras aplicações; <i>Embalagens pesadas</i> : usados para sacos e embalagens industriais de grande porte, sacos de pequeno porte, sacolas, sacos de farinha, saquinhos, embrulhos, entre outras diversas funcionalidades; |
| Papéis para fins sanitários | <i>Papel higiênico</i> : usado especificamente em toaletes; <i>Guardanapo</i> : textura e absorção são alguns de seus atributos; <i>Toalhas de mão</i> : Tem uso normalmente comercial, consumido em rolos ou folhas intercaladas; <i>Toalhas de cozinha</i> : destinadas ao consumo residencial para limpeza em geral, como de pias e fogão; e <i>Lenços</i> : têm menor gramatura, sendo úteis para limpeza facial. |
| Cartões e cartolinas | <i>Papel cartão duplex</i> : além da rigidez para compor embalagens e caixas, tem elevada resistência superficial, espessura uniforme e absorção de água e tinta compatíveis com a impressão offset. <i>Papel cartão triplex</i> : é usado em embalagens de chocolates, cosméticos, medicamentos, fast foods e bebidas; <i>Cartão sólido</i> : compõe embalagens de cosméticos, medicamentos, produtos de higiene pessoal, capas de livro, cartões-postais e cigarros; <i>Cartolina branca e colorida</i> : têm variados usos: pastas para arquivos, calendário, etiquetas, encartes escolares, cartões de ponto, capas de livros e cadernos, etc; <i>Papelão</i> : com utilidade diversa, das caixas à encadernação de livros. <i>Polpa moldada</i> : são fabricados produtos como bandejas para transporte e proteção de hortifrutigranjeiros, ovos, calços para lâmpadas, celulares, geladeiras e fogões. |
| Papéis especiais | <i>Papéis auto-adesivos</i> : compõem etiquetas e fitas adesivas para fechar embalagens; <i>Papéis decorativos</i> : para revestimento de chapas de madeira ou compensados, móveis e pisos; <i>Papéis metalizados</i> : recebem revestimento metálico para fins industriais; <i>Papel absorvente</i> : base para laminados com alta absorção, é utilizado para o manuseio de resinas sintéticas na fabricação de laminados plásticos; <i>Papel autocopiativo</i> : produzem cópias duplicadas em blocos sem a necessidade de papel carbono; <i>Papéis crepados</i> : base para germinação de sementes, fitas adesivas e reforço de costura em sacos multifoliados; <i>Papel de segurança</i> : destina-se à impressão de selos, papel-moeda, tickets, ingressos, passes escolares e documentos que exigem proteção contra fraudes; <i>Papel filtrante</i> : tem uso em diferentes processos industriais de filtração; <i>Papel kraft especial para cabos elétricos</i> : confeccionado sem metais e outros materiais condutores de eletricidade, elevada resistência mecânica e elétrica; <i>Papel kraft especial para condensadores</i> : tem porosidade e pureza química específicas para uso em condensadores; <i>Papel kraft especial para fios telefônicos</i> : apresenta elevada resistência mecânica, é usado nos fios condutores de cabos telefônicos. |

Fonte: Bracelpa, 2014.

Conforme relatado por Campos (2007) os papéis para fins sanitários, também conhecidos por papel “Tissue”, representam cerca de 6 % do volume de papéis de todos os tipos produzidos no mundo.

Os papéis Tissue são aqueles que possuem uma textura macia, flexível, com gramaturas típicas entre 10 g/m² e 50 g/m² e alta capacidade de absorção de líquidos, ou seja, são o papel higiênico, papel toalha, guardanapo, lenço facial, entre outros (BARROS, [s.d.]).

2.2 CELULOSE PROVENIENTE DA MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DO PAPEL

O aumento do consumo de papel ao longo do tempo trouxe como alternativa as fontes de fibras vegetais provenientes da madeira. Na seleção da matéria-prima fibrosa de origem vegetal se considerou a disponibilidade em grande quantidade o ano todo, possibilidade de uma exploração econômica, ser facilmente renovável e o fornecimento de um produto final com as características desejadas (IPT, 1988).

Segundo ainda o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1988) a quase totalidade das espécies produtoras de madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica são exóticas, sendo nativas apenas o pinho-do-paraná e a bracatinga. O eucalipto proveniente da Austrália e Tasmânia, foi introduzido em outros continentes, inicialmente como planta ornamental, passando, posteriormente, a ser utilizado para reflorestamentos em geral.

De acordo com Gomide (2014), no Brasil, o eucalipto (*Eucalyptus*) é a matéria-prima principal para a produção da pasta celulósica junto ao pinus (*Pinus*). As primeiras espécies de *Eucalyptus* introduzidas no Brasil datam de 150 anos atrás. Porém, seu cultivo intensivo iniciou-se no estado de São Paulo, a partir de 1904, para cobrir as necessidades de lenha da antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro.

Numa floresta convencional para celulose, são plantadas de 1100 à 1500 árvores por hectare, estas quando cortadas possuem uma altura entre 28 a 34 metros e diâmetro médio de 18 a 20 centímetros. Para produzir uma tonelada de celulose são utilizadas, em média, 16 árvores de *Eucalyptus*, ou seja, 1 hectare de floresta com 7 anos produz aproximadamente 76 toneladas de celulose (GOMIDE, 2014).

“A celulose é quimicamente definida como um polímero de cadeia linear, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos na temperatura ambiente. Possui estrutura organizada e parcialmente cristalina” (MAGATON, 2014, p.24).

As fibras do ponto de vista papeleiro são classificadas em fibras longas e fibras curtas. O eucalipto é fornecedor de fibra curta e o pinus fornecedor de fibra longa. (IPT, 1988).

No processo de fabricação de papel Tissue da empresa em questão, no atual momento está sendo utilizada apenas a celulose formada por fibra curta

2.3 SEÇÃO DE FORMAÇÃO DO PAPEL “TISSUE” – VISÃO GERAL

A fabricação do papel inicia-se com a desagregação da matéria-prima, que é a celulose. Esta é transformada em uma suspensão diluída junto com a água. Após a desagregação a polpa celulósica é direcionada para a refinação na qual a fibra sofrerá um tratamento de fibrilação, aumentando sua área superficial (DRUMOND, 2004).

Terminando a refinação, a suspensão de fibras é direcionada para o tanque de mistura, onde se inicia a adição de outros componentes químicos que irão constituir o papel. Do tanque de mistura a massa é direcionada para o sistema de depuração ou limpeza fina composta de limpadores centrífugos e depuradores pressurizados, os quais limpam a massa por força centrífuga e por peneiras, respectivamente (DRUMOND, 2004).

Seguindo o sistema de depuração fina tem-se a máquina de papel propriamente dita. A função da máquina de papel é remover a água da suspensão de fibras proveniente do circuito de preparação de massa e formar a folha de papel. Basicamente, a máquina de papel é constituída de quatro seções: Formação, Prensagem, Secagem e Enroladeira, conforme mostra a Figura 1 (BARROS, [s.d.]).

Figura 1: Etapas principais da máquina de papel Tissue.

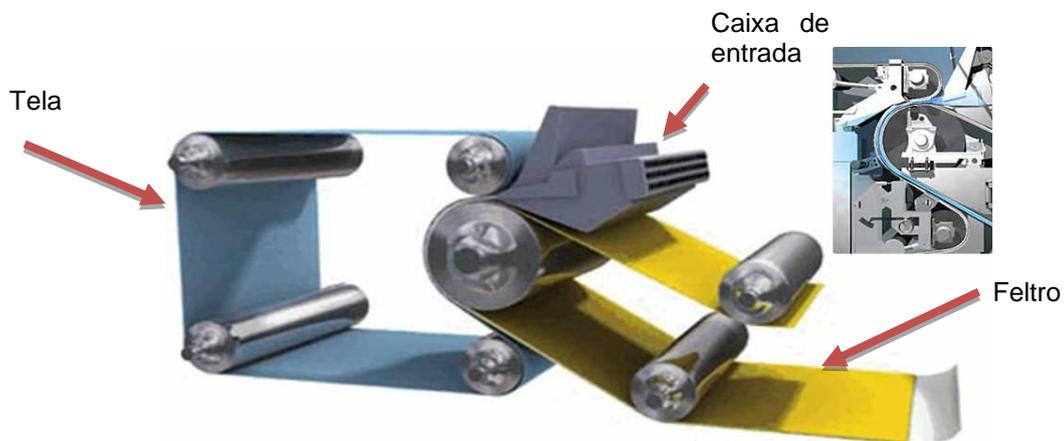


Fonte: Barros, [s.d].

Como relatado por Campos (2007) no mercado há vários tipos de formadores de máquinas de papel disponíveis: forma redonda, mesa plana ou “Fourdrinier”, tela inclinada com rolo formador de sucção, dupla tela com rolo formador sólido e “Crescent Former” que é o mais atual, respondendo por mais de 60 % do fornecimento de máquinas “Tissue”.

A seção inicial de formação do papel é composta pela caixa de entrada, tela formadora, feltro e rolos (representados na Figura 2). Um jato de suspensão de fibras, proveniente da caixa de entrada, atinge a tela formadora, consolidando-as e formando uma folha de papel. Neste momento, também se tem o desaguamento inicial, por ação da força centrífuga gerada pelo movimento do rolo formador no *Crescent Former* (BARROS, [s.d.]).

Figura 2: Estrutura do início de formação do papel na Máquina de Papel.



Fonte: Campos, 2007, p. 14.

Tanto a tela como o feltro, são apoiados em um único rolo de grande diâmetro, com velocidade de 1100 a 1500 m/min, chamado de rolo formador. O papel é formado em cerca de 0,15 segundos. Sendo que, na separação da tela e feltro, o papel acompanha naturalmente o feltro. Ocorre aplicação de vácuo no rolo de sucção e no condicionamento do feltro para manter a estabilidade dos mesmos e ajudar na retirada da água. A velocidade máxima para este conceito de máquina atualmente está sendo projetada para 2.200 m/min (CAMPOS, 2007).

Na caixa de entrada é de extrema importância ter baixa consistência da massa, pois permite obter uma homogeneização e distribuição uniformemente dispersa da suspensão. A consistência na caixa de entrada é próxima a 0,15%, após a compressão entre feltro e tela a consistência aumenta para em média 12% (CANANI, 2013).

Campos (2007) explica que a retenção pode ser definida como a proporção de massa de papel que segue nos próximos estágios do processo. Utilizando matéria prima virgem, a retenção em um formador do tipo “Crescent Former” será de 60 a 75%. Existem dois tipos básicos de retenção: a mecânica e a química.

A retenção mecânica é causada pela “manta” de papel na tela formadora, agindo como um filtro, através do entrelaçamento das fibras, retendo as partículas de maior tamanho. Já a retenção química é efetuada através de ligações químicas, responsáveis pela retenção da maior parte dos produtos de tamanho inferior a abertura de tela. (CAMPOS, 2007).

Após a formação, o papel segue sobre o feltro para a seção de prensagem, onde ocorre o desaguamento por compressão mecânica e ação do vácuo. (BARROS, [s.d.]) A função principal da prensa é remover a maior quantidade de água possível, mantendo as propriedades físicas da folha (CANANI, 2013).

A folha antes de entrar na prensa apresenta uma consistência de aproximadamente 12% e após a prensa 42%. A água remanescente após prensagem está retida por força da capilaridade dentro dos poros das fibras e dentro dos cristalitos da celulose. Esta água, principalmente a última, só pode ser removida pela aplicação de calor (CAMPOS, 2007).

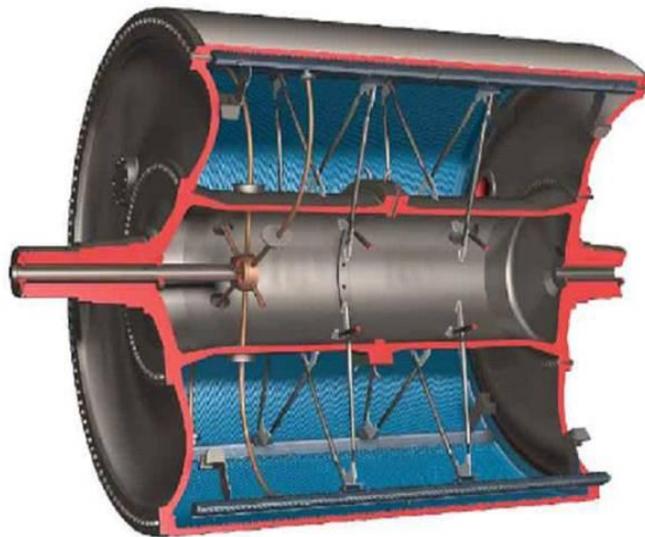
Outra função importante da prensa é transferir o papel do feltro ao cilindro secador Yankee, onde irá ocorrer o processo de secagem (BARROS, [s.d.]).

No processo de fabricação de papel a secagem é extremamente importante para se atingir as propriedades físicas desejadas. A secagem da folha é dividida

proporcionalmente, sendo 60% de responsabilidade do cilindro secador (Yankee) e 40% das capotas, onde é insuflado ar quente sobre a folha podendo chegar a temperatura de até 470°C (CANANI, 2013).

O Yankee é um secador cilíndrico com uma superfície que entra em contato com a folha de papel, e é altamente polida. O Yankee tem o diâmetro de 5,486m, largura de 5,95m, perímetro de 17,23m e o mesmo trabalha na velocidade média de 1750m/min, sua estrutura pode ser vista na Figura 3 (CAMPOS, 2007).

Figura 3: Estrutura interna do cilindro secador Yankee.



Fonte: Campos, 2007, p. 73.

Seu interior é ranhurado, com uma haste central e possui 576 “pescadores” para coletar o condensado, gerado devido ao contato íntimo da folha com a camisa (parte externa que envolve o cilindro) do secador (CANANI, 2013).

A principal função da capota é a evaporação da água da folha e a exaustão do vapor d’água liberado no processo de secagem, podendo operar com temperatura de ar insuflado de até 510°C e velocidades de até 160m/s. Normalmente, devem ser construídas em aços especiais para suportar a alta temperatura (CAMPOS, 2007).

A folha, já pronta para ser destacada da face do cilindro secador através de uma lâmina de aço é enrolada na enroladeira em forma de jumbo rolo, que depois vai ser convertido em rolos menores e formar então os rolinhos de papel higiênico (CAMPOS, 2007).

2.4 USO DA ÁGUA PARA FABRICAÇÃO DO PAPEL TISSUE

Santos Filho (1987) informa que em geral a qualidade da água para a indústria de papel varia de acordo com a qualidade do produto requerido, podendo utilizar desde água comum, tipo potável, até água desmineralizada.

Normalmente papéis de qualidade superior, como o Tissue, são mais exigentes quanto aos parâmetros de água. Podendo ser empregada, por exemplo, água com turbidez de até 5 ppm, 5 unidades Hazen, dureza de 50 ppm, ferro 0,1 ppm, manganês 0,05 ppm e sólidos totais de até 200 ppm (SANTOS FILHO, 1987).

É recomendado ainda por Santos Filho (1987) água com baixas concentrações de ferro e manganês para a maioria das indústrias de papel, pois estes metais tendem a produzir manchas nos papéis manufaturados. A celulose retém com facilidade o ferro presente em soluções muito diluídas.

Braile e Calvacanti (1979) lembram que a água proveniente da máquina de papel é chamada de “água branca” devido a coloração produzida pelos sólidos em suspensão. Sendo que, na fabricação do papel, uma quantidade substancial de pequenas fibras é carregada, por meio de telas (peneiras), pela água usada no processamento. É inevitável que pequena parte dessas fibras se perca no efluente. Com o material fibroso, são perdidos, também, materiais de “carga”: caulim e outros componentes do papel.

O recolhimento da água branca em grande volume é feito em um só ponto, na frente da máquina, atrás do rolo formador, quase horizontalmente, através de bandejas e dutos especialmente desenhados para evitar respingos, homogeneizar a saída do fluxo e ainda não permitir excesso de nebulosidade (CAMPOS, 2007).

O carregamento das fibras e do material de carga traz como consequência não apenas um desperdício, mas, também, fatores de poluição dos cursos d’água, transmitindo cor, turbidez, formando bancos de lodo que se decompõem anaerobicamente com produção de odores desagradáveis, e as fibras orgânicas que aumentam a DBO dos cursos d’água (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

Ainda de acordo com os autores, a recuperação desse material é prática comum, sendo normalmente feita por meio de tanques de sedimentação ou flotação (recuperadores de massa). Os sólidos são concentrados por um espaçador de lodo no recuperador de massa e enviados para a primeira etapa de fabricação. A água é reaproveitada porque a matéria prima nela contida é de custo elevado.

É comum o crescimento de limo na água recirculada que pode vir a prejudicar a fabricação do papel e criar sérios problemas no processo. Para isso é utilizado como medida de controle: o cloro (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

A água que é recuperada no processo pode ser aproveitada na máquina de papel, considerando toda a água utilizada nas fábricas de celulose e papel, a quantidade de água residuária gerada seria muito grande se não houvesse reutilização (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

2.5 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O destino final de qualquer efluente é o encaminhamento a um corpo de água. Em consequência disto, aparece a possibilidade de virem a ser gerados certos inconvenientes, como por exemplo, o desprendimento de maus odores, diminuição e comprometimento da qualidade da água, mortandade de peixes e até problemas de saúde (IMHOFF, Klaus et al., 1996).

Objetivando a remoção dos poluentes, para atender as condições e padrões de lançamentos e de qualidade das águas receptoras, existe o sistema de tratamento de água residual. Este é um conjunto de processos unitários que funcionam de forma organizada. O conjunto de unidades, órgãos auxiliares, acessórios, dispositivos e equipamentos é denominado de Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (NUNES, 2012).

As estações de tratamento de efluentes são projetadas para remover as características reprováveis. Os projetos das mesmas variam consideravelmente, mas com frequência, assumem de forma geral: sistema de tratamento primário, que são geralmente processos físicos; processos de tratamento secundário, são comumente biológicos; e sistema de tratamento terciário, que podem ser físicos, biológicos ou químicos (VESILIND; MORGAN, 2011).

Os poluentes presentes na água provenientes do processo de fabricação devem ser removidos de maneira que possa ser descarregado nos cursos d'água e/ou melhorar a qualidade do efluente a ponto de poderem ser reutilizados na fábrica (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

De acordo com Braile e Cavalcanti (1979) os despejos das fábricas de papel, têm origem na máquina de fabricação do papel, nos refinadores, nas caixas de regulagem de consistência e mistura da massa, e nas peneiras depuradoras da

massa. Os resíduos gerados normalmente pelo processo são fibras finas, areia, plásticos, partículas metálicas, cola ou amido, cargas e corantes (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

A fabricação de papel é geradora de efluente com alta carga de matéria orgânica, devido a utilização da celulose. Sendo esta, conforme exposto por Nunes (2004) um composto considerado como o principal poluente dos corpos de água, pelo fato de causar o consumo de oxigênio dissolvido através de microrganismos que a utilizam nas suas atividades metabólicas.

“Os açúcares, amidos e celulose são os carboidratos mais encontrados nas águas residuais. Os açúcares são solúveis, o amido insolúvel e a celulose é entre eles o mais resistente à degradação microbiana” (NUNES, 2004, p. 71).

2.5.1 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR - Reator de Leito Móvel com Biofilme)

O processo MBBR (MBBR - Reator de Leito Móvel com Biofilme) é uma tecnologia de desenvolvimento relativamente recente para o tratamento de efluente. O conceito incorpora características dos processos com crescimento de biomassa em suspensão e aderida a um tipo de biofilme (DE OLIVEIRA, et al., 2012).

No interior de um tanque com aeração são mantidos em suspensão meios de suporte, plásticos, de baixa densidade. Estes, sujeitos à agitação, apresentam elevada mobilidade e, conseqüentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão, aumentando a totalidade da biomassa e a elevação do tempo de retenção celular (CESA/UFRJ, [s.d.]).

Elementos como este providenciam uma grande e segura superfície e ótimas condições para reprodução das bactérias e geração do biofilme. O biofilme também fornece um substrato mais estável para as bactérias se desenvolverem, assim requer menos espaço se comparado com outros sistemas biológicos e muito menos controles (LUPPI, [s.d.]).

A razão para o emprego de um meio de suporte no reator biológico consiste na criação de área superficial para o crescimento de biomassa e elevação do tempo de retenção celular. A maior concentração de sólidos mantida aderida e em suspensão permite o aumento da capacidade de decomposição de matéria orgânica presente no efluente e conversão desta em compostos nitrogenados. O material

para fabricação do meio de suporte, ilustrado na Figura 4, é normalmente polietileno ou polipropileno (DE OLIVEIRA, et al., 2012).

Figura 4: Meio de suporte em sistema MBBR.



Fonte: Luppi, [s.d.]

2.6 REUSO INDUSTRIAL

O reuso de efluente tratado vem como uma alternativa, de redução da captação do recurso hídrico presente na natureza, para utilização no processo.

Segundo Telles e Costa (2007) o reuso é feito dentro da própria planta geradora do efluente, após a passagem do mesmo por um sistema de tratamento, de modo a adequar a qualidade do efluente à qualidade demandada no processo.

Segundo Mancuso e Dos Santos (2003), de maneira geral, o reuso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não.

Para o reuso é importante considerar os parâmetros indicadores de qualidade da água.

A primeira consideração que se aconselha fazer em casos de reuso de água é com a presença de microrganismos patogênicos, garantindo que esses não estejam presentes na água em densidade que representem um risco significativo para saúde de usuários (MANCUSO; DOS SANTOS, 2003).

3 METODOLOGIA

Tendo como alvo o aumento da taxa de reuso do efluente tratado na indústria de papel Tissue, Kimberly Clark Brasil Ltda, desenvolveu o presente projeto com o auxílio de ferramentas utilizadas no controle de qualidade, o Lean e o Seis Sigma.

A associação destas duas ferramentas permite um maior nível de eficiência. Enquanto o Lean tem foco na eliminação de desperdícios ao longo do processo; o Seis Sigma é o aumento da qualidade e redução de variabilidade dos processos críticos buscando a garantia da satisfação do cliente, que no caso é a máquina de papel, principal destino do efluente tratado.

O objetivo do uso destas ferramentas é identificar e selecionar os pontos críticos, apontar as oportunidades de soluções de melhorias, além de acompanhar o projeto garantindo subsídios e comprometimento para seu bom andamento.

O estudo foi dividido em etapas, sendo que a primeira é definir. Nesta etapa determinou-se a meta mínima a ser atingida com base no histórico dos dados.

Após, foi contemplada a etapa medir, que descreve o mapeamento do processo e estabelecimento da capacidade do mesmo. Na sequência, fundamentou-se a descrição da empresa, com enfoque no processo produtivo, e destacando sistemas operacionais da Máquina de Papel. Paralelamente, descreveu-se o funcionamento da ETE e a exigência das condições para o efluente tratado.

Na terceira etapa, com a finalidade de analisar, já de posse do fluxograma do processo produtivo, e dos limites de parâmetro de qualidade da água conforme exigências da máquina de papel, procurou-se identificar os principais pontos críticos de controle. Como instrumentos para esta etapa utilizou-se os métodos de mapeamento das variáveis mais relevantes, identificando as oportunidades potenciais com a estratificação dos x.

Em seguida, foi desenvolvido o processo de análise dos modos de falha e efeito, a fim de se ter o valor de importância de cada modo. A priorização destas variáveis é importante para saber onde se deve atuar para atingir o objetivo.

A listagem e posteriormente a criação do Diagrama de Pareto com os modos de falha são consideradas essenciais para nortear as próximas etapas e colaborar no desenvolvimento das propostas de ações de melhorias.

Com as variáveis principais no Pareto, foi construída a tabela dos 5 por quês contendo as ações de melhorias que deveriam ser realizadas para o cumprimento da meta estabelecida, com embasamento nos possíveis modos de falha levantados na fase anterior.

Estas ações de melhorias foram discutidas com os principais interessados no processo, entre estes os operadores da estação de tratamento de efluentes. Com o propósito de identificar e analisar as causas raiz de cada modo.

Para finalizar, na etapa melhorar foram estudadas as soluções mais cabíveis aos problemas identificados e por conseguinte o planejamento de implementação dos avanços que teriam como consequência a elevação do percentual da recirculação de efluente, atendendo o principal cliente, a máquina de papel.

3.1 HISTÓRIA DA EMPRESA E SUA ATUAL ESTRUTURA NO BRASIL

A empresa em questão é hoje uma das principais referências de higiene e saúde do mundo. Durante 140 anos, a empresa foi responsável pela criação de produtos inovadores e de qualidade.

No Brasil, a Kimberly Clark Brasil Ltda, constituída sob forma de Sociedade Ltda, originalmente denominava-se Klabin Kimberly, a qual se tratava de uma “Joint venture” formada pelas empresas IKPC – Indústrias Klabin de Papel e Celulose S.A. e Kimberly Clark Corporation, a segunda, líder mundial em fabricação de produtos descartáveis. Essa parceria teve duração de 4,5 anos, quando em Julho de 2003, a Kimberly Clark absorveu os 50% que pertenciam à IKCP, em uma transação financeira que envolveu a cifra de 140 milhões de dólares, e a aquisição de 4 plantas produtoras (Correia Pinto, Mogi das Cruzes, Cruzeiro, e Salvador).

A principal razão da associação entre as duas empresas no ano de 1999, foi o interesse em agregar recursos e conhecimentos tecnológicos da norte-americana Kimberly-Clark, gigante no mercado mundial da área de papéis sanitários e descartáveis, com a Klabin, maior fabricante de produtos de papéis no Brasil, a qual contava com *Know how* do mercado brasileiro, bem como marcas fortes no segmento de higiênicos.

A decisão de instalação da companhia norte-americana no Brasil ocorreu em função do potencial do mercado de consumo latino-americano e também devido à

estabilidade econômica. Já o interesse do Grupo Klabin na associação, foi de uma estratégia coordenada pensando no Mercosul.

Atualmente as fábricas instaladas no Brasil, estão situadas em diversas regiões: Mogi das Cruzes e Suzano, em São Paulo, Correia Pinto, no estado de Santa Catarina, Eldorado do Sul no estado do Rio Grande do Sul e Camaçari na Bahia, contando ainda com Centro de Distribuição (CD) em alguns pontos estratégicos. A empresa hoje proporciona mais de 5000 empregos diretos e é considerada de grande porte, tendo participação significativa no mercado de descartáveis do país.

As marcas hoje comercializadas são subdivididas em categorias: *Feminine Care* com o absorvente INTIMUS, *Adult Care* com fraldas geriátricas PLENITUD, *Personal Care* com fraldas infantis HUGGIES e TURMA DA MÔNICA, e os lenços umedecidos BABY E HUGGIES WIPES, na categoria *Family Care*, comercializa os papéis absorventes NEVE, SCOTT, toalhas de cozinha e guardanapos CHIFFON e GOURMET, bem como as linhas de lenços KLEENEX.

A unidade de Correia Pinto está situada no interior de Santa Catarina, na Serra Catarinense, às margens da BR 116, Km 218 e possui 50.910 m² de área construída (Figura 5), produzindo em média 150 toneladas de papel diariamente.

Figura 5: Imagem de satélite ilustrando localização da empresa em estudo (limite ilustrativo em vermelho).



Fonte: Google Earth, agosto, 2014.

3.2 DESCRIÇÃO BÁSICA DOS FLUXOS DE MASSA, ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTE

O processo da empresa onde foi desenvolvido o estudo é composto, basicamente, pelo setor onde ocorre o preparo de massa, pelo equipamento principal que é a máquina de papel e a Estação de Tratamento de Efluente. No preparo da massa e na máquina de papel, ocorre um grande consumo de água, na ordem de 16m³ por tonelada de papel produzido.

3.2.1 Preparação de massa

O processo de fabricação do papel Tissue é bastante longo e detalhado, tendo como característica o fluxo contínuo. De início é realizada a preparação da massa, que consiste na desagregação da celulose.

O Hidrapulper, equipamento que se assemelha a um liquidificador gigante, é responsável por desagregar a celulose. Esta chega em fardos (Figura 6) e por meio de uma esteira são direcionadas ao mesmo. O Hidrapulper dissolve a celulose em água branca clara, com desagregação contínua e consistência em média de 6,5% de massa.

Figura 6: Fardos de celulose prontos para ir ao Hidrapulper.



Fonte: do autor, 2014.

Após, a desagregação da celulose e a preparação da massa, esta é transportada em meio aquoso para o armazenamento no Tanque de Recepção com 90 m³ de capacidade. A consistência da massa é corrigida com injeção de água branca clara para valores entre 4,0 a 5,0%.

Do Tanque de Recepção a massa é bombeada para os Depuradores de Massa Densa que são equipamentos que objetivam remover as impurezas grossas, como: areia, pedras e pequenos metais. O processo ocorre por atuação da força centrífuga, formando um vórtice nos cones que compõem o equipamento separando a massa de resíduos pesados.

Dependendo da qualidade da desagregação no início do processo, o fluxo passará pelo despastilhador (possui a função de desmanchar os grumos oriundos da má desagregação). Então esta massa segue para o Tanque de Mistura sendo corrigida a consistência novamente para em média 3,5%.

O Tanque da Máquina recebe o fluxo de massa do Tanque de Mistura e este é bombeado para um Refinador (com a função de fibrilar a fibra, deixando-a encorpada e aumentando os pontos de ligação, conseqüentemente sua resistência à tração) e/ou para caixa de nível (serve para manter o fluxo de massa constante). Da caixa de nível o fluxo de massa passa pelas válvulas de gramatura, de ajuste grosso e ajuste fino, onde será dosada a quantidade de massa que vai seguir no processo.

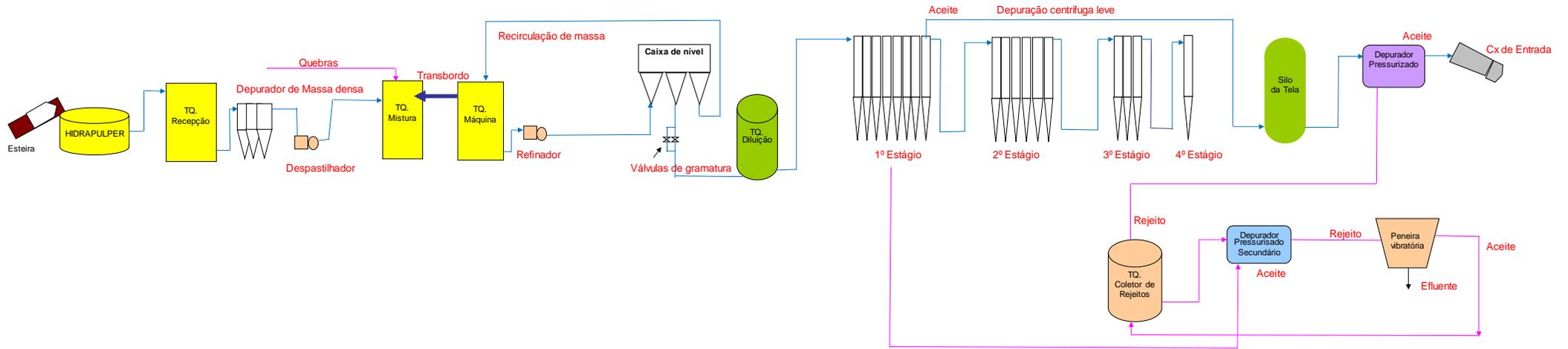
Das válvulas de gramatura a massa será diluída a uma consistência de em média 1% no Tanque de Diluição. Então, esta segue para o Depurador, iniciando o processo de depuração centrífuga leve, lá são retiradas impurezas menores que podem estar presentes na massa, como areia, pedaços de madeira, entre outras.

Neste equipamento existe um total de quatro estágios, funcionando da seguinte maneira: o aceite de massa do primeiro estágio é bombeado para o silo da tela baixando a consistência da massa para 0,15 a 0,20% e mantendo o fluxo constante na bomba de mistura. Nos próximos estágios os aceites irão para o estágio anterior e os rejeitos para o estágio posterior. O aceite do segundo estágio é enviado para o primeiro e o rejeito do segundo para o terceiro estágio, e assim sucessivamente, com exceção do rejeito do quarto estágio que é descartado no canal de efluentes.

Do silo da tela a água é direcionada para o Depurador Pressurizado, a fim de remover impurezas ainda presentes na massa, sendo que o aceite segue direto para a Caixa de Entrada e o rejeito é enviado ao Tanque Coletor de Rejeito e na

sequência ao Depurador Pressurizado secundário. Neste, a massa do aceite volta ao primeiro Depurador Pressurizado e o rejeito para a Peneira Vibratória, que vai separar: o efluente é para a ETE e o aceite vai para o Tanque Coletor de Rejeitos. A Figura 7 mostra o fluxograma do processo de Preparação de Massa, conforme explicado neste item.

Figura 7: Fluxograma processo de preparação de massa.



Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

3.2.2 Formação do papel

Considera-se como área de formação da folha quando os aceites, dos primeiros estágios da depuração centrífuga leve, são bombeados para os depuradores pressurizados e em seguida para a caixa de entrada da máquina. Após passagem por depuradores a massa segue para a caixa de entrada com uma consistência de aproximadamente 0,10 a 0,18%.

A caixa de entrada é constituída por bancos de tubos, no intervalo de cada um deles há uma lâmina de LEXAN, com a finalidade de no interior da caixa uniformizar o fluxo e eliminar turbulência. É permitido na caixa de entrada produzir um produto composto por camadas.

O jato de massa é descarregado entre a tela e o feltro. Ambos comprimem a suspensão de fibras que passa sobre o rolo formador, este suporta o feltro e a tela, que definem o trajeto da folha. O rolo formador de grande diâmetro combinado com a tensão da tela produz a pressão de drenagem para desaguamento. Com o rolo formador sólido toda drenagem inicial da água é feita através da tela. A pressão da drenagem é diretamente proporcional à tensão da tela e a consistência na caixa de entrada é de aproximadamente 0,15%, após a compressão entre feltro e tela passa para aproximadamente 12%.

Finalizando o processo de prensagem a folha formada será encaminhada à área de secagem por meio do feltro. A folha antes de entrar na prensa apresenta uma consistência de aproximadamente 12% e após prensa 42%.

3.2.3 Seção de prensagem

A principal função da prensa é remover a maior quantidade de água possível, mantendo as propriedades físicas da folha e transferindo a folha da parte úmida para a área de secagem.

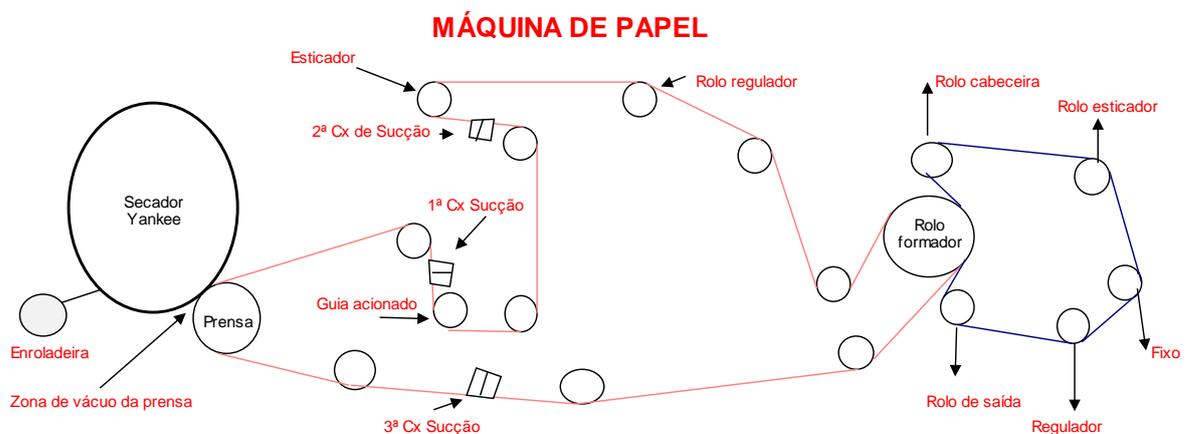
3.2.4 Secagem da Folha

No processo de fabricação de papel a secagem é extremamente importante para se atingir as propriedades físicas. A secagem da folha é dividida proporcionalmente, sendo 60% de responsabilidade do cilindro secador e 40% das

capotas, onde é insuflado ar quente sobre a folha podendo chegar a temperatura de até 470°C.

Na Figura 8, podem ser vistas as principais etapas de fabricação na Máquina de Papel, iniciando com o Rolo Formador, então a Prensa e o secador Yankee. A linha vermelha representa o feltro, transportador da massa contendo fibras para formação do papel.

Figura 8: Componentes da Máquina de Papel Tissue.



Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

3.2.5 Enroladeira

A folha é destacada da face do cilindro secador através de uma lâmina de aço. Em seguida o papel é enrolado na estanga, que é o suporte da bobina, para formar o Jumbo Rolo. Este possui diâmetro de em média 2,40 metros e está representado na Figura 9. Após sua formação a bobina é envolta com um plástico por questões de higiene e também para evitar avarias no papel durante sua estocagem ou até mesmo no transporte.

Figura 9: Estoque de Jumbo Rolo.



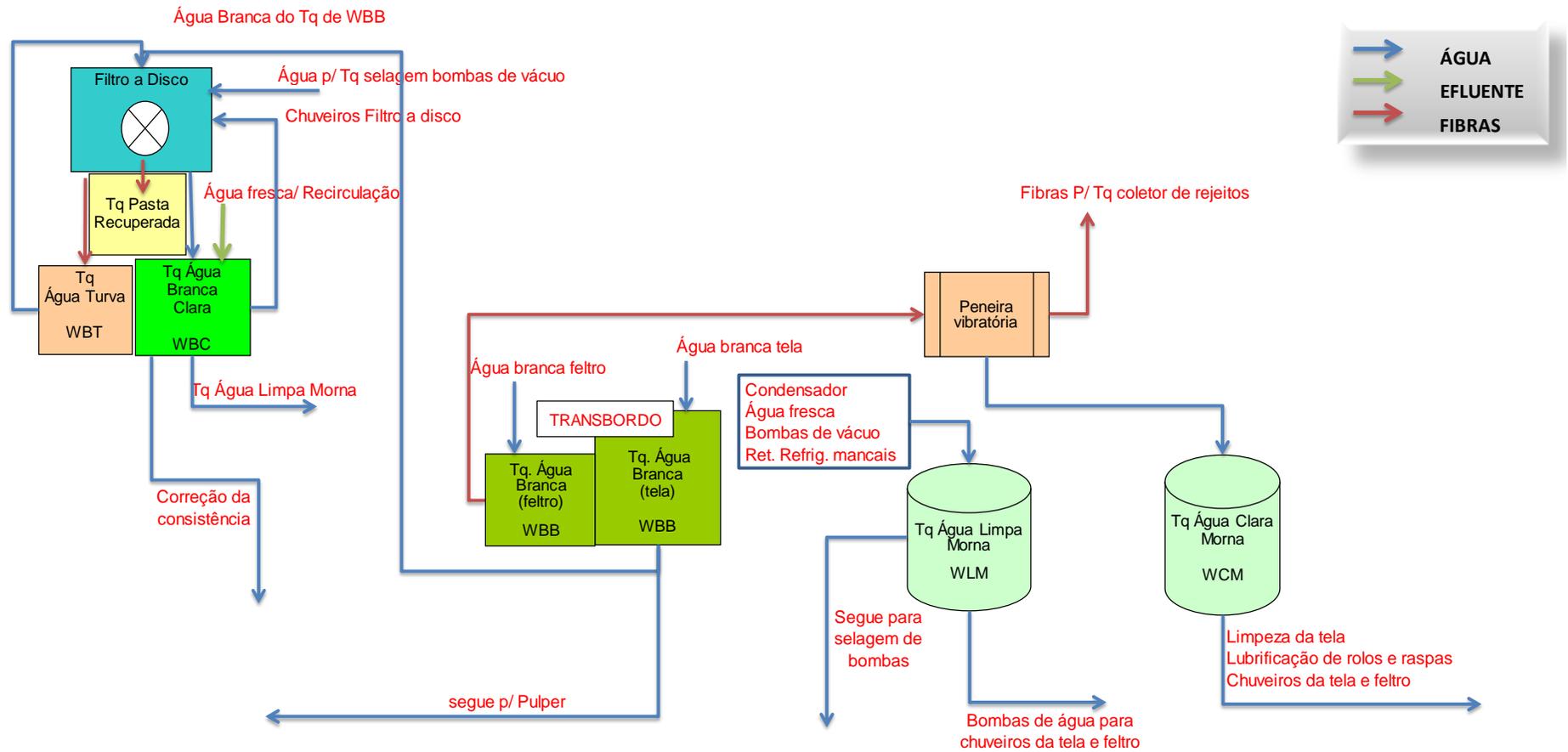
Fonte: do autor, 2014.

Frequentemente são gerados resíduos no final do processo, principalmente quando se tem dificuldades de formação da bobina, estes são encaminhados ao Hidrapulper de quebras, localizado na própria máquina, para retornar ao processo.

3.3 FLUXO DE ÁGUAS NA MÁQUINA DE PAPEL

A fabricação de papel em geral é uma grande consumidora de água. Esta é nomeada durante o processo de diferentes formas dependendo de suas características e localização ao longo da produção. O fluxograma apresentado na Figura 10 representa o fluxo da água na produção do papel.

Figura 10: Fluxo de água no processo de fabricação do papel.



Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

A água coletada do desaguamento na produção do papel é direcionada aos tanques de armazenamento, que ficam localizadas no fundo da máquina. Após, segue para os Tanques de Água Branca (WBB), juntamente com o transbordo dos Silos da Tela. Esta água com fluxo contínuo é utilizada nos seguintes equipamento/processos:

- Filtro a Disco: tem como objetivo a clarificação da água que segue para o Tanque de Água Branca Clara e recuperação de fibras que irão para o Tanque de Pasta Recuperada e voltam ao processo. O rejeito do filtro a disco é a Água Turva, sendo que o aceite do Tanque de Água Turva (WBT) alimenta a entrada do Filtro a Disco, junto com a Água Branca e o rejeito vai para a ETE.

- Pulper: onde será utilizada a água na diluição de massa novamente; e

- Peneira Vibratória: para limpeza de impurezas da água, como resíduo de madeira e plástico. Nesta, o aceite vai para o Tanque de Água Clara Morna (WCM) e o rejeito para o Tanque Coletor de Rejeitos.

A água clarificada (Água Branca Clara - WBC) é direcionada para alimentação dos Depuradores de Massa Densa e correção de consistência nos Tanques de Massa, juntamente com a Água Fresca que é injetada no Tanque de WBC.

O Tanque de Água Limpa Morna (WLM) é constituído por águas limpas do ar condensado da máquina que chega com alta temperatura, água fresca que ajuda a baixar a temperatura da água do condensador, água das bombas de vácuo, água branca e água de refrigeração dos mancais.

A água limpa morna alimenta as bombas do chuveiro do feltro e tela e na selagem das bombas.

No Tanque de Água Clara Morna tem Água Recuperada da Peneira Vibratória e Água Branca Clara. A Água Clara Morna contendo ainda um pouco de fibras, é distribuída para limpeza de chuveiros e lubrificação.

3.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE – ETE

Segundo dados do Relatório de Sustentabilidade anual, da empresa em Kimberly-Clark, em 2013 foram retirados 741.8500 metros cúbicos do Rio Canoas, que abastece a unidade de Correia Pinto, em Santa Catarina.

Considerando que a K-C fabrica produtos de papel, a gestão de água torna-se importante por ser uma das suas principais matérias primas. O objetivo da empresa

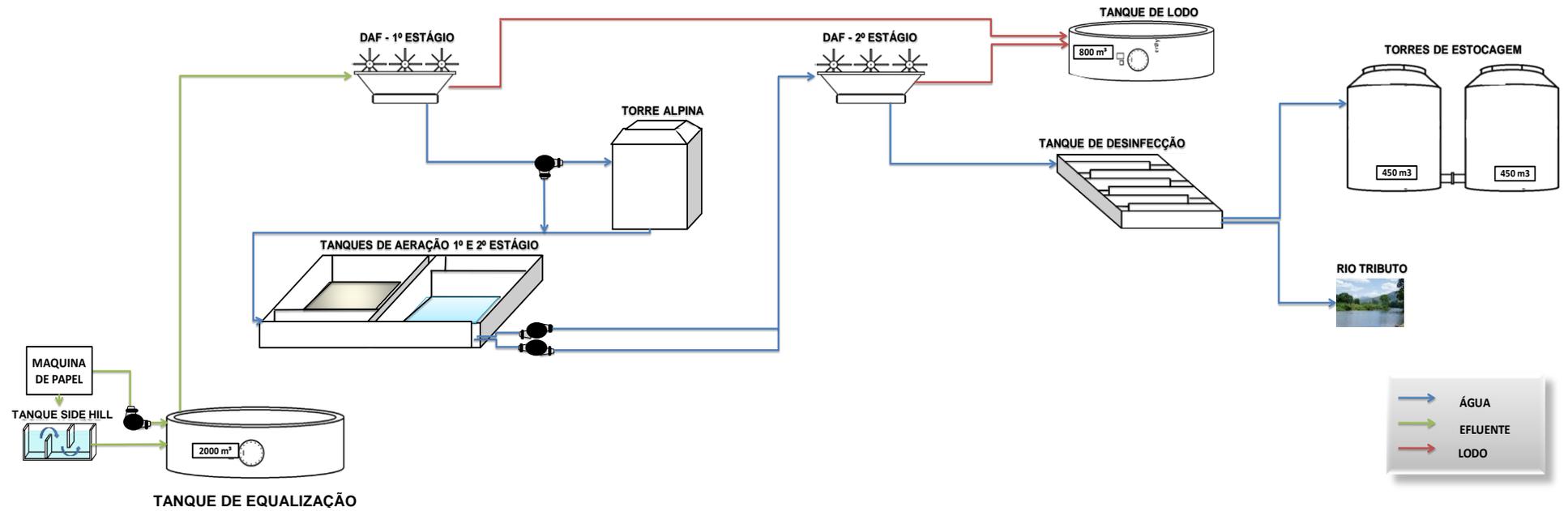
é sempre utilizar a menor quantidade de recursos naturais possível em seu processo industrial.

A unidade de Correia Pinto descarta em média 53 mil metros cúbicos ao mês, com percentual de tratamento de 100% e aproximadamente 90% de eficiência de remoção, avaliando-se as características físicas e químicas.

Depois de utilizada no processo de fabricação do papel, a água (classificada como efluente) segue para a Estação de Tratamento de Efluentes. Esta tem a finalidade de torná-lo com características que atendam a Resolução CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Estação de Tratamento recebe o efluente da máquina de papel e tem capacidade de tratar 315 m³/h. A mesma é composta por processos químicos e biológicos. O fluxo do efluente na estação de tratamento está representado na Figura 11. As respectivas etapas serão apresentadas detalhadamente nos itens a seguir.

Figura 11: Fluxo do processo de tratamento de efluentes.



Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

3.4.1 Tanque de equalização

O processo inicia com a chegada do efluente no Tanque de Equalização, com vazão média de 90 m³/h. O pH deve estar previamente ajustado antes de chegar ao tanque, sendo considerado ideal na faixa de 6,5 a 7,5. O tanque apresentado na Figura 12 é composto por um agitador flutuante que ajuda na homogeneização do efluente e mantém os sólidos em suspensão.

Figura 12: Tanque de Equalização da Estação de Tratamento de Efluentes.



Fonte: do autor, 2014.

3.4.2 Difusor por ar Flotado – DAF/Poseidon

O efluente proveniente do Tanque de Equalização é bombeado para o DAF 1, Poseidon. Neste é adicionado floculante com uma vazão de 3 litros por hora, com a opção de dosagem de coagulante, visando o controle da turbidez e formação de flocos.

No DAF (Figura 13) é injetado ar comprimido, onde a ação deste associado aos floculantes é de elevar os sólidos até a superfície formando um tapete de material flotado. Assim, a espuma ou lodo flotado, flutua sobre a água por diferença de densidade num circuito pressurizado. Com o auxílio de limpadores mecânicos os sólidos acumulados são raspados da superfície e são encaminhados para o Tanque de Lodo.

Figura 13: Foto Difusor por ar flotado – DAF.



Fonte: do autor, 2014.

Internamente (Figura 14), o Poseidon é provido de uma série de placas corrugadas, chamadas colmeias ou lamelas que ajudam na retenção dos sólidos. Uma vez por semana é feita uma limpeza destes e o material sólido acumulado é drenado para o Tanque de Lodo.

Figura 14: Fundo do Poseidon composto por lamelas.



Fonte: do autor, 2014.

O efluente, livre do material sólido, segue para a Torre Alpina onde será feito o resfriamento por meio de ventilação. Em seguida, o efluente segue para o Tanque de Aeração a uma vazão de 187 a 230 m³/h, onde sofrerá o tratamento biológico.

3.4.3 Tanques de Aeração

Os dois Tanques de Aeração em formato MBBR (Moving Bed Bio Reactor) possuem capacidade de 800 m³ cada um. Em seu interior acontece a distribuição de ar por difusores, cada tanque com 19 hastes com furos de 2 a 3 mm, como podem ser observados na Figura 15. A distribuição ocorre do centro para as extremidades, de forma a facilitar a oxigenação e a mistura do material em suspensão. O ar é injetado na água mantendo o fluido em agitação constante.

Figura 15: Tanque de aeração com hastes de distribuição de oxigênio no fundo.



Fonte: do autor, 2014.

Para esta etapa, é importante o efluente estar com temperatura máxima de 35°C, e o pH de entrada do tanque deverá ser de 6,5 a 8,5. Em suma são adicionados nutrientes para os microrganismos (nitrogênio e fósforo) que contribuíram com a reprodução dos mesmos.

Os Tanques de Aeração (Figura 16) contém mídias que servem para facilitar a aderência dos microrganismos que fazem a degradação do material orgânico reduzindo a DBO por meio da biodegradação.

Figura 16: Tanques de Aeração contendo mídias para aderência dos microrganismos.



Fonte: do autor, 2014.

O segundo estágio biológico para o qual será direcionado o efluente tem a mesma função do primeiro, com o propósito de elevar o tempo de residência e proporcionar um aumento da eficiência microbiológica no processo.

Logo depois do segundo estágio, o efluente seguirá para o DAF 2 (dois), que funciona com os mesmos princípios do primeiro DAF 1 (um). Por outro lado, neste é dosado coagulante, que terá como função retirar sólidos que ainda estão presentes na água e tornar o efluente mais clarificado.

Nesse ínterim o efluente segue para o Tanque de Desinfecção e o lodo é enviado ao Tanque de Lodos.

3.4.4 Tanques de Desinfecção e destinação final da água

A função do Tanque de Desinfecção, com capacidade de 160 m³, é aumentar o tempo de residência do hipoclorito de sódio que é adicionado na água. Desse modo proporcionar um aumento da atuação do produto químico e garantir uma reação eficiente.

O Tanque composto por paredes verticais denominadas chicanas auxilia na manutenção do fluxo evitando a turbulência, Figura 17.

Figura 17: Tanque de desinfecção em reforma.



Fonte: do autor, 2014.

Do Tanque de Desinfecção, parte do efluente retorna ao processo da fábrica novamente e parte deste é descartada no Rio Tributo.

3.4.5 Tratamento de Lodo

O rejeito gerado durante o processo de tratamento de efluentes no 1º estágio e 2º estágio do DAF, é condicionado no Tanque de Lodo (Figura 18). Neste tanque o lodo é homogeneizado e segue para o processo de secagem.

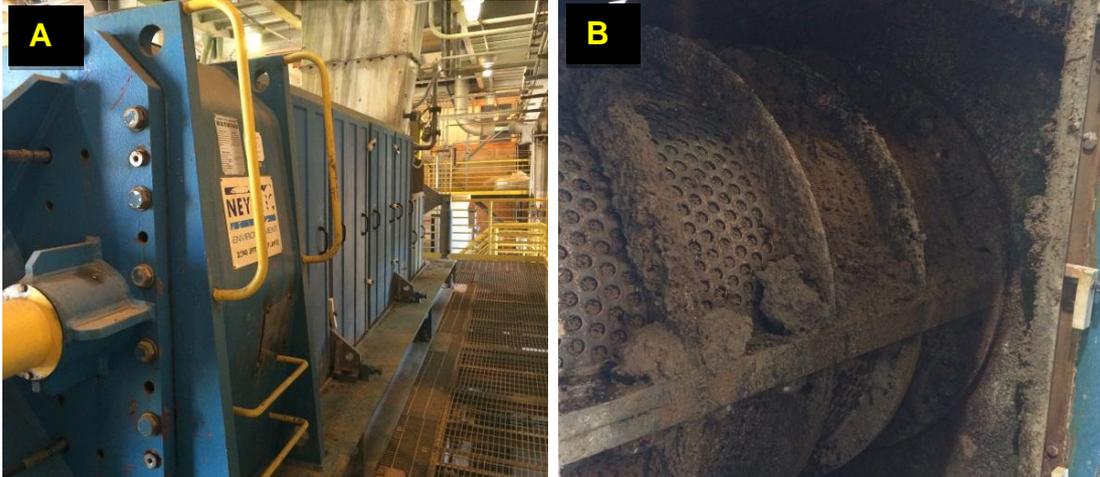
Figura 18: Tanque de lodo da ETE.



Fonte: do autor, 2014.

A primeira etapa de secagem do rejeito ou lodo é composta pelo sistema “engrossador”, conforme Figura 19. Este é semelhante a uma centrifuga. Trata-se de uma peneira giratória que separa os componentes sólidos da água. A água filtrada no engrossador volta para o tanque de equalização por gravidade para reingressar no processo de tratamento de efluentes.

Figura 19: Engrossador de lodo. Sendo: A) parte externa e B) parte interna.



Fonte: do autor, 2014.

O lodo que chega do engrossador segue para a prensa desaguadora, ilustrada na Figura 20. Nesta, o lodo é comprimido contra as paredes de uma peneira cilíndrica. Um atuador pneumático aumenta a eficiência de retirada da água por meio de compressão do lodo, deixando o mesmo com uma consistência em média de 50%.

Figura 20: Prensa desaguadora. Sendo: A) parte externa e B) parte interna.

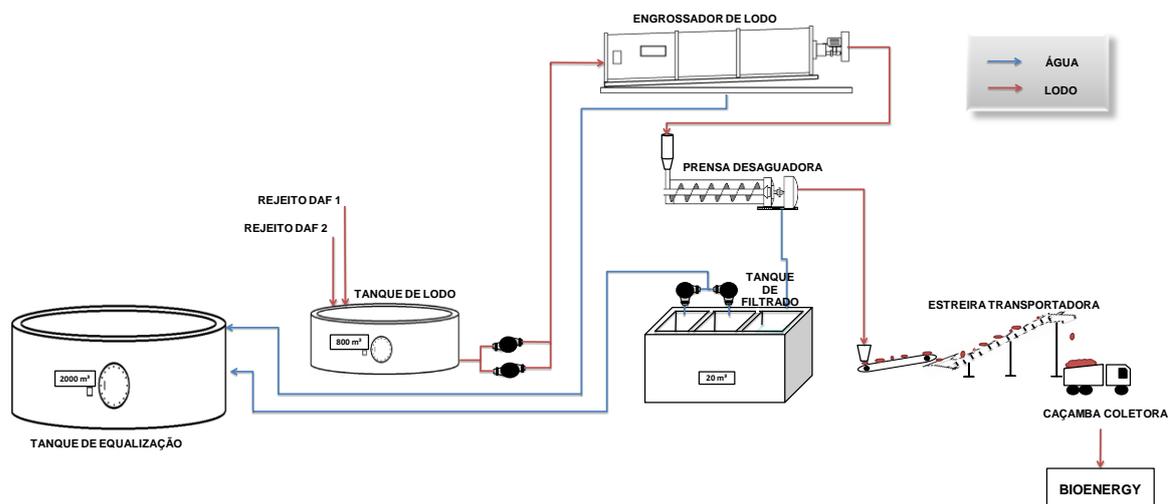


Fonte: do autor, 2014.

A água filtrada que sai da prensa desaguadora é conduzida para o Tanque de Filtrado, onde é armazenada temporariamente junto com a água das canaletas e do piso da ETE, oriundas de limpezas feitas no local. Esta água vai por meio de bombeamento para o tanque de Equalização, retornando ao processo de tratamento de efluentes.

Uma esteira faz a condução do lodo que sai da prensa e é armazenada em uma caçamba. O mesmo é transportado para a empresa Bioenergy que o utiliza na geração de vapor na caldeira de biomassa juntamente com outros elementos de maior poder calorífico para ocorrer a combustão. O resumo do processo de tratamento de lodo pode ser visto na Figura 21.

Figura 21: Fluxograma do processo de tratamento de lodo.



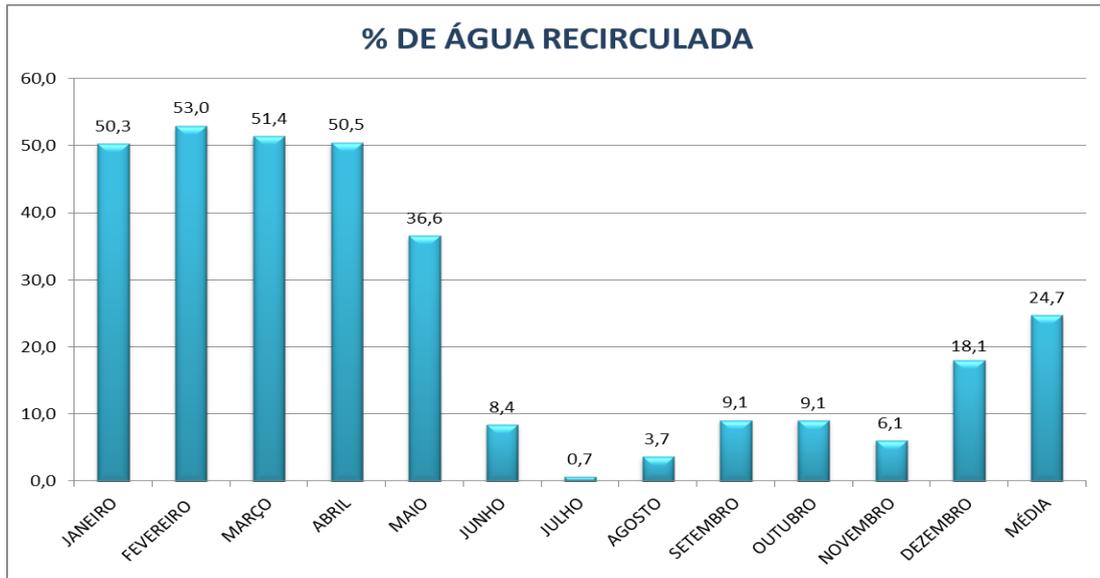
Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

3.5 REUSO INDUSTRIAL – DETERMINAÇÃO DE BASELINE

O presente estudo se apoia na visão 2015 da empresa Kimberly-Clark no que se refere a manter a qualidade da água descartada e aumentar o reuso da mesma no processo de fabricação de papel. Como consequência, uma redução com o custo na captação e tratamento da água bruta.

Para definir a meta a ser atingida e os parâmetros principais a se trabalhar no projeto, foram utilizados dados históricos das médias de recirculação no ano de 2013, como mostra a Figura 22.

Figura 22: Histórico da média mensal de recirculação de efluente em 2013.



Fonte: do autor, 2014.

Como pode ser observado na Figura 22, houve uma média alta de recirculação nos meses de janeiro a maio. Porém, após este período a taxa de recirculação reduziu devido ao grave problema de aparecimento de colônias de bactérias no processo de fabricação.

Em julho foi paralisada a recirculação de efluente com o propósito de descontaminação do processo, mapeamento dos pontos de contaminação e adequação de parâmetros de qualidade do efluente a ser recirculado.

Na determinação da taxa de recirculação a ser atingida, foram utilizados os dados históricos da média de água recirculada de um ano, conforme Tabela 2. Esta média foi de 5.482,92 m³/mês, representando 8,36% e dentro do objetivo máximo estabelecido de 10%, a fim de evitar novos problemas com formação de colônias. Em alguns meses a média ultrapassou o objetivo com a pretensão de se aumentar o reuso por meio do método de tentativa e erro.

Tabela 2: Dados de água captada, efluente tratado e média de recirculação.

| Meses | Água Captada (m³/mês) | Água Tratada (m³/mês) | Tratamento efluente (m³/mês) | Água Recirculada (m³/mês) | Recirculação (%) Objetivo < 10% |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| Junho/2013 | 77211,74 | 77211,74 | 67866,35 | 5678,06 | 8,37 |
| Julho | 97106,58 | 97106,58 | 72032,07 | 515,13 | 0,72 |
| Agosto | 83506,19 | 83506,19 | 69188,41 | 2530,45 | 3,66 |
| Setembro | 70617,16 | 70617,16 | 60136,28 | 5470,97 | 9,10 |
| Outubro | 75015,11 | 75015,11 | 62547,31 | 5667,60 | 9,06 |
| Novembro | 80857,71 | 80857,71 | 67013,60 | 4070,40 | 6,07 |
| Dezembro | 80288,39 | 80288,39 | 70233,73 | 12691,80 | 18,07 |
| Janeiro/2014 | 80996,62 | 80996,62 | 72253,46 | 11732,51 | 16,24 |
| Fevereiro | 79712,26 | 79712,26 | 63637,62 | 6269,66 | 9,85 |
| Março | 79687,61 | 79687,61 | 62250,61 | 2819,77 | 4,53 |
| Abril | 80439,48 | 80439,48 | 67866,04 | 9422,69 | 13,88 |
| Mai | 81312,46 | 81312,46 | 63607,50 | 3863,31 | 6,07 |
| Junho | 71048,18 | 71048,18 | 54354,57 | 546 | 1,00 |
| Média | 79830,73 | 79830,73 | 65614,43 | 5482,92 | 8,36 |

Fonte: do autor, 2014.

Com uma perspectiva de elevar o percentual de recirculação foi definido como meta no projeto aumentar a média em 70%. Dessa forma, o valor mínimo a ser atingido deverá ser 16,51%, como pode ser visto na Tabela 3. Uma meta relacionada será o aumento da eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes.

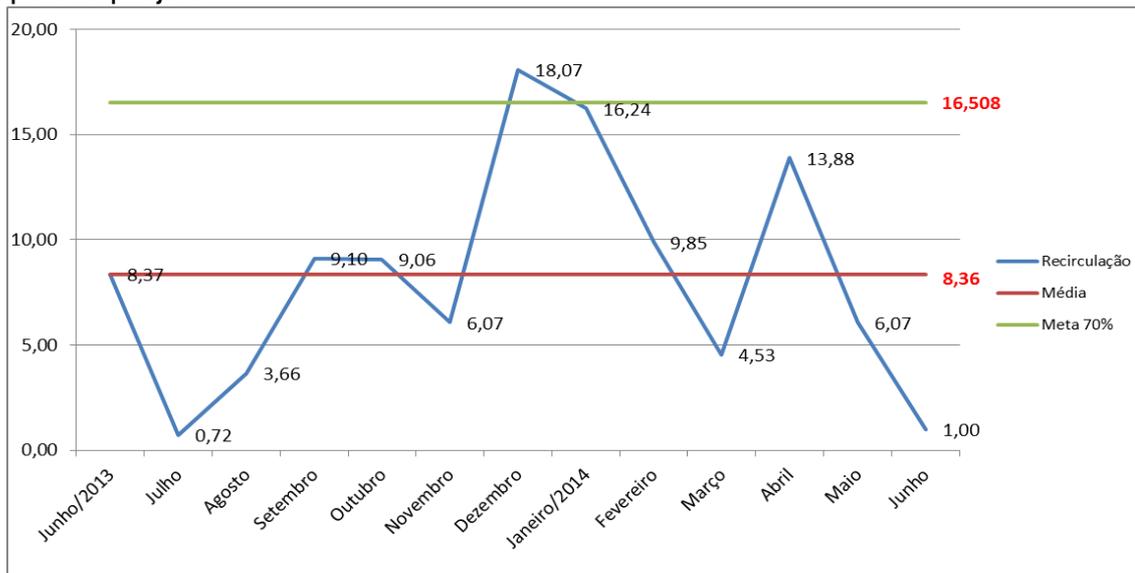
Tabela 3: Cálculo do baseline para o projeto.

| RECIRCULAÇÃO | VALORE | MÉDIA | META 70% |
|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Junho/2013 | 8,37 | 8,36 | 16,508 |
| Julho | 0,72 | 8,36 | 16,508 |
| Agosto | 3,66 | 8,36 | 16,508 |
| Setembro | 9,10 | 8,36 | 16,508 |
| Outubro | 9,06 | 8,36 | 16,508 |
| Novembro | 6,07 | 8,36 | 16,508 |
| Dezembro | 18,07 | 8,36 | 16,508 |
| Janeiro/2014 | 16,24 | 8,36 | 16,508 |
| Fevereiro | 9,85 | 8,36 | 16,508 |
| Março | 4,53 | 8,36 | 16,508 |
| Abril | 13,88 | 8,36 | 16,508 |
| Mai | 6,07 | 8,36 | 16,508 |
| Junho | 1,00 | 8,36 | 16,508 |
| Julho | 0,3 | 8,36 | 16,508 |
| Agosto | 12,0 | 8,36 | 16,508 |
| Setembro | 9,9 | 8,36 | 16,508 |
| Média | 8,36 | 8,36 | 16,508 |

Fonte: do autor, 2014.

A Figura 23 mostra o histórico de média de recirculação, relacionado com os dados da Tabela 3, como pode ser notado existia uma grande variabilidade nas médias mensais. A meta a ser atingida (16,51%) é mostrada pela linha verde do gráfico, resultando do acréscimo de 70% da média anual de 8,36%, representada pela linha vermelha.

Figura 23: Histórico do percentual de recirculação e estabelecimento de meta para o projeto.



Fonte: do autor, 2014.

Ao mesmo tempo em que se irá aumentar o percentual de reuso de água, o projeto proposto trará uma maior estabilidade do processo em geral, de dosagem de químicos, média de recirculação e quantidade de água bruta captada.

3.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE

No intuito de recircular o efluente, os parâmetros exigidos pelo processo devem estar em conformidade com os limites máximos e mínimos estabelecidos. A qualidade da água precisa ser garantida, evitando problemas futuros, como a saturação do processo e formação de colônias de bactérias em máquinas e equipamentos.

Como parte do efluente será reutilizado e parte continuará sendo descartado para o corpo receptor, é importante que se cumpra as exigências legais associadas às condições necessárias para o reuso do mesmo, sem no entanto, aumentar o custo no tratamento.

Os parâmetros de maior influência para o processo de fabricação e seus valores esperados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros físico-químicos para recirculação de efluente.

| SEÇÃO | SUBSEÇÃO | ITEM | UNIDADE | MIN | MAX |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|---------|------|-----|
| RECIRCULAÇÃO EFLUENTE | TANQUE DE DESINFECÇÃO | Turbidez | NTU | 0,1 | 7 |
| | | Residual de Cloro | mg/L | 0,01 | 0,1 |
| | | pH | - | 6,5 | 8,5 |
| | | SST | mg/L | 5 | 40 |

Fonte: Kimberly-Clark, 2014.

As características de turbidez, residual de cloro e pH são consideradas as mais críticas por interferirem diretamente no processo em questão. Em síntese a água de reuso tem que estar com as características mais próximas possíveis da água fresca. Dessa forma, o residual de cloro é importante para manter o controle biológico do efluente, garantindo que microrganismos patogênicos não estejam presentes na água. Ao mesmo tempo o pH se estiver baixo, pode causar problemas de corrosão nas máquinas e equipamentos, e quando alto, poderá reagir com os produtos químicos utilizados no processo. A turbidez, que também está ligada aos Sólidos Suspensos Totais pode causar a saturação da água no processo, portanto é julgado seguro trabalhar com a turbidez mais baixa possível, ou próxima da água potável.

3.7 PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CONTROLE PARA REUSO DA ÁGUA NO PROCESSO

Na determinação das variáveis de maior relevância e identificação dos pontos críticos, foi elaborado o Mapa de Variáveis. Este serve para relacionar as principais sub-etapas do processo industrial e as oscilações de saída e de entrada do sistema.

O mapa foi dividido em 6 (seis) partes: Materiais, Medidas, Máquina, Mão de Obra, Método e Meio Ambiente. Em um *brainstorming* com os conhecedores do sistema de tratamento de efluentes, foram levantados os principais pontos que influenciam em cada uma destas etapas. As variáveis listadas neste Mapa foram chamadas de variáveis X e as priorizadas aqui foram para a elaboração da próxima etapa: Matriz de Causa e Efeito.

3.8 ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE CAUSA E EFEITO

Para cada variável “x” identificada no Mapa, atribuiu-se um grau de importância com relação aos parâmetros: pH, Residual de Cloro, Sólidos Suspensos Totais e Turbidez, considerados como indicadores fundamentais na qualidade da água e caracterizados como “y”.

Uma matriz correlacionando as variáveis com os parâmetros foi construída, com o intuito de estimar os xs que podem afetar estes ys, e definir os valores de 1 a 10 perante sua importância nas características de qualidade. O grau de correlação é de valores: 0 (nenhuma correlação), 1 (pouca correlação), 3 (alguma correlação) e 9 (muita correlação).

A etapa seguinte contempla fazer as somas ponderadas das linhas dos xs para adquirir o valor Total de cada variável. Na indicação dos parâmetros e interações mais significativas sobre as variáveis foi utilizada a estratificação das variáveis com auxílio de um gráfico de barras.

3.9 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITO

Nesta etapa houve um levantamento priorizando alguns possíveis problemas de produtos e processos com o objetivo prevenir a ocorrência destes e aumentar a segurança e a satisfação do cliente principal, no caso, a Máquina de Papel.

Foram revisados os modos de falha e identificados seus efeitos potenciais de ocorrência. Para alguns modos de falha, oriundos das variáveis x, existe somente um efeito, enquanto que outros apresentam vários efeitos.

A partir dos efeitos foram definidos valores de Severidade, Ocorrência e Detecção, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Informações para definição do Grau de Severidade, Ocorrência e Detecção do modo de falha.

| Grau | GRAU DE SEVERIDADE | OCORRÊNCIA | DETECÇÃO |
|-------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | Nenhuma | Extremamente remota | Quase certo |
| 2 | Muito insignificante | Muito remota | Muito alta |
| 3 | Insignificante | Remota | Alta |
| 4 | Muito baixa | Muito baixa | Moderadamente alta |
| 5 | Baixa | Baixa | Moderada |
| 6 | Moderada | Moderada | Baixa |
| 7 | Alta | Moderadamente alta | Muito baixa |
| 8 | Muito alta | Elevada | Remota |
| 9 | Extremamente alta | Muito elevada | Muito remota |
| 10 | Perigosamente alta | Ocorrência certa | Absolutamente incerto |

Fonte: Kimberly Clark, 2014.

Inicialmente os modos de falha, foram classificados refletindo a gravidade dos mesmos. Para definição do valor de Severidade utilizou-se os critérios de nenhum grau de severidade até perigosamente alta. Na lista dos valores de Ocorrência foi indicada a frequência do modo de falha, sendo atribuídos conforme probabilidade em: Extremamente Remota de Ocorrência até Ocorrência Certa.

Já nos Controles Existentes procurou-se detectar os modos de falha ou as causas que impactam na eficácia de detecção de ocorrência de cada modo. A Lista dos Valores de Detecção ajuda a encontrar qual é a chance de não detectar o modo de falha ou as causas que resultam deste.

Por último para realizar o cálculo do grau de prioridade de risco, RPN, multiplicam-se os índices de Severidade, Ocorrência e Detecção. Com os valores do RPN, foi construído um Pareto, visando a priorização dos modos de falha que seguirão para a etapa seguinte.

3.10 PRIORIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Na priorização das variáveis é recomendada a utilização do Diagrama de Pareto. Por meio deste diagrama torna-se visível a ação que resultará em um resultado mais expressivo.

Para construção do Pareto foram colocados em ordem decrescente os Totais das variáveis x, permitindo assim uma visão estratégica das variáveis mais críticas.

3.11 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ

Na análise da causa raiz, foram observados os modos de falha e porque esta condição está ativa. Os por quês são questionados juntamente com os interessados do processo e colaboradores com maior experiência, para se chegar às causas raízes potenciais e assim buscar soluções trabalhando com exatidão na causa principal.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente estudo aplicou-se a definição de reciclagem interna, onde a água (efluente tratado) é reutilizada antes de ser descartada no corpo hídrico. Mas para qual, a água deve atender parâmetros de qualidade exigidos pelo processo da Máquina de Papel.

Com a finalidade de garantir os padrões da água é necessário conhecer as principais variáveis que afetam a propriedade da mesma. A melhor forma de conhecer estas variáveis foi por meio do mapeamento, resultando em um Mapa de Variáveis.

A construção deste Mapa totalizou 23 variáveis x, a serem avaliadas. Estas estão distribuídas entre Materiais, Medidas, Máquina, Mão de Obra, Método e Meio Ambiente; Tabela 6.

Tabela 6: Mapa de variáveis de relevância no processo.

| Etapas | X | Variáveis |
|----------------------|----------|---|
| Materiais | x1 | Qualidade do produto químico |
| | x2 | Falta do produto químico |
| | x3 | Conhecimento técnico equiparado/nivelado |
| | x4 | Aplicação incorreta do produto químico |
| Mão de Obra | x5 | Manuseio incorreto de equipamentos |
| | x6 | Treinamento da equipe. |
| | x7 | Drenagem dos taques da MP |
| Meio Ambiente | x8 | Lavação dos tanques da MP |
| | x9 | Limpeza química na MP |
| | x10 | Carga iônica do efluente |
| | x11 | Vida útil do Equipamento |
| | x12 | Eficiência dos equipamentos |
| Máquina | x13 | Check list preventivo manutenção de manutenção |
| | x14 | Falha no equipamento |
| | x15 | Falha na calibração dos equipamentos de medição |
| Métodos | x16 | Dosagem de produtos químicos |
| | x17 | Procedimentos de coleta e análises |
| | x18 | Residual de cloro |
| Medidas | x19 | pH |
| | x20 | Turbidez |
| | x21 | Temperatura |
| | x22 | Sólidos sedimentáveis |
| | x23 | Sólidos suspensos totais |

Fonte: do autor, 2014.

Após a definição das variáveis, o passo seguinte foi a avaliação do grau de importância e a correlação das mesmas com os parâmetros principais para o estudo. O resultado desta estimativa de valores pode ser visto na Tabela 7.

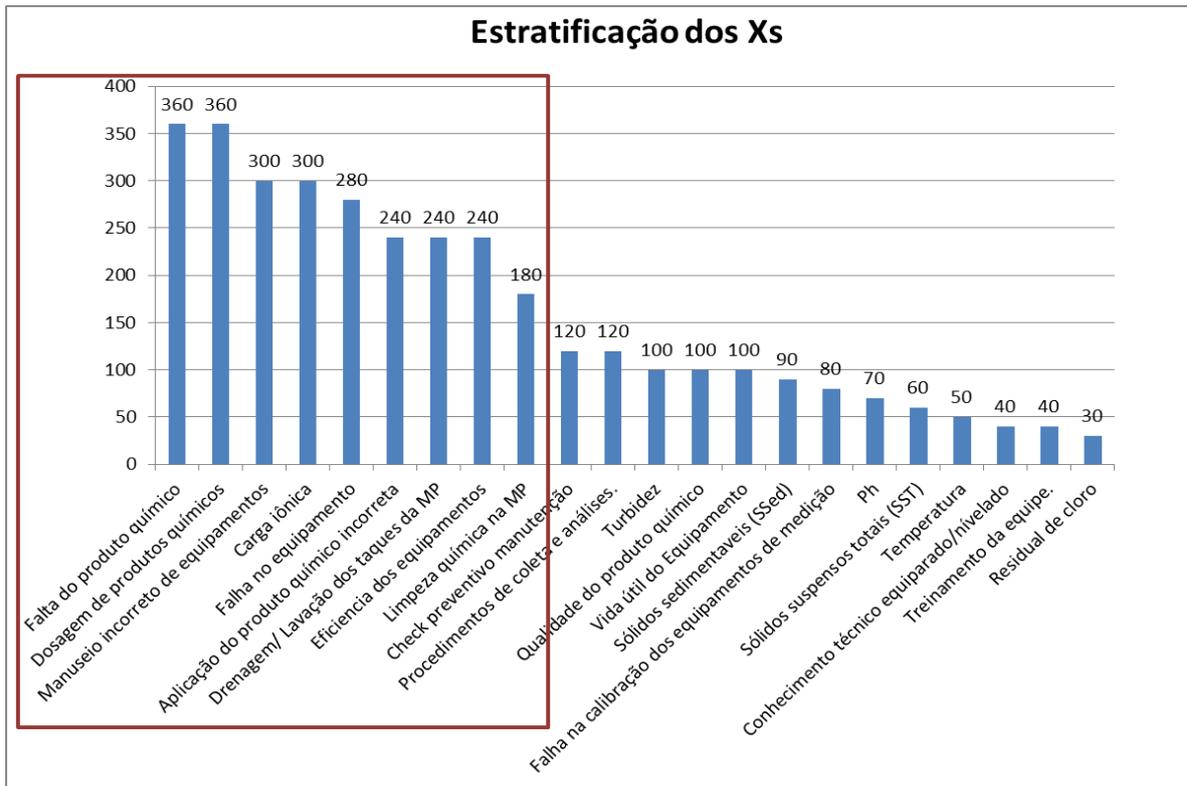
Tabela 7: Variáveis do processo que influenciam na recirculação.

| Objetivo: | | Selecionar as variáveis de processo mais críticas que afetam os erros de registro e tempo de ciclo. | | Características da Qualidade (ys) (Importância dos ys: 1 a 10) | | | | |
|------------------------|----------------------------------|---|---|---|-------------------|-----|----------|-------|
| Etapa | Características do processo (xs) | | | pH | 10 | | | Total |
| | Sub-etapas | X | Variáveis | | Residual de cloro | SST | Turbidez | |
| | | | | Importância da correlação (0, 1, 3, 9) | | | | |
| TRATAMENTO DO EFLUENTE | Materiais | x1 | Qualidade do produto químico | 1 | 3 | 3 | 3 | 100 |
| | | x2 | Falta do produto químico | 9 | 9 | 9 | 9 | 360 |
| | | x3 | Conhecimento técnico equiparado/nivelado | 1 | 1 | 1 | 1 | 40 |
| | Mão de obra | x4 | Aplicação incorreta do produto químico | 3 | 3 | 9 | 9 | 240 |
| | | x5 | Manuseio incorreto de equipamentos | 3 | 9 | 9 | 9 | 300 |
| | | x6 | Treinamento da equipe | 1 | 1 | 1 | 1 | 40 |
| | | x7 | Drenagem dos taques da MP | 3 | 3 | 9 | 9 | 240 |
| | Meio Ambiente | x8 | Lavação dos tanques da MP | 3 | 3 | 9 | 9 | 240 |
| | | x9 | Limpeza química na MP | 9 | 3 | 3 | 3 | 180 |
| | | x10 | Carga iônica do efluente | 9 | 3 | 9 | 9 | 300 |
| | Máquina | x11 | Vida útil do equipamento | 1 | 3 | 3 | 3 | 100 |
| | | x12 | Eficiência dos equipamentos | 3 | 3 | 9 | 9 | 240 |
| | | x13 | Check list preventivo de manutenção | 3 | 3 | 3 | 3 | 120 |
| | | x14 | Falha no equipamento | 1 | 9 | 9 | 9 | 280 |
| | | x15 | Falha na calibração dos equipamentos de medição | 3 | 3 | 1 | 1 | 80 |
| | Métodos | x16 | Dosagem de produtos químicos | 9 | 9 | 9 | 9 | 360 |
| | | x17 | Procedimentos de coleta e análises | 3 | 3 | 3 | 3 | 120 |
| | | x18 | Residual de cloro | 3 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| | Medidas | x19 | pH | 0 | 1 | 3 | 3 | 70 |
| | | x20 | Turbidez | 0 | 3 | 3 | 0 | 90 |
| | | x21 | Temperatura | 1 | 3 | 1 | 0 | 50 |
| | | x22 | Sólidos sedimentáveis | 0 | 3 | 3 | 3 | 90 |
| | | x23 | Sólidos suspensos totais | 0 | 3 | 0 | 3 | 60 |

Fonte: do autor, 2014.

Ainda conforme a Tabela 7 foram obtidos diferentes valores no Total de cada variável x. Para priorizar os xs mais importantes para o processo, que apresentaram maiores valores no Total, seguiu-se com a construção do gráfico de estratificação dos xs. A Figura 24 mostra as variáveis de maior relevância, que seguirão para a próxima etapa.

Figura 24: Estratificação das variáveis apontadas como principais causas da instabilidade do processo e que influenciam no reuso de água.



Fonte: do autor, 2014.

Foram consideradas as maiores variáveis do processo, as que apresentaram valores acima de 180, marcadas pelo retângulo vermelho na Figura 24. Certamente as mais influentes no processo: falta ou dosagem incorreta de produtos químicos, manuseio incorreto de equipamentos, variação de carga iônica do efluente, falha de equipamentos, aplicação incorreta de produto químico, drenagem ou lavagem de tanque na Máquina de Papel e limpeza química da mesma.

Estas informações foram utilizadas para contemplar o processo de análise de modos de falha e efeito, ou seja, Matriz de Causa e Efeito. Assim, atribui-se valores de Severidade, Ocorrência e Detecção para as variáveis x de maior expressão no Pareto, conforme relatado na Metodologia. O resultado originou a Tabela 8.

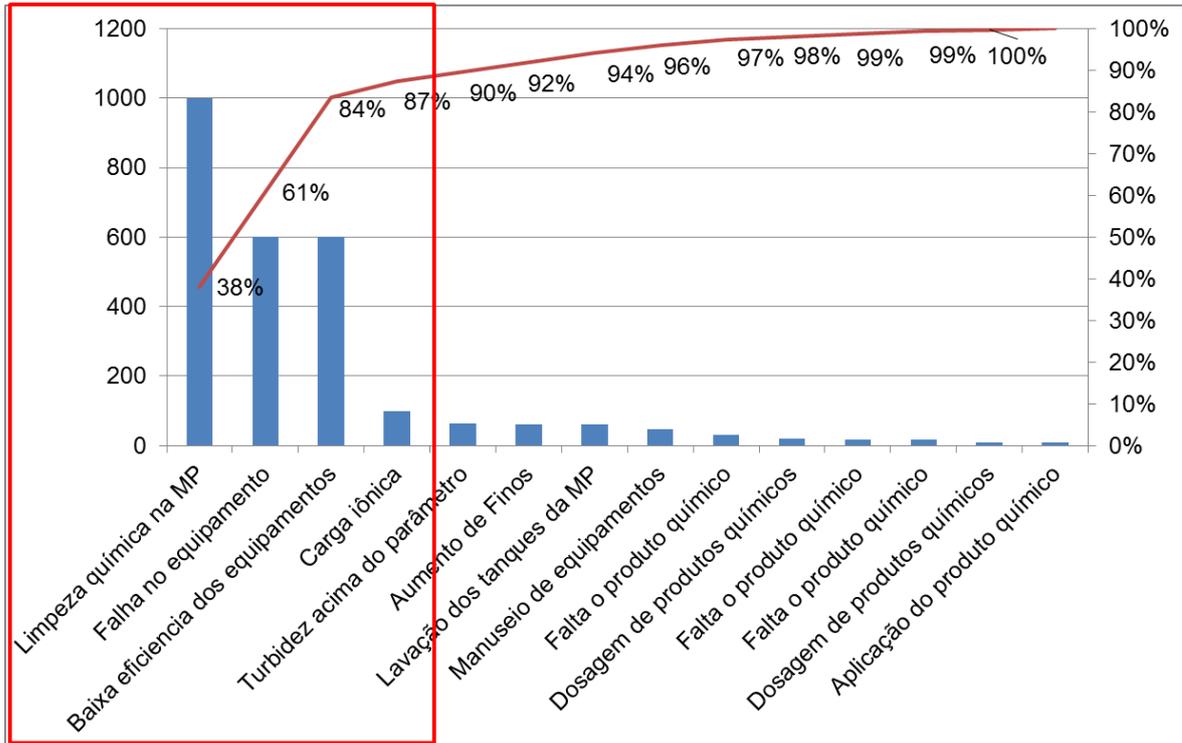
Tabela 8: Etapas do processo e análise dos modos de falha e efeito.

| Etapas | Modos de falha | Efeitos | Severidade | Causas | Ocorrência | Controles Existentes | Detecção | RPN | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------|---|------------------|---|----------------------|---|---|----|
| | Quais as entradas? | Qual impacto no cliente? | Grav. do efeito | Quais são as causas dos modos de falha? | Freq. das causas | Como são detectados? | Chance de ã detecção | Resultado | | |
| Produto químico | Falta de produto químico | Formação de colônias | 8 | Falta do produto químico | 2 | Parâmetros fora do limite | 1 | 16 | | |
| | | | 8 | Falha na bomba | 2 | Inspeção visual | 2 | 32 | | |
| | Dosagem de produtos químicos (baixa ou alta) | Formação de colônias | 8 | Falha de monitoramento | 1 | Parâmetros fora do limite | 2 | 16 | | |
| | | | 10 | Falha na bomba | 2 | Inspeção visual/parâmetros fora do limite | 1 | 20 | | |
| | | | 10 | Corrosão de equipamentos | 1 | Falha de monitoramento | 1 | Inspeção visual/parâmetros fora do limite | 1 | 10 |
| | | | 8 | Redução da eficiência dos químicos | 1 | Aplicação incorreta do produto químico | 1 | Inspeção visual/parâmetros fora do limite | 1 | 8 |
| Equipamento | Manuseio incorreto de equipamentos | Dosagem ineficiente | 8 | Vida útil do equipamento | 2 | Inspeção visual | 3 | 48 | | |
| | Falha no equipamento | Dosagem ineficiente | 10 | Falta de manutenção preventiva | 6 | Não existe | 10 | 600 | | |
| | Baixa eficiência do equipamento | Não recirculação | 10 | Falta de manutenção preventiva | 6 | Não existe | 10 | 600 | | |
| Efluente | Carga iônica | Não recirculação | 10 | Carga iônica | 10 | Inspeção visual e testes | 1 | 100 | | |
| | Drenagem/Lavação dos tanques da MP | Alteração do pH | 6 | Drenagem/Lavação dos tanques da MP | 1 | Sem controle | 10 | 60 | | |
| | Limpeza química na MP | Alteração do pH | 10 | Limpeza química na MP | 10 | Sem controle | 10 | 1000 | | |

Fonte: do autor, 2014.

Com a priorização de um total de 9 (nove) modos de falha, estas foram organizados em um Pareto, Figura 25, com objetivo de concentrar esforços para controlar as variáveis de maior RPN, uma vez que é onde os problemas são mais significativos.

Figura 25: Priorização de modos de falha em ordem decrescente.



Fonte: do autor, 2014.

Conforme o Diagrama, os principais modos de falha detectados foram: limpeza química na Máquina de Papel, falha no equipamento, baixa eficiência dos equipamentos e por último carga iônica, considerados 87% das causas de falhas.

Isto indica onde se deve concentrar esforços para eficácia do projeto. Os outros modos de falha tem valores quase que insignificantes, comparando com os 4 (quatro) primeiros.

Estas prioridades foram para a análise de Causa Raiz, no qual o diagnóstico foi elaborado em conjunto com os interessados do processo. A análise dos 5 por quês segue na Tabela 9.

Tabela 9: Análise dos 5 por quês de cada modo de falha.

| MODO DE FALHA | 1° POR QUE | 2° POR QUE | 3° POR QUE | 4° POR QUE | 5° POR QUE | Causa Raiz | Solução |
|--|---|---|--|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|--|
| Limpeza química máquina de papel | Condicionamento de vestimentas da MP | Necessidade do processo | - | - | - | Necessidade do processo | Adequar o sistema de correção de pH para atual necessidade do processo (MOC) |
| Falha no equipamento | Parada repentina: elétrica ou mecânica/ Ineficiência do equipamento | Desgaste, rompimento, quebra ou sobrecarga. | Falta de rotina para inspecionar os equipamentos | Falta de manutenção preventiva | - | Falta de manutenção preventiva | Definir frequência de manutenção preventiva das bombas. |
| Baixa eficiência dos equipamentos | Tanque de desinfecção com rachaduras e poroso | Material de construção impróprio | Falha no projeto | | - | Falha no projeto | Recuperação, pintura e nivelamento do tanque. |
| Carga iônica | Necessidade de correção de pH no tanque de equalização | Variação de pH no tanque de equalização | Lavação química na MP | Ineficiência no controle do pH da MP | - | Ineficiência no controle do pH da MP | Adequar o sistema de correção de pH para atual necessidade do processo (MOC) |

Fonte: do autor, 2014.

Com a revelação da possível Causa que poderia estar originando ou que poderiam vir a originar os modos de falha, foram estudadas soluções. Desta forma, saiu-se então com ações para sanar ou mitigar os modos de falha mais significativos. No total foram 3 ações principais apontadas.

Assim, como pode ser observado, estas soluções resumem-se em melhoras no próprio processo de tratamento de efluentes, com estabelecimento de frequência de inspeção e manutenção de bombas, melhorias para elevar a eficiência do tanque de desinfecção e a necessidade de maior efetividade no sistema de dosagem de químicos para correção de pH do efluente na Máquina de Papel. Estas podem ser conhecidas com mais detalhes no item a seguir.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES

4.1.1 Adequação do sistema de correção de pH na Máquina de Papel

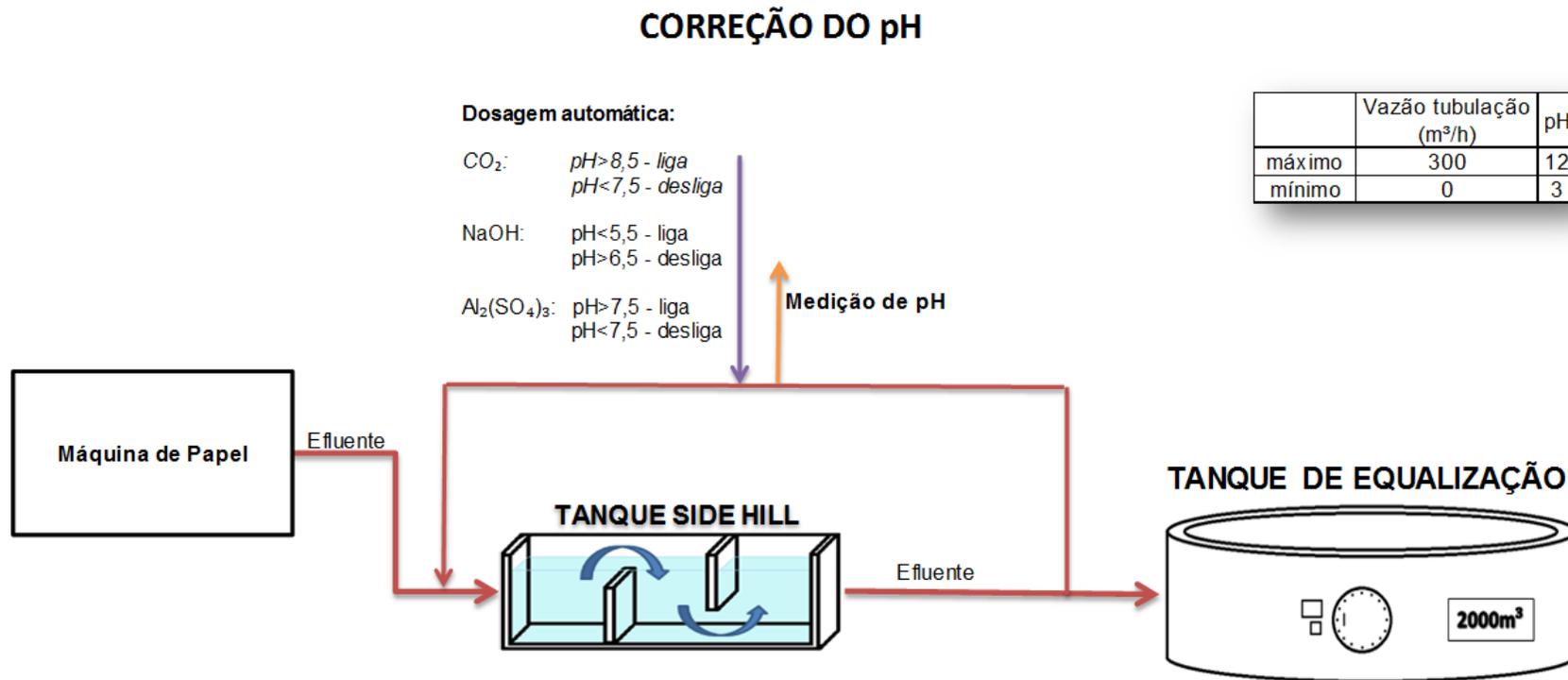
No projeto, nos deparamos com um problema na correção do pH do efluente gerado na Máquina de Papel. O sistema de dosagem era considerado ineficiente, principalmente quando recebida uma grande carga de químicos junto com o efluente, resultando na elevação do pH para até 12.

Por algum tempo o controle de pH não atendia as necessidades devido as diversas intervenções manuais no sistema. Havendo ajustes de dosagem por válvula manual, falta ou excesso de produto, ruídos de comunicação na troca de turnos dos operadores e falta de padronização do range da dosagem de químicos. Quando havia alguma variação, o pH era corrigido no Tanque de Equalização, o que não é indicado, pois o volume de efluente é de 2000 m³ e qualquer erro poderia comprometer o resto do sistema, principalmente a lagoa de aeração.

Visando melhorar esta condição, foi reunida uma equipe técnica da empresa para discutir as possíveis soluções para o sistema de correção, e deixar o efluente neutralizado antes de chegar ao Tanque de Equalização na ETE.

As melhores alternativas encontradas foram a de automatização da correção de pH em 2 (duas) situações: o primeiro sistema consiste na correção do pH quando em funcionamento normal do processo; e o segundo, atua quando existir uma carga de químicos que eleve o pH para acima de 8,5. O fluxo de correção de pH pode ser visto na Figura 26.

Figura 26: Fluxograma com alterações para melhoria de correção do pH na Máquina de Papel.



Fonte: do autor, 2014.

A proposta é de trabalhar com a dosagem de químicos para correção do pH da seguinte forma:

- Soda (NaOH): para pH menor que 5,5 é ligado a dosagem de soda, a mesma é desligada no momento em que o efluente atingir pH de 6,5;
- Sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: será dosado quando o pH estiver acima de 7,5 e parada a dosagem quando este baixar de 7,5; e
- Dióxido de Carbono (CO_2): vai ser dosado quando o pH passar de 8,5 e parado sua dosagem quando o parâmetro atingir 7,5.

A medição do pH, para controle de dosagem de químicos, é feita por um aparelho pHmetro instalado próximo ao sistema de dosagem, que dará o comando ao sistema automatizado, responsável por regular os produtos.

4.1.2 Recuperação, pintura e nivelamento do tanque de desinfecção

Outra proposta de melhoria foi a reforma do Tanque de Desinfecção (Figura 27), tendo como mudanças o nivelamento do fundo do mesmo e reboco com pintura das paredes com tinta impermeável, para tornar as superfícies mais lisa e minimizar a aderência de colônias de microrganismo.

Figura 27: Tanque de desinfecção no início do processo de pintura.



Fonte: do autor, 2014.

A recuperação deste tanque traz como benefícios o aumento da eficiência no que se diz respeito à de eliminação de microrganismos. Pois a ação do cloro é

diretamente ligada não somente a sua concentração, mas também ao tempo de contato com o efluente, quanto maior, mais efetivo.

Com a recuperação das paredes e pintura impermeável, elimina-se o surgimento de colônias nos orifícios do tanque. Isto como consequência, eleva a atuação do agente bactericida sobre a água e proporciona a qualidade necessária do efluente tratado para recirculação.

Após a pintura o tanque ficou da forma como mostra a Figura 28.

Figura 28: Tanque de desinfecção após a reforma.



Fonte: do autor, 2014.

4.1.3 Definição de frequência de manutenção preventiva das bombas

Eventualmente, a recirculação de efluentes era interrompida devido a problemas por quebras de equipamento de bombas. Por conseguinte, foi criada juntamente com o setor de manutenção, uma sistemática de manutenção preventiva, baseada no número de horas que cada equipamento trabalha no mês. Este número é especificado pelo fornecedor.

Esta ação visou manter a qualidade no tratamento de efluentes e eliminar a falha nas bombas, o que poderia comprometer o processo de recirculação por falta ou excesso de produtos químicos.

5 CONCLUSÃO

Nas indústrias de polpa e papel é essencial o emprego de grandes quantidades de água diretamente no processo produtivo. Dessa forma percebe-se a importância da recirculação deste insumo e preservação do mesmo no meio natural. Principalmente nos dias atuais em que se vive um cenário de falta de água e previsões de aumento da escassez da mesma.

Com uma observação geral do projeto, percebe-se que o desenvolvimento e utilização das matrizes foi um processo decisivo no resultado do mesmo. Tendo em vista que o desenvolvimento destas matrizes apontou diversas variáveis do processo, em se tratando de matérias, mão de obra, meio ambiente, máquina, métodos e medidas.

Visando o melhoramento da eficiência do projeto, foi utilizada a ferramenta do Diagrama de Pareto, bem como os 5 por quês e análise de causa raiz que foram precisas ao apontar os modos de falha mais relevantes e com isso contribuir na sinalização das maiores oportunidades e com ganhos mais eficientes.

Para obter o propósito previsto neste projeto, foi levada em consideração a importância de manter os parâmetros de qualidade de água exigidos pela Máquina de Papel. Sendo que esta é a maior consumidora de água dentro do processo de fabricação do Tissue.

Dado o exposto entende-se que as maiores dificuldades para o reuso do efluente, estavam associadas aos critérios de formação de colônias ao longo do processo produtivo. Dessa forma, viu-se a necessidade da atuação na causa raiz para eliminar esta variável. Por isso, foi feita a reforma do tanque de desinfecção com expectativas de reduzir consideravelmente esta preocupação.

Deve ser lembrado ainda das dificuldades de dosagem dos produtos químicos para correção do pH. Neste caso buscou-se o auxílio do corpo técnico da empresa com o intuito de eliminar esta variável, almejando uma maior estabilidade do parâmetro pH, a fim de não comprometer o processo de tratamento de efluentes e por consequência a recirculação.

Para garantir o reuso da água no processo, foi importante ainda o arranjo juntamente com o setor de manutenção da empresa com a questão das bombas de dosagem. É imprescindível, para o bom resultado do projeto, que estes equipamentos estejam em total condição de trabalho. Já que o sistema de dosagem de químicos garante as características almejadas para a água.

Em geral o projeto estimulou a busca do conhecimento das ferramentas utilizadas no mesmo, Lean e Seis Sigma, além do conteúdo adquirido no desenvolvimento e interação com fabricação de papel e tratamento de efluentes.

REFERÊNCIAS

BARROS, Lucas Bitar Moraes. **Seleção de materiais para redução de custos em uma máquina de papel “Tissue”**. [s.d.]. 8 f. Artigo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme260_0/2006/Artigos/Art_TCC_045_2006.pdf> Acesso em: 05 de out. 2014.

BRACELPA: Associação Brasileira de Papel e Celulose. **Dados do setor**. 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>> Acesso em: 05 de out. 2014.

BRAGA *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

CAMPOS, Edison da Silva. **Curso de fabricação de papel**: com ênfase em papel “Tissue”. Mogi das Cruzes, SP: ABTCP, 2007. 124 p.

CANANI, Xalixe Chaves. **Estágio Supervisionado**: Relatório de Estágio. 2013. 49 f. Relatório, Engenharia de Produção - Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2013.

CENTRO EXPERIMENTAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CESA/ UFRJ. **Unidades de Tratamento de Esgoto – UTE**: Lodos Ativados e MBBR. Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/lodos-ativados-mbbr/>> Acesso em: 25 de out. 2014.

DE OLIVEIRA, Daniel V. M. et al. **Avaliação de uma planta piloto de MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor – Reator biológico com leito móvel) para tratamento de efluente de uma fábrica de celulose e papel**. Revista O Papel, 2012. 80 p. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1359374169_e4b2f4_90bd217cc32af156a6a18a9563_295138632.pdf> Acesso em: 25 de out. 2014.

DRUMMOND, Daniela Medeiros Devienne. **Otimização para o posicionamento dos equipamentos do circuito de massa na fabricação de papel Tissue**. Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/DrummondDanielaMedeirosDevienne.PDF>> Acesso em: 05 de out. 2014.

GOMIDE, José Lívio. **Tecnologia e Química da Produção de Celulose**. Laboratório de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa, MG. 2014. 497 p.

IMHOFF, Karl; IMHOFF, Klaus R.; HESS, Max Lothar. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996. 301 p. ISBN 852120132X

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT: Centro Técnico em Celulose e Papel. **Celulose e Papel:** Tecnologia de fabricação do papel. 2ed. São Paulo, 1988.

KLOCK, Humberto. **Polpa e Papel:** Tecnologia de produção de polpa celulósica e papel. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/Papelhistoria.pdf>> Acesso em: 05 de out 2014.

LUPPI, Marcos. **PROCESSO MBBR.** BioProject Equipamentos Ambientais. 38 ed. [s.d.].

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Águas & Águas.** 2. ed. atual e rev São Paulo: Varela, 2004. 977 p. ISBN 8590156869.

MAGATON, Andréia S. **Química da Madeira.** ABTCP. 2014. 289 p.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reuso de água.** Barueri, SP: Manole, 2003. 579 p. (Coleção Ambiental).

NUNES, José Alves. **Tratamento biológico de águas residuárias.** 3.ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012. 277 p.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** Aracaju, SE: Gráfica Editora J. Andrade, 1996. 277 p.

SANTOS FILHO, Davino Francisco dos. **Tecnologia de tratamento de água:** água para indústria. 3 ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1987. 251 p.

TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reuso da água:** conceitos, teorias e práticas. São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à engenharia Ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. 438 p.