

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE
ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

DINAE KARINE WEILER

**CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO REUSO DE
ÁGUAS DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Selene
Maria A. Guelli Ulson de Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio
Augusto Ulson de Souza**

FLORIANÓPOLIS

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dinae Karine Weiler

CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO REUSO DE ÁGUAS DA INDÚSTRIA TÊXTIL

**Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal de Santa Catarina
com requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Química.**

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Selene Maria A. Guelli Ulson de Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza
Aluna: Dinae Karine Weiler**

FLORIANÓPOLIS

2005

Dedicatória

O começo...

A Waldemiro e Anne, meus pais

A Vanessa, minha irmã

Como todo o meu amor

AGRADECIMENTOS

... de uma longa viagem.

Esta dissertação é o botim de uma longa viagem, indo de inicialmente de "Jaraguá" para "Floripa", depois de "Blumenau" para "Floripa", vi crescer, neste longo período uma amizade linda da qual vou me lembrar todos os dias... hoje quero agradecer aos companheiros(as) desta travessia:

Ao meu amado pai e a minha guerreira, minha mãe. Nada isso teria acontecido se não fossem os dois... Eles me deram oportunidades de crescer, de estudar, ensinaram me o quanto é bom viver, respeitar os semelhantes e acima de tudo, me ensinaram a correr atrás do meu sonho. Talvez eles quisessem que eu fosse uma Médica, ou então uma advogada conceituada, tai uma coisa que eles nunca me disseram, "o que eles sonharam para a minha vida?". Somente sei que eles me deixaram seguir o caminho que escolhi, o da Engenharia, passar por todos os obstáculos, sempre me incentivando e me mostrando o quanto sou capaz. Neste caminho passei por muitos altos e baixos, mas mesmo de longe eles me amparavam. Fosse num telefonema, fosse numa simples oração.

À minha irmã que eu tanto amo, dedico todas as alegrias vividas neste período, e agradeço por todas as mudanças que nela ocorreram.

Aos meus companheiros de viagem e de mestrado, onde tínhamos a motorista, Cátia, o co-piloto, o Rolf e dividindo o banco de trás comigo a Neseli. Aprendi muitas coisas com eles. Principalmente a importância de não desistir, de lutar e perceber o quanto somos capazes... Vivemos muitas coisas juntas... momentos alegres, momentos tristes... soltamos muitas gargalhadas, vivemos muitas emoções... o surgimento de um novo papai, foi uma das mais fortes, não é Rolf? Aquelas quatro horinhas de viagem, ida e volta, à Floripa, serviram como um divã para todos nós. Contávamos nossas angústias, nossa alegrias, oferecíamos nosso ombro amigo... Ríamos um monte, fazíamos planos, cantávamos e desabafávamos... Agora o mestrado acabou... mas sei que a nossa amizade continuará... Embora não possamos nos encontrar com frequência, mas sempre lembrarei de vocês com suas manias, e características particulares.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza e o meu co-orientador Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza, da decolagem ao pouso final, obrigado por ajudar a aprumar o rumo e mirar o alvo,

agradeço pelo estímulo, pelas oportunidades e pelas portas abertas, e pela amizade.

No Departamento de Engenharia Química da USFC, vários nos acompanharam em partes ou em todo o trajeto. Gostaria de agradecer aos professores e professoras, e a todos que compartilharam seu conhecimento e suas inquietudes acadêmicas. Ao Edevilson Silva, pela colaboração ao longo de todo o curso.

À empresa Marisol S/A pelo apoio na obtenção dos dados experimentais.

Aos colegas de trabalho da WEG Química, que no caminho final me apoiaram para que eu conseguisse chegar ao fim. Em especial, a Tati, que me deu forças e muito me ajudou.

Ao meu amigo Walter, por ter me emprestado seu computador, à minha amiga Rafa e a minha amiga Portuguesa, Mazé, que me incentivou e não me deixou desistir no momento mais difícil.

Houve várias escalas até a chegada a este porto, e não poderia deixar de citar e agradecer com todo o meu carinho ao Renan Lindner, sem ele nada disso teria acontecido. Ele foi à pessoa que mais me ajudou neste trabalho, me incentivando, me ensinando.

Quando se chega ao final da viagem, vemos que entre todos os acima nomeados muitos vão acompanhar em futuras caminhadas, meus amigos e minhas amigas, eles vão comigo para outras viagens.

Aos mais importantes que já fazem parte da minha caminhada desde sempre, meus pais, minha irmã e agora meu querido cunhado, Marco Vinícius.

Agradecimento imenso e infinito a Deus, por toda a sua benção.

Dinae Karine Weiler

RESUMO

A globalização do mercado impulsionou as empresas em geral a se tornarem mundialmente concorrentes e produzirem produtos ecologicamente corretos, fabricados com processos que protejam o meio ambiente, gerem uma mínima quantidade ou evitem quaisquer tipos de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos). No beneficiamento têxtil, que compreende as operações de purga, merceirização, desengomagem, alvejamento e tingimento, estão presentes as etapas do processo onde é gerado o maior volume de efluentes líquidos, com elevada quantidade de carga contaminante dependendo do tipo de processo operacional, matéria prima utilizada e do produto final. A redução do volume de efluentes através de recirculação e reaproveitamento de água e recuperação de produtos químicos e subprodutos, sem comprometimento da qualidade do produto acabado, constitui no maior desafio enfrentado pela indústria têxtil. O principal objetivo deste trabalho é a caracterização e reutilização dos efluentes das etapas de preparação e tingimento, visando aumentar a eficiência no uso de insumos, água e energia, através da minimização ou reciclagem de efluentes gerados no processo produtivo da indústria têxtil. Foram determinados os parâmetros: cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade parcial e total, condutividade, ferro, sólidos totais dissolvidos, suspensos totais e fixos, e matéria orgânica determinada pela demanda química de oxigênio, de uma indústria têxtil de grande porte de Santa Catarina. Foi estabelecida uma estratégia para o reuso de efluentes oriundos do processamento de malhas dos lotes de cores branca, preta, de intensidade clara, média e escura. Para os efluentes que não permitiram reutilização direta propõem-se algumas alternativas de pré-tratamento para viabilizar o seu reuso.

Palavras-chave: Reutilização, água, indústria têxtil.

ABSTRACT

The market globalization stimulated the companies in general, to become worldwide competitors and to produce ecologically correct products, manufactured with processes that protect the environment, generating a minimum amount or prevent any types of wastes (solid, liquid and gas). In the finishing process, that comprehend the of purge, mercerizing, desizing, bleaching and dyeing operations, the biggest volume of liquid effluents are generated, with high contaminant load depending on the type of operational process, raw material used and of the final products. The reduction of the effluent volume, through recirculation and chemical products and by-products recovery, without interfering finished product quality, constitutes the biggest challenge faced for the textile industry. The main goal of this work is the characterization of the effluents of the preparation and dyeing steps, aiming to increase the efficiency in the use of chemicals, water and energy, through the minimization or effluents recycling generated in the productive process of the textile industry. The determined parameters were: color, turbidity, temperature, pH, partial and total alkalinity, conductivity, iron, suspended solids, fixed solids, total dissolved solids, and organic matter determined by the chemical oxygen demand, of a big textile industry located in Santa Catarina. It was established a strategy for reutilization effluents from the stocknitte from batches in the following colors White, black of clear intensity, of average intensity and of dark intensity. For the effluents that couldn't have direct reutilization, technological alternatives are proposed making possible their reutilization.

Work-keys: Reutilization, water, textile industry.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELASxi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Indústria têxtil.....	16
2.2 Importância da água na indústria têxtil.....	18
2.2.1 Qualidade da água.....	20
2.2.2 Ocorrência da água	21
2.2.3 Indicadores de qualidade da água	22
2.2.4 Padrões de qualidade da água	23
2.2.5 Processo de tratamento das águas	27
2.3 Processo têxtil.....	27
2.3.1 Matéria-Prima	28
2.3.2 Produtos químicos auxiliares utilizados na indústria têxtil	30
2.3.3 Corantes	31
2.3.4 Beneficiamento	33
2.3.5 Geração e tratamento de efluentes têxteis	35
2.4 Técnicas de otimização	35
3. MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 Reagentes, equipamentos e procedimento experimental	42
3.1.1 Análise de cor	43
3.1.2 Turbidez.....	44
3.1.3 Dureza	46
3.1.4 Ph	47
3.1.5 Alcalinidade	49
3.1.6 DBO	51
3.1.7 DQO.....	56
3.1.8 Ferro total	58
3.1.9 Sólidos totais – fixos e voláteis	60

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Aspectos analíticos microscópicos – sobre as receitas	62
4.1.1 Características físico-químicas das águas do tingimento	62
4.2. Aspectos analíticos macroscópicos – sobre a planta	69
4.2.1 Balanços macroscópicos de massa e energia.....	69
4.2.1.1 Balanços de massa e energia sobre o combustível sólido	72
4.2.1.2 Balanços de massa e energia sobre a água	78
4.2.2 Redes de distribuição de água.....	83
4.3 Planejamento experimental.....	87
4.4 Reutilização de águas residuárias.....	92
4.5 Redução da demanda de combustível sólido.....	94
4.6 Balanços nas torres de resfriamento	97
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
A ANEXOS.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Países Produtores de artigos têxteis – 1999 (em toneladas)	17
Tabela 2 – Limites de tolerância de qualidade da água para utilização nos processos têxteis	20
Tabela 3 – Classificação dos Mananciais Hídricos	24
Tabela 4.- Parâmetros Limites	25
Tabela 5 - Valores máximos permissíveis (VMP) para as características da água potável (Portaria n.º 30/90, do Ministério da Saúde)	26
Tabela 6 - Padrões de qualidade do efluente industrial no Estado de Santa Catarina.....	27
Tabela 7 - Evolução do consumo mundial de matérias primas têxteis	29
Tabela 8 - Consumo de fibras no Brasil	29
Tabela 9 - Composição do fio de algodão	30
Tabela 10 - Auxiliares químicos utilizados em tingimento	31
Tabela 11 - Principais classes de corantes	33
Tabela 12a – Características físico-químicas das águas de preparação. Seqüência de duas análises aleatórias por parâmetro.....	63
Tabela 12b – Características físico-químicas das águas de preparação (cont.). Seqüência de duas análises aleatórias por parâmetro.....	64
Tabela 13 – Receitas de maior demanda – percentual sobre a produção total de 2004	66
Tabela 14 – Receitas de maior demanda – percentual sobre a produção total de 2004 com demanda prevista para 2005	67
Tabela 15 – Estimativa dos parâmetros para atendimento do tingimento – bases Mensais.....	68
Tabela 16 – Consumos de água e vapor para o ano de 2004.....	70
Tabela 17 – Dados estatísticos relativos aos valores de jan/04 a nov/04	72
Tabela 18 – Consumo médio mensal e médio horário de combustível sólido e valores correlatos. Período de jan/04 a nov/04	73
Tabela 19 – Principais demandas de combustível sólido da planta de beneficiamento e respectivas quantidades.....	74

Tabela 20 – Consumo médio mensal e médio horário de água e valores correlatos. Período de jan/04 a nov/04	78
Tabela 21 – Estimativa para a diferenciação dos principais consumos de água industrial com base no período de jan/04 a nov/04	79
Tabela 22 – Relação das principais quantidades de água efluente com base nos valores do período de jan/04 a nov/04	80
Tabela 23 – Relação dos equipamentos de tingimento e respectivas características produtivas	84
Tabela 24 – Condições ideais de fornecimento de energia.....	86
Tabela 25 – Resultados de um planeamento fatorial 2^2 para estudar o efeito da temperatura e do tempo na lavação do artigo de cor 6000, tendo como resposta a força colorística	88
Tabela 26 – Valores experimentais e obtidos pelo modelo estatístico para a força colorística, na etapa de lavação do artigo de cor 6000	90
Tabela 27 – Reutilização da água de preparação a partir da composição do primeiro banho com o descarte do terceiro banho	92
Tabela 28 – Estimativa para a diferenciação dos principais consumos de água industrial considerando as receitas atuais e a aplicação de reuso	93
Tabela 29 – Variação do poder calorífico da madeira com o teor de umidade. B.C. = 1 kg de combustível	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas características do processo de tecidos de algodão e sintéticos.....	34
Figura 2 – Balanço de massa e energia sobre a caldeira	75
Figura 3 – Curvas da bomba e do sistema para a situação existente	81
Figura 4 – Curvas da bomba e do sistema para duas bombas e tubulação Existente.....	82
Figura 5 – Curvas da bomba e do sistema para uma bomba e tubulação existente	83
Figura 6 – Curva característica da vazão de distribuição de água industrial fria..	85
Figura 7 – Balanço sobre a torre de resfriamento, com as variáveis conhecidas.	98
Figura 8 – Gráfico de temperatura do líquido vs. entalpia ar-água, para a condição de saturação e três condições operacionais quaisquer (N-O'; N-O; R-S)	99

1 INTRODUÇÃO

As ações de conversão de matéria-prima em produto inseridas no segmento têxtil apresentam um rendimento mássico e energético questionável quando avaliadas sob a ótica dos resíduos produzidos. Na seqüência histórica evolutiva, métodos e ferramentas vêm sendo orientados no sentido da maximização da produção de forma pontual, isolada dos demais componentes do sistema, implicando freqüentemente na deficiência de infra-estrutura para uma resolução em curto prazo.

A aquisição constante de processos cada vez mais velozes ainda é vista sob um panorama de modernidade. Na mesma seqüência histórica, a inserção recente de variáveis adicionais, tais como as questões de mão-de-obra e meio ambiente, tem incrementado as discussões acerca do conceito de eficiência.

Um programa de otimização nos moldes propostos por este trabalho não se mantém confinado na identificação de oportunidades de melhoria de desempenho. Em sua perspectiva filosófica, entre os conhecimentos apresentados e as ações sugeridas, tem-se a mediação do conceito de processo de formação. Através dele, sujeito e objeto são continuamente afetados e modificados em sua forma, de modo que passa a ser permitida a assimilação do trabalho industrial dotado de um modelo pleno de conteúdo.

Para que o ponto ótimo da organização seja atingido, não apenas a correta modelagem matemática dos seus fenômenos é requerida, mas a assimilação e perpetuação da sua busca constante através de colaboradores conscientes da sua práxis emancipadora.

Surge então o questionamento a respeito de como possibilitar o alcance do ponto ótimo. A construção de um modelo a isto destinado, objetivo deste trabalho, é fundamentado na seguinte seqüência:

- Análise da situação atual da planta do ponto de vista dos fluxos materiais e energéticos;
- Escolha de uma linguagem única capaz de representar a eficiência de conversão da planta industrial;
- Elaboração de modelos matemáticos baseados na linguagem escolhida capazes de quantificar a sua eficiência de conversão;
- Elaboração de 'funções objetivo' para o monitoramento e análise desta eficiência.

Uma vez que a totalidade das formas de transferência e conversão estão relacionadas ao conceito de eficiência, tem-se aí o caminho do estabelecimento dos modelos matemáticos.

A otimização da planta industrial merece atenção por proporcionar ganhos ambientais com redução de custos, com a visualização de resultados positivos e concretos residindo também sobre o domínio maior dos processos de transformação.

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, conforme descritos a seguir:

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos encontrados na literatura, enfocando a matéria-prima têxtil, produtos químicos e corantes utilizados, beneficiamento, geração e tratamento de efluentes, recirculação e minimização de efluentes.

Capítulo 3 – Material e Métodos

O procedimento experimental é apresentado neste capítulo, incluindo-se os reagentes, os equipamentos, os métodos utilizados para a determinação de cor, turbidez, dureza, pH, alcalinidade, DBO, DQO, ferro total, sólidos totais - fixos e voláteis.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos neste trabalho, incluindo a caracterização dos efluentes.

Capítulo 5 – Conclusões e sugestões

As principais conclusões obtidas neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros são apresentados neste capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil representa um extraordinário valor econômico-social, absorvendo expressiva quantidade de mão-de-obra e gerando divisas. No Brasil, por exemplo, há cerca de 5000 indústrias têxteis, assim distribuídas: 11% de grande porte; 21% de pequeno; e 68% como micro-empresas. Situa-se, na economia brasileira, dentre os 24 setores de atividades industriais, no quinto lugar em empregos diretos, e no sexto em faturamento (CONCHON, 1999)

O Brasil, em 1999, encontrava-se entre os 10 maiores produtores mundiais de fios/filamentos, tecidos e malhas, especialmente de algodão. Nesse último segmento, malhas com predominância de algodão, o país era o terceiro maior produtor mundial, somente atrás dos Estados Unidos e Índia, conforme ilustra a Tabela 1 (Iemi, 2001).

Tabela 1– Países Produtores de artigos têxteis – 1999 (em toneladas)

Países	Fios/Filamentos	Tecidos	Malhas	Confeções
1 - China	4.481.400	5.924.160	n.i.	5.331.744
2 – Estados Unidos	4.954.617	3.471.720	880.935	4.492.833
3 – Índia	3.965.120	2.535.710	492.170	2.770.840
4 – Taiwan	4.106.731	3.539.000	242.367	1.712.276
5 – Coreia do Sul ^a	2.200.000	1.900.000	n.i.	723.185
6 – Paquistão	1.917.615	1.891.725	n.i.	1.603.075
7 - Brasil ^b	1.434.500	890.000	489.000	1.147.394
8 - México ^a	1.008.380	1.015.627	n.i.	1.253.965
9 – Japão	1.122.941	677.120	118.404	744.031
10 – Turquia	913.000	420.000	n.i.	365.792
11 – Alemanha	572.700	291.300	63.800	461.280
Outros ^a	5.400.000	1.10.000	256.000	1.174.528
Total	31.0668.624	23.656.362	2.542.676	21.780.943

Fonte: ITMF – Países membros (IEMI, 2001).

^aEstimativas extra-oficiais.

^bEm tecidos de malha, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial.

A produção têxtil cresceu moderadamente entre 1990 e 1999: a produção de fios (em toneladas) teve um acúmulo de 10% nesse período (médias de 1% ao ano), a de tecidos planos acumulou 3% e a de malhas acumulou 30% (média de 2,9% ao ano). Já a produção de confeccionados, incluindo vestuário, acessórios, linhas lar e artigos técnicos, cresceu à taxa acumulada de 84% no mesmo período (média de 7% ao ano), alcançando, em 1999, 8,2 bilhões de peças distribuídas. O consumo, por outro lado, apresentou uma significativa expansão na década, passando de 8,27 kg/habitantes para 9,5 kg/habitantes (GORINI, 2000).

Santa Catarina é um pólo importante da indústria têxtil no Brasil. A situação catarinense em termos de processo produtivo apresenta um recurso tecnológico

baseado nos moldes internacionais, adaptado à realidade de mercado e à economia brasileira (MARTINS, 1997).

A indústria têxtil, especialmente o setor de beneficiamento, é responsável pela poluição, principalmente dos corpos de água, das regiões em que atua. Maiores exigências impostas pela legislação e cobranças sociais vêm criando a necessidade premente de mudar este quadro. Atualmente, as indústrias utilizam sistemas de gestão ambiental para aumentar a sua produtividade, seja na eficiência das máquinas, na redução dos custos ou agregando alguma característica ao produto final, que possa valorizá-lo no mercado, gerando a menor quantidade de resíduos possível (PITOLI, 2000; TRALLI, 2000).

Inúmeras alterações quanto às políticas e regulamentos, tanto em nível nacional como internacional, foram feitas especialmente nas últimas três décadas. Os valores limites dos parâmetros controlados foram se ajustando para proteger o meio ambiente. Esses valores são estabelecidos para cada indústria e diferem segundo os países. Normalmente os padrões quantitativos se estabelecem no setor têxtil para os seguintes parâmetros: vazão de corrente efluente, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos em suspensão (SS), pH, e temperaturas. Em alguns casos se adicionam a cor e o cromo (SANIN, 1997).

2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL

O crescente aumento do custo da água tratada, bem como critérios cada vez mais rigorosos de descartes de efluentes tem incentivado cada vez mais o reaproveitamento da água industrial. Pode-se verificar que existem diferentes classificações para a água de acordo com a finalidade requerida.

- Reuso: a água é utilizada mais de uma vez dentro da planta.
- Reciclagem: a água é recuperada e reutilizada no mesmo processo.
- Reaproveitamento: a água é recuperada e reutilizada em processo diferente da origem, normalmente em quantidades menores e qualidade inferior.

A característica de a água ser um solvente impede de encontrá-la em estado de absoluta pureza. São inúmeras as impurezas que se apresentam nas águas

naturais; várias delas inócuas, poucas desejáveis e algumas extremamente perigosas. Dentre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e, até mesmo, elementos radioativos (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991)

Segundo Silvestre (1995), mais de 97% da água que compõe o planeta é salgada, 2% está na forma de gelo, e 1% restante está nos lençóis subterrâneos, lagos, rios e atmosfera. O Brasil detém 8% de toda a água doce superficial do mundo. Segundo Sanin (1997), cerca de 97,4% da água presente no planeta está na forma de oceanos e 2,6% são águas doces, presentes em lençóis freáticos (22,2%), gelo (77,7%) e na forma disponível (0,6%). Os maiores consumos do total de água disponível são destinados à agricultura e à indústria. Dentro desta última, o setor têxtil consome 15% da água, devolvendo-a depois do processo, altamente contaminada (SANIN, 1997).

Existem controvérsias sobre o futuro dos recursos hídricos no mundo. Uns afirmam que haverá escassez hídrica, sustentados em estimativas, como a da Organização Mundial das Nações Unidas – ONU, conforme citado em Bello (2000), que diz que nos próximos 25 anos, cerca de 28 bilhões de pessoas viverão em regiões de seca crônica. Os contrários afirmam que apesar do uso irresponsável e do descaso com relação aos mananciais, não existirão problemas quanto à quantidade, isto é, dificilmente ocorrerá a situação de escassez (ALVES, 2000).

A importância do aspecto ecológico é uma realidade para os países industrializados e uma necessidade a curto e médio prazo para aqueles que se encontram em vias de desenvolvimento. Isso significa que todo investimento de recursos financeiros realizados na proteção do meio ambiente supõe uma garantia para o futuro e permite alcançar os mercados internacionais; aumentar a competitividade; evitar problemas com o público, governo e entidades financeiras internacionais; controlar os riscos de acidentes; tirar vantagens de novas oportunidades e diminuir as sanções por contaminação (SANIN, 1997).

As indústrias possuem seus próprios sistemas de captação e tratamento da água utilizada no processo industrial e nas demais atividades, necessária para o seu funcionamento. A utilização da água dentro de uma indústria têxtil, mais especificamente no processo de beneficiamento, ocorre basicamente em todas as etapas, seja diretamente para lavagem, tingimento, amaciamento e outras, ou

indiretamente para fazer resfriamento, aquecimento ou produção de vapor em cadeiras (MARTINS, 1997).

A qualidade da água utilizada no processo têxtil possui limites de tolerâncias e restrições que variam conforme o autor. Para Little (1975), a exigência rigorosa de qualidade não precisa ser a mesma para todos os processos. Na Tabela 2 são apresentados os limites de tolerância que caracterizam a qualidade da água para utilização no processo têxtil.

Tabela 2 – Limites de tolerância de qualidade da água para utilização nos processos têxteis.

Qualidade ou Substância	Tolerância (mg/L)	Qualidade ou Substância	Tolerância (mg/L)
Turbidez	< 5	Sulfato	< 250
Sólidos suspensos	< 5	Sulfito	< 1
Cor	< 5 (unidade PtCo)	Cloreto	< 250
pH	7 – 9	Fosfato	Sem limite
Acidez/Alcalinidade	< 100 como CaCO ₃	Oxigênio dissolvido	Sem limite
Dureza	< 70 como CaCO ₃	Dióxido de carbono	< 50
Ferro	< 0,3*	Nitrito	< 0,5
Manganês	< 0,05	Cloro	< 0,1
Cobre	< 0,01	Amônia	< 0,5
Chumbo e Metais Pesados	< 0,01	Óleos, graxas, gorduras, sabões.	1
Alumínio	< 0,25	Agentes de clareamento fluorescente	< 0,2
Sílica	< 10	Sólidos Totais	< 500

Fonte: LITTLE, 1975.

* Para alguns usos, o limite é inferior a 0,1 mg/L.

2.2.1 Qualidade da Água

Segundo Crook (1993), os fatores que afetam a qualidade da água para reuso incluem a qualidade na fonte geradora, o tratamento da água residuária, a confiabilidade no processo de tratamento, o projeto e a operação dos sistemas de distribuição. Os programas de controle das fontes industriais podem limitar o ingresso de constituintes químicos capazes de afetar adversamente a qualidade da água. A garantia da confiabilidade no tratamento, embora uma medida óbvia de controle da qualidade, é muitas vezes negligenciada. O projeto dos sistemas de distribuição e os métodos de operação dos sistemas de água para reuso são

importantes para garantir que a qualidade pretendida não seja diminuída antes do seu destino, ou para assegurar que a água será utilizada para a finalidade prevista. A qualidade de água para reaproveitamento, reciclagem e reuso é diferente, como será verificado no decorrer deste trabalho.

2.2.2 Ocorrência das Águas

A água é essencial para a existência da vida em nosso planeta. Todas as reações bioquímicas ocorrem em meio aquoso, pelo transporte de íons através das membranas celulares. (SANIM, 1997)

- Volume de água livre sobre a terra = 1.370 milhões de Km³
 - 97,40% Oceanos (águas salgadas)
 - 2,30% Geleiras polares e glaciais
 - Águas Subterrâneas em grandes profundidades (> 800m)
 - 0,29% Águas subterrâneas em baixas profundidades (< 800m)
 - Utilização viável para pequenas comunidades
 - 0,01% Rios e lagos
 - Utilização viável para grandes centros urbanos.
- Volume de água na terra disponível para consumo humano = 4.149.200 Km³

Haveria água suficiente para abastecer o planeta de água sem que houvesse preocupação com a sua disponibilidade, porém, deve-se considerar uma série de fatores, principalmente a distribuição da mesma por regiões e a contaminação dos mananciais.

- Consumo de água em litros/habitantes dia
 - 150L/habitantes.dia em pequenas cidades
 - 400L/habitantes.dia em grandes centros

2.2.3 Indicadores de Qualidade da Água

Para caracterizar a água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam suas características físicas, químicas e biológicas.

Indicadores de Qualidade Física:

- Cor: resulta da existência, na água, de substâncias em solução: Fe, Mn, matéria orgânica, algas, etc;
- Turbidez: presença de material em suspensão;
- Temperatura: influi nas propriedades da água;
- Sabor e odor: resultam de causas naturais (algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos, compostos orgânicos, etc.) e artificiais (esgotos domésticos e industriais)

Indicadores de Qualidade Química

- pH: agressividade da água;
- Alcalinidade: causada por sais alcalinos, principalmente Na e Ca. Mede a capacidade de neutralizar os ácidos;
- Dureza: resulta da presença de sais alcalinos terrosos (Ca e Mg), ou de outros metais bivalentes. Causa sabor desagradável e efeitos laxativos, além de reduzir a formação de espuma do sabão, e provocar incrustações nas tubulações de caldeiras;
- Cloretos: conferem sabor salgado e propriedades laxativas à água;
- Ferro e manganês: causam coloração avermelhada ou marrom à água, manchando roupas, além de conferir sabor e propiciar o desenvolvimento de ferro: bactérias causadoras de mau cheiro, coloração e incrustações.
- Nitrogênio: causa a eutrofização da água;
- Fósforo: causa a eutrofização da água;
- Fluoretos: em concentrações adequadas são benéficos no combate às cáries; porém, em concentrações elevadas, causam a fluorose dentária (mancha escura nos dentes);
- Oxigênio dissolvido: indispensável aos organismos aeróbios;

- Matéria orgânica (DQO, DBO): necessária aos organismos heterótrofos; porém em concentrações elevadas causa problemas como: cor, odor, sabor, turbidez, remoção do oxigênio dissolvido;
- Outros compostos inorgânicos e orgânicos: vários são tóxicos aos organismos vivos.

Indicadores de Qualidade Biológica

- Coliformes totais e fecais: são indicadores de microrganismos patogênicos na água: coliformes totais e fecais;
- Algas: responsáveis por grande parte do oxigênio dissolvido na água, pelo fenômeno da eutrofização, causando cor, odor, sabor, toxicidade, turbidez, acúmulo de matéria orgânica, redução do oxigênio dissolvido e corrosão.

2.2.4 Padrões de Qualidade da Água

Os teores máximos de impurezas permitidos na água são estabelecidos em função dos seus usos. Sendo assim, os mananciais são classificados pela pureza e destino, conforme apresentado na Tabela 3, de acordo com os parâmetros limites apresentados na Tabela 4:

Tabela 3 – Classificação dos Mananciais Hídricos

CLASSE*	USOS
Águas Doces (salinidade < 0,5%)	
Classe especial	- Abastecimento prévio ou sem prévia ou simples desinfecção - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas
Classe 1	- Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado - Preservação das comunidades aquáticas - Recreação de contato primário (natação, mergulho e outros) - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película - Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 2	- Abastecimento doméstico, após tratamento convencional - Preservação das comunidades aquáticas - Recreação de contato primário (natação, mergulho e outros) - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película - Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 3	- Abastecimento doméstico, após tratamento convencional - Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras - Dessedentação de animais
Classe 4	- Navegação - Harmonia paisagística - Usos menos exigentes
Águas Salinas (salinidade > 30%)	
Classe 5	- Recreação de contato primário - Proteção das comunidades aquáticas - Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 6	- Navegação - Harmonia paisagística - Recreação de contato secundário
Águas Salobras (salinidade 0,5 – 30%)	
Classe 7	- Recreação de contato primário - Proteção das comunidades aquáticas - Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 8	- Navegação - Harmonia paisagística - Recreação de contato secundário

Fonte: Resolução nº 20/86 do CONAMA (1986).

*Classificação das águas segundo seus usos principais, de acordo com a resolução nº. 20/86 do CONAMA (1986).

Tabela 4.- Parâmetros Limites

PARÂMETROS (LIMITES)	CLASSE								
	Espec.	1	2	3	4	5	6	7	8
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	*	1000	5000	20000	-	5000	20000	5000	20000
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	*	200	1000	4000	-	1000	4000	1000	4000
Óleos e Graxas	-	---	---	---	Irrid.	---	Irrid.	---	Irrid.
DOB (mg/L)	-	• 3,0	• 5,0	• 10,0	-	• 5,0	• 10,0	• 5,0	-
OD (mg/L)	-	• 6,0	• 5,0	• 4,0	• 2,0	• 6,0	• 4,0	• 5,0	• 3,0
Turbidez (UNT)	-	40	100	100	-	-	-	-	-
PH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
Nitrito (mg/L)	-	1,0	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-
Nitrato (mg/L)	-	10,0	10,0	10,0	-	10,0	-	-	-

Fonte: Resolução nº 20/86 do CONAMA (1986).

Obs.: * : ausente;

---: virtualmente ausente;

- : não existe padrão;

Irrid. : toleram-se irrisidências

Esta classificação das águas serve para que os órgãos de controle de poluição locais baseiam-se para classificar os seus mananciais.

Além da classificação das águas, o CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, também define os principais padrões de qualidade para águas potáveis, padrões para balneabilidade e padrões para uso de águas para irrigação. Estes padrões de qualidade das águas são utilizados pelos órgãos de poluição locais, redefinindo os seus padrões em função das necessidades específicas de cada região. Porém, os padrões definidos pelo CONAMA são as concentrações mínimas que devem ser atingidas, implicando em que qualquer parâmetro redefinido por um órgão local deve atingir concentrações iguais ou inferiores às estabelecidas pelas legislações federais.

Na Tabela 5 são apresentados os padrões de qualidade para águas potáveis definidos pelo CONAMA e na Tabela 6, para o efluente industrial no Estado de Santa Catarina.

Padrões de Potabilidade

- pH entre 6,5 e 8,5;
- Coliformes fecais: ausência em 100 mL de amostra;
- Cloro residual livre: concentração mínima de 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede distribuidora.

Tabela 5 - Valores máximos permissíveis (VMP) para as características da água potável (Portaria n.º 30/90, do Ministério da Saúde)

CARACTERÍSTICAS	UNID.	VMP	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VMP
<i>I. Físicas e Organolépticas</i>			Heptaclorato	ug/L	0,1
Cor aparente	uH (l)	5 (3)	Hexaclorobenzeno	ug/L	0,001
Odor		não obj.	Lindano	ug/L	3
Sabor		não obj.	Metoxicloro	ug/L	30
Turbidez	uT (2)	1 (4)	Pentaclorofenol	ug/L	10
			Tetracloroto de carbono	ug/L	3
			Tetraclorotoetano	ug/L	10
II. Químicas					
<i>Ila. Componentes Inorgânicos</i>					
Arcênio	mg/L	0,05	Toxafeno	ug/L	5
Bário	mg/L	1	Tricloreteno	ug/L	30
Cádmio	mg/L	0,005	Tribalometanos	ug/L	100 (6)
Chumbo	mg/L	0,05	1,1 Dicloreteno	ug/L	0,3
Cianetos	mg/L	0,1	1,2 Diclootetano	ug/L	10
Cromo total	mg/L	0,05	2,4,6 Triclorofenol	ug/L	10 (7)
Fluoretos	mg/L	-5			
Mercúrio	mg/L	0,001	<i>Ilb. Componentes que afetam a qualidade organoléptica</i>		
Nitratos	mg/L	10			
Prata	mg/L	0,05	Alumínio	mg/L	0,2 (8)
Selênio	mg/L	0,01	Agentes tensoativos	mg/L	0,2
			Cloretos (Cl)	mg/L	250
			Cobre	mg/L	1
<i>Ilb. Componentes Orgânicos</i>					
Aldrin e Dieldrin	ug/L	0,03	Dureza total (CaCO ₃)	mg/L	500
Benzeno	ug/L	10	Ferro Total	mg/L	0,3
Benzeno a pireno	ug/L	0,01	Manganês	mg/L	0,1
Clordano	ug/L	0,3	Sólidos totais dissolvidos	mg/L	1000
DDT	ug/L	1	Sulfatos	mg/L	400
Endrin	ug/L	0,2	Zincos	mg/L	5

Fonte: Portaria n.º 30/90, do Ministério da Saúde.

Tabela 6 - Padrões de qualidade do efluente industrial no Estado de Santa Catarina

CARACTERÍSTICAS	UNID.	VMP	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VMP
I. Físico-Químicas					
PH	Faixa	6 a 9	Níquel total	mg/L	1
Temperatura	°C	40	Prata total	mg/L	0,02
Sólidos sedimentares	ml/1	1	Selênio	mg/L	0,02
II. Químicas					
<i>Ila. Componentes Inorgânicos</i>					
Arcênio total	mg/L	0,1	<i>Ilb. Componentes Orgânicos</i>		
Bário	mg/L	5	Clorofórmio	mg/L	1,0
Boro total	mg/L	5	Compostos organofosforados	mg/L	0,1
Cádmio total	mg/L	0,1	Carbamatos	mg/L	0,1
Chumbo	mg/L	0,5	Fenóis	mg/L	0,2
Cianetos	mg/L	0,2	Óleos Minerais	mg/L	20,0
Cobre	mg/L	0,5	Óleos Veg. e gorduras animais	mg/L	30,0
Cromo hexavalentes	mg/L	0,1	Outros comp. Organoclorados	mg/L	0,1
Cromo total	mg/L	5	Sulfeto de carbono	mg/L	1,0
Estanho	mg/L	4	Tetracloroeto de carbono	mg/L	1,0
Ferro +2 solúvel	mg/L	15	Tricloreto e Dicloro etileno	mg/L	1,0
Fluoretos	mg/L	15	<i>Ilc. Outros Componentes</i>		
Fósforo total	mg/L	10	Orgânicos	mg/L	
Manganês +2 solúvel	mg/L	1	DBO	mg/L	60,0
Mercúrio total	mg/L	0,005	Substancias tensoativas	mg/L	2,0
Nitrogênio total	mg/L	10			

Portaria n.º 30/90, do Ministério da Saúde.

2.2.5 Processos de tratamento das águas

Do ponto de vista técnico, qualquer água encontrada no meio ambiente, poluída ou não, pode ser transformada em água potável. Entretanto do ponto de vista econômico, a presença de determinados compostos ou poluentes pode inviabilizar o processo de tratamento. Quanto maior for a poluição hídrica, maior será o grau de sofisticação do sistema de tratamento da água para sua potabilização, ou para atender às exigências de qualidade definidas pelo CONAMA com relação à classe do manancial em que serão lançados os efluentes.

2.3 PROCESSO TÊXTIL

O processo têxtil de produção de tecidos é dividido em fiação, tecelagem e acabamento. Na etapa de fiação, a matéria-prima é processada nos abridores,

batedores, cardas, passadores, penteadeiras, maçarqueiras, filatórios, retorcedoras e conicaleiras. Nesta etapa não há geração de efluentes líquidos, pois todas as operações ocorrem a seco. Na etapa de tecelagem, os fios tingidos ou crus são transformados em tecidos nos teares. Esta etapa trata-se de um processo seco, portanto não ocorre a geração de efluentes líquidos, muito embora a etapa posterior de desengomagem seja uma importante fonte geradora de efluentes líquidos poluidores (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

Na etapa de acabamento, os tecidos são tratados para adquirirem as características de toque, impermeabilidade, estabilidade dimensional, etc. Esta etapa é dividida em (ARAÚJO e CASTRO, 1984):

- Tratamento prévio ou Preparação: nesta etapa elimina-se a impureza das fibras e melhora-se a estrutura do material para prepará-lo para as operações de tingimento, estamparia e acabamento.
- Tingimento: nesta etapa os materiais têxteis devem ser coloridos uniformemente.
- Estamparia: esta etapa consiste na aplicação de um desenho colorido no material têxtil.
- Acabamentos: são as operações que conferem as características essenciais de aspecto, brilho, toque, caimento, amarrotamento, resistência, etc.

2.3.1 Matéria prima

De acordo com Araújo e Castro (1984), as fibras têxteis podem ter várias origens que servem como critério para a sua classificação. As fibras de origem natural são produzidas pela natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil e as de origem não-natural ou sintética são as produzidas por processos industriais. As fibras são regeneradas ou artificiais quando polímeros naturais são transformados por ação de reagentes químicos. As fibras sintéticas são obtidas a partir de produtos de polímeros originalmente sintetizados quimicamente em laboratório.

Para Martins (1997), as fibras são as principais matérias-primas no setor têxtil, quer sejam natural, artificiais ou sintéticas. As fibras naturais são: algodão, lã,

linho, seda, entre outros; as fibras artificiais são fabricadas a partir de produtos naturais de composição macromolecular (animal/vegetal) como a viscose, o acetato de celulose; as fibras sintéticas são formadas por polímeros de alto grau de polimerização, obtidas por síntese a partir de monômeros derivados do petróleo. A evolução do consumo mundial de matérias têxteis é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Evolução do consumo mundial de matérias primas têxteis.

Matéria-Prima Têxtil	1950		1960		1975		1985	
	Consumo*	%	Consumo*	%	Consumo*	%	Consumo*	%
Algodão	8,90	62,0	10,30	59,0	12,50	43,0	11,60	30,0
Lã	1,30	9,0	1,50	8,5	1,60	5,5	1,60	4,0
Rayon Celulósico	2,10	15,0	2,50	14,5	3,50	12,0	3,50	9,0
Sintéticos	0,15	1,0	0,90	5,0	8,10	28,0	18,30	48,0
Outras Fibras	1,95	13,0	2,20	13,0	3,30	11,5	3,40	9,0
Total	14,40	100,0	17,4	100,0	29,00	100,0	38,40	100,0
Habitantes mundo (bilhões)	2,5		2,9		4,0		4,8	
Consumo/kg/hab/ano	5,75		6,00		7,25		8,00	

Fonte: MARTINS, 1997.

* Consumo em milhões de toneladas

A indústria têxtil no Brasil vem evoluindo a cada dia; mesmo com a inserção das fibras sintéticas e artificiais, o algodão continua sendo o substrato mais utilizado no beneficiamento e na industrialização das fibras naturais, conforme ilustrado na Tabela 8. A composição química da fibra de algodão influencia os processos de beneficiamento têxtil. Na Tabela 9, é apresentada a composição química média encontrada no fio de algodão.

Tabela 8 - Consumo de fibras no Brasil. (mil ton.)

ANO	Algodão	Lã	Rami	Seda	Linho	Sisal	Juta	TOTAL
1997	757.174	7.022	11.715	991	5.253	13.974	19.001	815.130
1998	870.740	6.107	12.665	962	3.295	8.732	17.760	920.261
1999	988.168	9.455	14.349	3.486	3.809	9.451	10.271	1.038.989
2000	1.194.568	11.427	7.248	3.657	3.327	13.556	7.231	1.241.014
2001	1.052.227	9.531	7.552	4.013	3.092	15.483	8.469	1.100.367
2002	996.897	10.827	7.552	4.013	3.092	16.788	9.926	1.049.095

Fonte: IEMI (2003).

Tabela 9 - Composição média do fio de algodão.

Elemento	Porcentagem
Celulose	80,0 – 85,0
Água	6,0 – 8,0
Compostos minerais	1,0 – 1,8
Compostos nitrogenados	1,0 – 2,8
Ceras	0,5 – 1,0
Material péctico	0,4 – 1,0
Resíduo de cascas	3,0 – 5,0
Parafina	0,2 – 3,0

Fonte: ZOMIGNAN, 1995.

2.3.2 Produtos químicos auxiliares utilizados na indústria têxtil

Segundo Steinhart (2000), os auxiliares de tingimento utilizados na indústria têxtil em sua maioria são formulados à base de tensoativos. Esses são substâncias que possuem uma parte hidrófila (polar) e uma hidrófoba (apolar) que têm a propriedade de reduzir a tensão superficial dos líquidos. Para a obtenção de diferentes ações e aplicações, os tensoativos são combinados entre si. Para uma formulação básica, tem-se uma base (tensoativa ou não) e demais tensoativos auxiliares.

Steinhart (2000) define a ação dos tensoativos nas diferentes aplicações têxteis como:

- “Carriers”: Possuem como base de formulação substâncias não tensoativas, porém contém tensoativos em sua formulação.
- Igualizantes: São produtos específicos para determinadas fibras e corantes. Existem três tipos de ação dos igualizantes: ter afinidade com a fibra, ter afinidade com o corante e ter sua ação exclusivamente na alteração da tensão superficial, não possuindo afinidade com o corante ou fibra.
 - Retardantes: São igualizantes constituídos por tensoativos catiônicos.
 - Dispersantes ou colóides protetores: têm como principal característica impedir a reaglomeração dos sólidos.
 - Umectantes: Este tensoativo tem como função principal emulgar (retirar) o ar presente no tecido em água, mais especificamente, substituir as superfícies de contato ar/tecido por uma superfície de contato água/tecido.

- Detergentes: São tensoativos que possuem a propriedade de umectar os substratos têxteis, permitindo que, pela quebra da tensão superficial da água, a sujeira seja facilmente removida do material para a fase líquida. Mantêm em suspensão as partículas removidas, não permitindo que se reaglomerem e se depositem na superfície do substrato. Têm a propriedade de emulsionar as gorduras ou óleos presentes nos substratos têxteis.

- Antiespumantes: Agem na estrutura da espuma fazendo com que a mesma perca elasticidade e se rompa.

- Amaciantes: Conferem a sensação de maciez e volume, que é dada pela parte hidrófoba da base amaciante. Por esse motivo, a absorção de água das matérias têxteis fica prejudicada quando da aplicação de um amaciante.

Na Tabela 10 são apresentados os produtos auxiliares mais utilizados no tingimento:

Tabela 10 - Auxiliares químicos utilizados em tingimento.

Descrição	Composição	Função
Sais	Cloreto de sódio Sulfato de sódio	Retardantes
Ácidos	Acético e sulfúrico	Controle de pH
Bases	Hidróxido de sódio Carbonato de sódio	Controle de pH
Seqüestrantes	EDTA	Seqüestrante
Dispersantes e surfactantes	Antônicos, vatiônicos e não-iônicos	Amaciante, dispersantes de corantes
Agentes oxidantes	Peróxido de hidrogênio Nitrito de sódio	Insolubilizante de corantes
Agentes redutores	Hidrossulfito de sódio Sulfeto de sódio	Remoção de corantes não reagidos; solubilizante
“Carriers”	Organoclorados	Aumenta a absorção

Fonte: PERES e ABRAHÃO (1998).

2.3.3 Corantes

Os corantes são moléculas pequenas que compreendem dois componentes: o grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que se liga às fibras do tecido (CORREIA et al., 1994).

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com o método pelo qual é fixado à fibra. Existem muitos tipos de

corantes, os principais classificados pelo modo de fixação são apresentados a seguir (TROTMAN, 1984; GUARATINA e ZANONI, 2000)

- Corantes Reativos: Esses tipos de corantes têm como principal característica a alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra. Essa ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido, a montagem (fixação) se efetua pela adição de um eletrólito.

- Corantes Diretos ou Substantivos: São corantes solúveis em água. Tingem diretamente as fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através das interações de van der Waals. O banho aquoso deve ser acrescido de um eletrólito, para aumentar a afinidade pela fibra.

- Corantes Azóicos: São compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento (naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio (RN_2^+) provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra e produz um corante insolúvel em água. O fato de usar um sistema de produção do corante, diretamente sobre a fibra, permite um método de tingimento de fibras celulósicas com alto padrão de fixação e alta resistência à luz e umidade.

- Corantes Ácidos: São solúveis em água. Tingem diretamente as fibras protéicas e poliamídicas. O termo ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos.

- Corantes à cuba: Também chamados de corantes à tina e de redução, são insolúveis em água. Através de redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, transformam-se em derivados solúveis e tingem os materiais têxteis celulósicos. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura de algodão, embora devido às suas excelentes propriedades de fixação, outros materiais também sejam utilizados. Como a produção química de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ecológicos, o custo desta classe de corantes tem sido bastante alto.

- Corantes de Enxofre: São insolúveis em água. São aplicados após solubilização com sulfeto de sódio. Após a montagem são oxidados convertendo-se nos corantes insolúveis originais. São ideais para fibras celulósicas para a obtenção de cores intensas (castanho, azul, marinho, preto).

- Corantes Dispersos: Constitui uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão.

Durante o processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finamente dividido) sobre o substrato têxtil. Para a sua aplicação são necessários agentes dispersantes.

- Corantes Pré-Metalizados: Tingem principalmente fibras protéicas e poliamida. São caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito.

- Corantes Branqueadores: são também chamados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes. São aplicados para diminuir a aparência amarelada das fibras.

A Tabela 11 apresenta as principais classes de corantes, os tipos de fibras que apresentam afinidade e a taxa de fixação.

Tabela 11 - Principais classes de corantes.

Classe de Corantes	Método	Fibra tipicamente aplicada	Fixação típica (%)
Ácido	Esgotamento/ "beck"/ contínuo (tapete)	Lã/nylon® (*)	80 – 93
Básico	Esgotamento/ "beck"	Acrílicas/ algumas fibras de poliéster	97 – 98
Direto	Esgotamento/ "beck"/ contínuo	Algodão/ raion/ outras fibras celulósicas	70 – 95
Disperso	Esgotamento a alta temperatura/ contínuo	Poliéster/ acetato/ outras fibras sintéticas	80 – 92
Reativo	Esgotamento/ "beck"/ "cold pad batch"/ contínuo	Algodão/ outras fibras celulósicas/ lã	60-70
Sulfurosos	Contínuo	Algodão e outras fibras celulósicas	60 – 70
Tina	Esgotamento/ "package"/ contínuo	Algodão e outras fibras celulósicas	80 - 95

Fonte: EPA, 1997.
(*) Poliamida

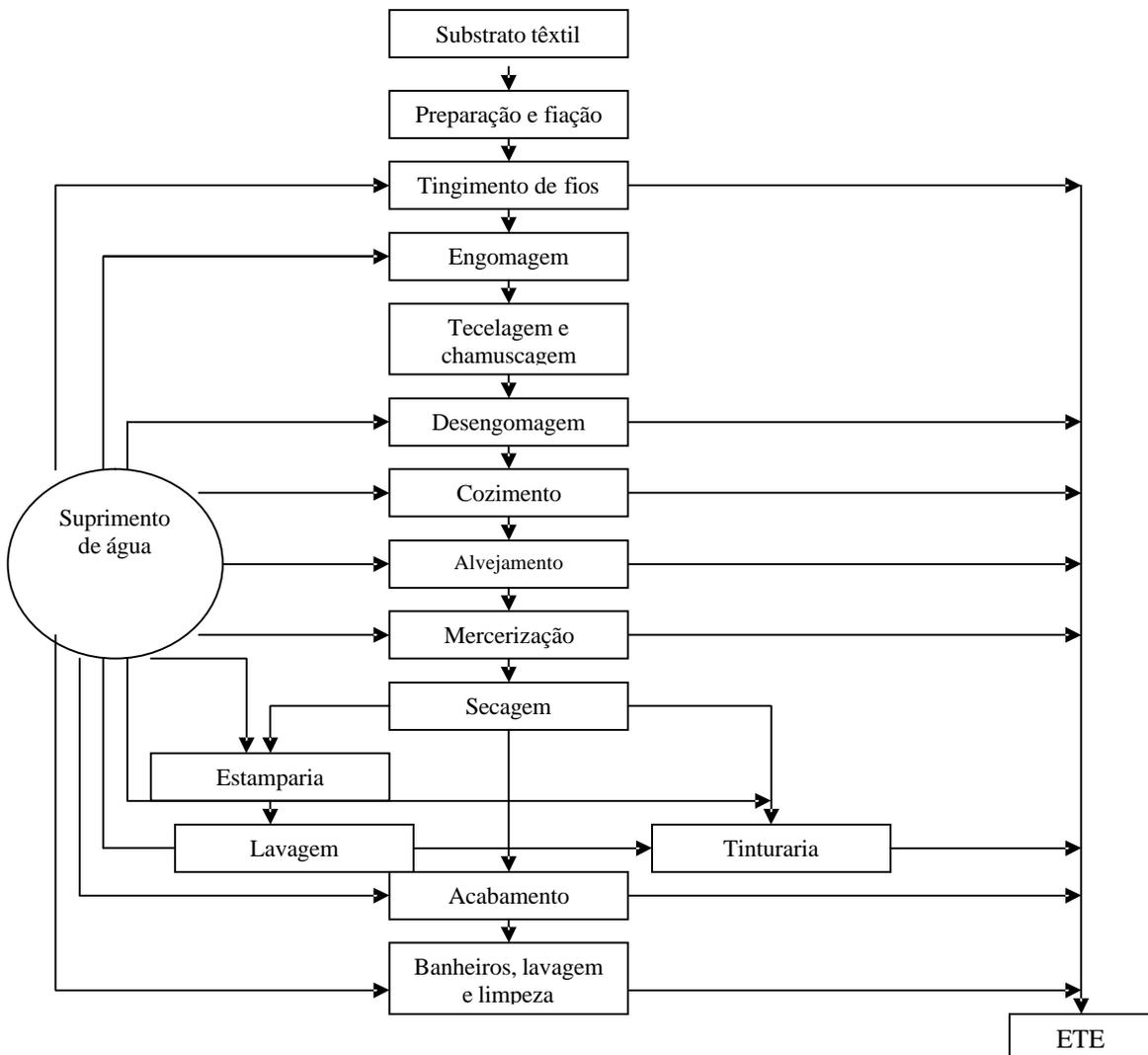
2.3.4 Beneficiamento

O beneficiamento têxtil consiste em um conjunto de processos aplicados aos materiais têxteis objetivando transformá-los, a partir do estado cru, em artigos brancos, coloridos, estampados e acabados.

A desengomagem, o alvejamento, a lavagem de tecidos, a mercenarização, o tingimento, a estamparia e o acabamento de tecidos, são as várias etapas do beneficiamento onde se tem a geração de efluentes líquidos. Esses processos possuem composição variada, pois dependem da matéria-prima e dos produtos químicos empregados.

As etapas dos processos de preparação, tingimento, estamparia e acabamento, são descritas conforme fluxograma apresentado na Figura 1 abaixo:

Figura 1 - Etapas características do processamento de tecidos de algodão e sintéticos.



Fonte: BRAILE e CAVALCANTI, 1993.

2.3.5 Geração e tratamento de efluentes têxteis

As indústrias têxteis consomem grandes volumes de água (tipicamente 200 – 400L são necessários para produzir 1 kg de tecido) e produtos químicos durante os processos têxteis a úmido (ROBINSON et *al.* 2000).

Os produtos químicos utilizados na indústria têxtil compreendem compostos inorgânicos, polímeros e produtos orgânicos (MIRSHRA e TRIPATHY, 1993; BANATA et *al.*, 1996; JUANG et *al.*, 1996).

A presença de concentrações muito baixas de corantes no efluente é extremamente visível e indesejável (NIGAM et *al.*, 2000). A maioria dos corantes é resistente à descolorização, exposição à luz, água e muitos produtos químicos devido a estes possuírem estrutura complexa e origem sintética.

2.4 TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

A seguir serão apresentados os principais equipamentos, reagentes e procedimentos experimentais utilizados no presente trabalho.

Durante as últimas décadas, os custos para o tratamento de correntes de águas residuárias tem sido um aumento constante devido às regulamentações mais rigorosas e às vantagens econômicas. As indústrias tendem a investir cada vez mais tempo e dinheiro no reuso, recuperação e reciclagem de efluentes têxteis. Estes fatos desencadearam o desenvolvimento de processos integrados que ajudam a minimizar sistematicamente, sobretudo, a taxa de fluxo de águas residuárias de várias plantas que usam em suas atividades (JÖDICKE et *al.*, 2001).

Muitos são os métodos utilizados no tratamento de efluentes têxteis e estes podem ser divididos em 3 categorias: químicos, físicos e biológicos. Os químicos são baseados na reação do corante com alguma substância que o converta em uma substância menos prejudicial ambientalmente. Os físicos procuram a remoção do corante por meio de retenção deste em algum meio adsorvente ou filtrante. Por último, os biológicos utilizam oxidação através de bactérias em condições aeróbias ou anaeróbias.

No viés da minimização dos resíduos gerados, é possível a abordagem da minimização do uso de matérias-primas e insumos. Neste caso, a redução dos

resíduos integra uma conseqüência da redução dos insumos e matérias-primas. Não por acaso este é considerado o principal e mais evidente mecanismo de otimização de processos, situação em que vale o desenvolvimento de ferramentas estatísticas baseadas em planejamentos experimentais que visam assegurar a ação de reduções sem perdas qualitativas.

Vários pesquisadores vêm desenvolvendo procedimentos, técnicas, algoritmos e programas computacionais para auxiliar na resolução de problemas ambientais. Entre os problemas existentes, a minimização do consumo de água e redução do descarte de efluente é, cada vez mais, estudada.

O primeiro passo para realizar a minimização do consumo de água, e conseqüentemente do descarte de efluentes, é através de um gerenciamento dos recursos hídricos, com identificação e posterior correção de atitudes rotineiras de desperdício de água, que contribuem com a elevada demanda de água (FARIA, 2004).

As ferramentas freqüentemente usadas para desenvolver os procedimentos de otimização que encontram as melhores formas de minimização e recuperação de água são baseadas em técnicas de integração mássica. Segundo Mann (2003), dentro das opções dos sistemas de água, estão a Tecnologia *Pinch* e a Otimização via programação matemática:

- Tecnologia *Pinch*

Esta tecnologia, também conhecida como Tecnologia do Ponto de Estrangulamento, foi inicialmente desenvolvida para integração energética (Pinch energético), principalmente, na redução dos consumos energéticos de redes de trocadores de calor (MÓDENES, 1999). Entretanto, em meados da década de 90, a tecnologia Pinch surgiu como uma metodologia de reutilização de efluentes através da integração mássica (Pinch mássico). Segundo Fontana et al (2002), esta tecnologia permite determinar:

- a mínima quantidade de água visando reduzir a geração de efluentes;
- técnicas para uma síntese sistemática de sistema de água e sistema de tratamento de efluentes, incluindo técnicas para modificar e melhorar sistemas já existentes.

O princípio destas tecnologias, baseado em fundamentos termodinâmicos e de transporte, é o tratamento das unidades que necessitam de água como uma fonte

de poluentes, e a partir delas o sistema passa a ser tratado como um problema de transferência de massa de uma corrente rica em um poluente para outra pobre.

O planejamento experimental fracionário possui aplicação para o caso da metodologia EVOP, sigla para 'Evolutionary Operation', termo que pode ser traduzido para Operação Evolucionária ou Evolutiva, consiste em um método estatístico para a melhoria de processos contínuos ou descontínuos da indústria.

Na intenção de evidenciar a técnica, apresenta-se a seguir um resumo dos aspectos positivos e negativos da metodologia EVOP.

Vantagens:

- Resultados da Produção podem ser utilizados na sua otimização, sem incremento significativo dos custos;
- Processo de otimização acelerado;
- A otimização pode levar em consideração a variabilidade do processo;
- Sistemática de fácil aplicação;
- Resultados imediatos na grande maioria dos casos.

Desvantagens:

- Pequeno aumento inicial da variabilidade da produção em decorrência das perturbações;
- Pequena diminuição inicial na relação Custo/Benefício.

Alguns pressupostos para a aplicação da EVOP são necessários. O primeiro diz respeito à suposição básica da constância da variância do processo. Como a EVOP é constituída por uma série de experimentos fatoriais, ou seja, de testes de hipótese, requer-se uma variância definida e constante para que as diferenças das médias possam ser a ela comparadas. Não é possível realizar inferências precisas se o processo sofrer variações excessivas e de forma heterogênea. O segundo requisito afirma que a EVOP deve ser esquematizada como tarefa rotineira, ou seja, integrar-se como rotina usual nas atividades do processo.

Do exposto, surge a oportunidade de estabelecer a diferença entre procedimentos estáticos e evolucionários para a otimização de processos. Tem-se então:

- Operação estática: procedimento de operação em que o operador procura reproduzir exatamente as mesmas condições, consideradas ótimas até aquele momento. Não há variação, mas mantém a produtividade e as especificações;

- Operação evolucionária: procedimento de operação em que se consensua um ciclo cuidadosamente planejado de variações mínimas, cada uma realizada por sua vez, repetindo-se o ciclo de forma contínua. Os efeitos não devem ser detectáveis em uma rodada independente do ciclo. As repetições acumulam evidências das alterações da capacidade, da produção e características do produto na vizinhança imediata das condições do processo de operação.

Tem-se também a importância na diferenciação dos dois tipos de níveis ou intensidades de variações que podem normalmente ocorrer em um processo:

- Nível de ruído: contém as variações aleatórias devidas a causas diversas, como diferentes matérias-primas, inabilidade de manter ajustes (“input set levels”), erros analíticos, erros de instrumentação e de medida, vazamentos, efeitos de variação da temperatura ambiente, entre outros. É medido pelo desvio-padrão.
- Nível de controle do processo: contém um certo número de desvios-padrão, dependendo do grau de controle exigido. É o nível em que se aceitam variações do processo sem que elas sejam consideradas efeitos de problemas na produção. Quando ocorre uma resposta acima deste nível, procura-se identificar sua causa não-aleatória e corrigi-la.

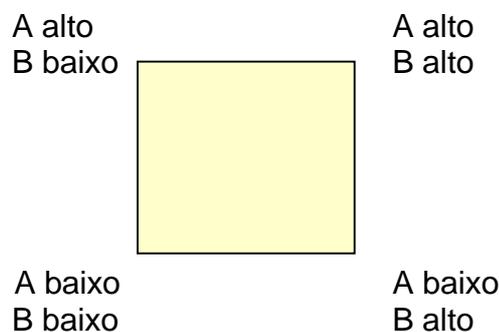
Como objetivo da EVOP tem-se a diminuição destas variações para que seja possível visualizar efeitos significativos no processo e, assim, aumentar a sua produtividade. Vale salientar que uma variação no ‘input’ pode provocar uma resposta no processo que não exceda o nível de controle. Neste caso, o efeito não é detectado e não pode ser explorado. Para detectar efeitos inferiores ao nível de controle, deve-se aperfeiçoar a relação sinal-ruído, majorando-se o primeiro ou diminuindo-se o segundo.

Como conceitos básicos para a condução das rotinas matemáticas envolvidas na EVOP têm-se:

Variáveis ou Fatores: são os itens controladamente variados, de forma a observar seus efeitos na resposta. Como a EVOP é baseada em um projeto fatorial de base 2, apenas 2 níveis de cada variável são ajustados em cada ciclo: alto e baixo, em torno do valor usual de operação do momento. Podem ser estudadas uma, duas ou três variáveis (respectivamente, fatoriais 2, 2x2 e 2x2x2), uma vez que

acima desta configuração a análise torna-se difícil devido ao grande número de informações (dados de processo) a serem analisadas.

A partir do emprego de dois fatores tem-se um esquema de duas dimensões, A e B (altura e largura do quadrado) com 4 vértices (A baixo e B baixo; A alto e B baixo; A alto e B alto e A baixo e B alto). Pode-se servir de um 5º ponto (centro do esquema), sendo a condição atual de operação, geralmente ocupando o centro da figura ou coincidindo com algum dos vértices.



Analogamente, com três fatores, tem-se um esquema de 3 dimensões A, B e C, que corresponde a um cubo.

- Resposta: é a variável cujo efeito - decorrente da variação dos fatores - é medido. É estudada apenas uma resposta em cada momento.
- Superfície de resposta: é uma figura espacial em três dimensões, formada pela junção dos níveis de resposta que vão sendo obtidos no decorrer da EVOP. Esta superfície não é previamente conhecida, mas no decorrer da construção é percorrida gradualmente de forma a se determinar os seus máximo e mínimo.
- Ciclo: é a execução isolada de um conjunto completo de condições (variações) de operação.

Tem-se a formação de um ciclo por 2^k pontos de trabalho, ou seja, combinações de ajustes da variável (A baixo e B baixo, A alto e B baixo, etc.), onde k é um número inteiro. Após o ajuste do ponto de serviço e o estabelecimento da estabilidade do sistema, tem-se a medida da resposta, ou seja, um ponto de resposta, que constitui o valor da variável em análise em função dos fatores que compõem um ciclo.

- Fase: é a repetição dos experimentos em ciclos de condições de operação. Seu objetivo é, através da repetição de um mesmo ciclo, ou seja, dos mesmos níveis de fatores, ampliar o tamanho da amostra e avaliar com precisão o desvio-padrão do processo, realizando-se a inferência estatística de forma segura.

Das definições, torna-se evidente que a metodologia representa uma aplicação na produção de um experimento fatorial completo, no qual é possível lidar com variáveis (fatores) qualitativas (atributos) ou quantitativas (contínuas, com unidades de medida).

Processo é uma série de alterações físicas e químicas ou operações físicas a qual se submete um material. O processo possui o foco orientado ao material que, de alguma forma, está sendo tratado.

Equipamento é uma estrutura física que permite a realização total ou parcial de um processo.

Planta é um conjunto de equipamentos/processos complementares na transformação de materiais.

Organismo é um volume fisicamente delimitado no espaço composto por uma planta ou conjunto de plantas. Ao organismo cabe a função de permitir a transferência de massa e energia com o meio externo para viabilizar o funcionamento das plantas.

Sistema, do ponto de vista termodinâmico, é uma região no espaço selecionada para análise.

- Sistema aberto: permeável ao fluxo mássico.
- Sistema fechado: impermeável ao fluxo mássico.
- Sistema adiabático: não há transferência de energia através da fronteira do sistema.

O organismo é definido como a unidade matriz, com localização e fronteiras físicas bem definidas, abrigando plantas diversas e permitindo a transferência de calor e massa com o meio externo. Como sistema, trata-se de um sistema aberto.

A função objetivo visa quantificar a eficiência de qualquer processo de transferência (calor, massa e quantidade de movimento), com ou sem reação química. A eficiência é estabelecida a partir da relação entre duas grandezas, uma ideal e outra real.

A grandeza ideal assume a hipótese da conversão completa entre as formas de energia, ou completo rendimento dos processos de transferência ou reações químicas. São ditos processos reversíveis que ocorrem em sistemas termodinâmicos delimitados.

A grandeza real, estimada matematicamente ou mensurada em campo (no caso de análises sobre situações existentes), considera a totalidade das quantidades envolvidas nos processos de transferência, reações ou conversões energéticas. Quando considerada a totalidade, tem-se a soma da grandeza ideal com as irreversibilidades inerentes de qualquer processo. As irreversibilidades configuram o aumento da entropia ou a perda do trabalho útil.

Deste modo, a partir do estabelecimento de um indicador termodinâmico, o seu acompanhamento, juntamente com a busca de melhores desempenhos energéticos, de processos de transferência e de reações químicas, passa a integrar uma rotina. O indicador deve necessariamente ser escolhido para representar a eficiência de um único processo, bem posto e delimitado em um sistema e, sendo adimensional com valores entre 0 e 1, quanto maior o valor, maior a aproximação dos estados real e ideal.

A partir de um conjunto de indicadores individuais, novas relações adimensionais podem ser propostas com médias ponderadas destes, representando um conjunto de processos ou sistemas integrados, culminando em um indicador final que representa a situação do organismo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os principais equipamentos, material de consumo e procedimentos experimentais utilizados no presente trabalho.

3.1 Reagentes, equipamentos e procedimento experimental

No desenvolvimento deste trabalho foi necessária a realização de um grande número de ensaios experimentais para a caracterização das afluentes/efluentes das etapas do processo produtivo da Indústria Têxtil. Análises qualitativas e quantitativas foram realizadas para caracterizar tanto os parâmetros de qualidade na emissão final, como a verificação dos parâmetros de tolerância da qualidade da água recuperada dos efluentes.

A caracterização dos efluentes líquidos é composta por duas etapas. A primeira que compreende o levantamento de dados, realizado através de coleta de dados em históricos de produção, manuais de equipamento e produtos químicos, entrevistas informais e observações no processo. A segunda etapa corresponde aos resultados obtidos nas análises realizadas nas amostras dos afluentes e efluentes das etapas de purga/pré-alveijamento/tingimento.

Após a coleta da amostra, outra tarefa muito importante é a escolha da metodologia apropriada para fazer a determinação dos compostos desejados. Os parâmetros que interferem na escolha dos métodos a serem aplicados são os seguintes:

- Propriedades físicas, químicas e físico-químicas dos componentes;
- Faixa de concentração a ser determinada;
- Precisão do resultado;
- Simplicidade do método;
- Economia de insumos e equipamentos;
- Economia de tempo e análises;
- Presença de compostos interferentes na metodologia;
- Estabilidade do composto

Cada um dos métodos possíveis de serem utilizados na determinação dos compostos possui vantagens e desvantagens quando comparado com os outros métodos.

3.1.1 Análise de Cor

Este experimento tem por objetivo a determinação da cor em águas e efluentes líquidos em geral. (Norma Marisol – MET 55, 1997)



Equipamentos e reagentes necessários

- Espectrofotômetro HACH DR/2000;
- Cubeta 25 mL;
- Papel macio e absorvente;
- Papel filtro filtração média - faixa branca;
- Conjunto para filtração a vácuo;
- Água deionizada.

Princípio do método:

A cor pode ser expressa como “aparente” ou “real”. A cor aparente é produzida por materiais dissolvidos e materiais em suspensão. Filtrando ou centrifugando os sólidos em suspensão, pode-se determinar a cor real, sendo este o

método descrito. A reta de calibração é realizada em unidades de cor baseada nos padrões recomendados por APHA, onde 1 unidade de cor é igual a 1mg/L de PtCo.

Método do ensaio:

- Montar o conjunto para filtração a vácuo e filtrar em papel filtro faixa branca, 50 mL de amostra a analisar.
- No espectrofotômetro DR/2000, introduzir o número do programa indicado para cor - **programa 120**
- Adicionar 25 mL de água deionizada em uma cubeta de 25 mL sendo esta o branco.
- Em outra cubeta, adicionar 25 mL da amostra a analisar.
- Limpar a cubeta do branco com papel macio e absorvente, e colocá-la no compartimento para cubeta.
- Tampar e pulsar ZERO.
- Limpar a cubeta da amostra e colocar no compartimento.
- Ao fechar a tampa, o display indicará a concentração da cor em unidade de PtCo.

NOTA: - A concentração da cor pode estar acima da escala em que o aparelho mede (500 unidades). Se isto ocorrer, deverão ser realizadas diluições para que a concentração esteja na faixa de leitura, sendo que o resultado encontrado deverá ser multiplicado pelo fator de diluição.

- Para análise de várias amostras simultaneamente, o equipamento necessita ser calibrado somente uma vez.

3.1.2 Turbidez

Este experimento tem por objetivo fixar a determinação da turbidez em amostras de águas em geral. (Norma Marisol – MET 78, 1998)

Equipamentos e reagentes necessários

- Espectrofotômetro HACH DR/2000;
- Cubeta 25 mL;
- Papel macio e absorvente;

- Água deionizada.

Princípio do método:

O teste de turbidez mede a propriedade óptica da amostra de água resultando na dispersão e absorção da luz produzida pelas partículas em suspensão presentes. A quantidade de turbidez registrada depende de variáveis como tamanho, forma e propriedade de refração das partículas. Não há nenhuma relação direta entre turbidez da amostra de água com a concentração de matéria presente.

Método do ensaio:

- No espectrofotômetro DR/2000, introduzir o número do programa indicado para turbidez (0 a 450 FTU) - programa 750 -, e pulsar READ/ENTER.
- Adicionar 25 mL de água deionizada em uma cubeta de 25 mL. Esta será o branco.
- Em outra cubeta adicionar 25 mL da amostra a analisar.
- Limpar a cubeta do branco com papel macio e absorvente, de modo a remover impressões digitais e outras substâncias das paredes laterais.
- Colocar a cubeta no compartimento específico do espectrofotômetro.
- Fechar a tampa e pulsar a tecla ZERO.
- Limpar a cubeta da amostra, colocar no compartimento e fechar a tampa.

O display indicará a concentração da turbidez em unidades de turbidez de formazina - FTU.

NOTA: - A turbidez da amostra analisada pode estar acima da escala limite do aparelho (450 FTU). Se isto ocorrer, deverão ser realizadas diluições até atingir a escala de leitura, sendo o resultado encontrado multiplicado pelo fator de diluição para obter o resultado final.

- Para análise de várias amostras simultaneamente, a calibração necessita ser feita somente uma vez.

3.1.3 Dureza

Este experimento permite determinar o teor de dureza total através de um sal, como CaCO_3 - carbonato de cálcio. (Norma Marisol – MET 214, 2000)

Equipamentos e reagentes necessários:

- Balança analítica;
- Balão volumétrico de 200 mL;
- Erlenmeyer;
- Béquer de 100 mL;
- Bureta de 50 mL;
- Pipeta volumétrica de 50 mL;
- Pipeta graduada de 2,0 mL;
- Água destilada;
- EDTA 0,01M
- Indicador Negro de Eriocromo.

Método de ensaio

- Pesar analiticamente 20,0000 g ($\pm 0,0100$ g) da amostra em teste.
- Dissolver em água morna destilada.
- Transferir quantitativamente a solução para balão volumétrico de 200 mL.
- Esperar esfriar, avolumar e homogeneizar.
- Com pipeta volumétrica, transferir 50 mL da solução para erlenmeyer.
- Adicionar 2,0 mL de trietanolamina, 2,0 mL de solução tampão pH 10 e uma pequena quantidade de indicador Negro de Eriocromo.
- Titular com EDTA 0,01 M até a viragem do violeta para azul limpo, sem traços de violeta.
- Anotar o volume de solução de EDTA gasto na titulação, (V).
- Fazer o teste em triplicata.

Nota: Para produtos que apresentarem uma dureza muito baixa (± 500 ppm), usar bureta de 10 mL ou uma pipeta graduada de 2,0 mL, pois o volume é tão pequeno que 3 a 4 gotas já dão a viragem e quanto menor o volume da pipeta/bureta maior a precisão.

- Calcular a dureza total utilizando a equação abaixo:

$$\% \text{ de CaCO}_3 = \frac{V \times M \times Fc \times 100 \times 4 \times 100}{Pa \times 1000} \quad (1)$$

Onde:

V = volume de EDTA gasto na titulação

M = molaridade do EDTA

Fc = fator de correção do EDTA

100 = equivalente grama do carbonato de cálcio

100 = fator conversão para porcentagem

4 = fator alíquota (200/50)

Pa = peso da amostra

1000 = fator de conversão para unidade de volume/litro.

3.1.4 pH

Este experimento determina o pH tal qual ou em solução de produtos líquidos ou sólidos. (Norma Marisol – MET 76, 1999)

Equipamentos e reagentes necessários

- Béquero de 250 mL;
- Agitador magnético;
- Barra magnética;
- Água destilada;
- Proveta de 100 mL;
- Balança analítica;
- pH-metro - marca;
- Papel absorvente.

Método de ensaio

- Em um béquero de 250 mL, preparar uma amostra de acordo com a especificação do produto, conforme abaixo:

Determinação	Massa da amostra (g)	Volume de água (mL)	Observações
pH tal qual	100,0 ($\pm 0,01$)	- - -	Medir o pH diretamente do produto.
pH 5 %	5,0 ($\pm 0,01$)	95,0 (± 1 mL)	Pesar 5,0 g do produto e dissolver em 95 mL de água destilada.
pH 10 %	10,0 ($\pm 0,01$)	90,0(± 1 mL)	Pesar 10,0 g do produto e dissolver em 90 mL de água destilada.
pH X %	X ($\pm 0,01$)	100,0 (± 1 mL)- X	Pesar X g do produto e dissolver em (100-X) mL de água destilada.

Fonte: Norma Marisol - MET 76, 1999

- Com auxílio de um termômetro, verificar a temperatura da amostra/solução.
- Ajustar o coeficiente de temperatura do pH-metro de acordo com a temperatura medida.
- A temperatura da amostra/solução deve estar entre 0-60°C para não comprometer o eletrodo.
- Retirar o eletrodo da solução de KCl (solução eletrolítica), lavar com água destilada e enxugar com papel macio e absorvente.
- Submergir o eletrodo na amostra/solução e pressionar o botão para a medição de pH.
- Esperar a estabilização e fazer a leitura do pH.
- Pressionar o botão “zero” ou desligar o pH-metro.
- Retirar o eletrodo da amostra, lavar com água destilada, secar com papel absorvente e recolocá-lo na solução eletrolítica.

O resultado será expresso no visor do pH-metro que faz a conversão direta para uma escala de 0 a 14, em número absoluto.

- Sempre que possível, a determinação do pH deve ser efetuada no momento da coleta. Quando não for possível, as amostras podem ser conservadas por até seis horas em temperatura inferior a 40°C, em frasco com tampa.
- Usar papel macio e absorvente para evitar que a membrana do pH-metro seja arranhada, provocando desvios na leitura.

3.1.5 Alcalinidade

Este procedimento determina a alcalinidade parcial, total e hidróxida em amostras de águas e efluentes. (Norma Marisol – MET 33, 1999)

Equipamentos e reagentes necessários

- Bureta automática de 10 mL;
- Erlenmeyer 250 mL;
- Proveta 50 mL;
- Pipeta volumétrica 10 mL;
- Acido sulfúrico 0.1 N;
- Indicador fenolftaleína 1%;
- Indicador alaranjado de metila;
- Cloreto de bário 10%.

Método de ensaio

1. Alcalinidade Parcial

- Medir 50 mL de água a ser analisada em uma proveta de 50 mL.
- Transferir para um erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 03 gotas de indicador fenolftaleína 1%.
- A amostra deverá adquirir coloração avermelhada. Caso isto não aconteça, a alcalinidade parcial é 0 (zero).
- Adquirindo coloração avermelhada, com o uso de uma bureta automática com reservatório contendo ácido sulfúrico 0.1N, titular a amostra, sob agitação, até que a cor modifique de vermelho para um tom levemente rosa, próximo ao incolor.
- Ao final da titulação anotar o volume gasto com “ V_1 ”.
- Guardar a amostra titulada para o ensaio da alcalinidade total, e não zerar a bureta.

2. Alcalinidade Total

- Adicionar sobre a amostra titulada anteriormente, 3 gotas de indicador alaranjado de metila.

- Continuar a titulação com ácido sulfúrico 0.1 N, adicionando com cuidado para não ultrapassar o ponto de viragem, até que se obtenha o aparecimento de uma coloração avermelhada.
- Anotar o volume total (incluindo V_1) gasto na titulação como " V_2 ".

3. Alcalinidade Hidróxida

- Medir 50 mL de água a ser analisada em uma proveta de 50 mL.
- Transferir para um erlenmeyer de 250 mL.
- Medir 10 mL de cloreto de bário 10 % em pipeta volumétrica, e transferir para o erlenmeyer.
- Adicionar 03 gotas de indicador fenolftaleína 1%.
- Encher a bureta automática, por meio do dispositivo de bombeamento manual, com ácido sulfúrico 0.1N até a marca do 0 (zero), e titular a amostra, sob agitação, até que a cor modifique de vermelho para um tom levemente rosa próximo ao incolor.
- Anotar o volume gasto na titulação como " V_3 ".

Alcalinidade Parcial

$$AP = V_1 \times 100 \quad (2)$$

onde:

AP = Alcalinidade Parcial (ppm).

V_1 = Volume (mL) de ácido sulfúrico 0.1N gasto na titulação como " V_1 ".

Alcalinidade Total

$$AT = V_2 \times 100 \quad (3)$$

onde:

AT = Alcalinidade Total (ppm).

V_2 = Volume (mL) de ácido sulfúrico 0.1N gasto na titulação como " V_2 ".

Alcalinidade Hidróxida

$$AH = V_3 \times 100 \quad (4)$$

onde:

AH = Alcalinidade Hidróxida (ppm)

V_3 = Volume (mL) de ácido sulfúrico 0.1N gasto na titulação como " V_3 ".

3.1.6 DBO

Este procedimento permite a determinação da DBO 5, em amostras de água e efluentes. (Norma Marisol – MET 27, 1997)



Equipamentos e reagentes necessários

- Equipamento DBO manométrico - (2173B – Hach);
- Incubadora -;
- Cristais de Hidróxido de lítio;
- Acido sulfúrico 0,1N;
- Hidróxido de sódio 0,1 N;
- Nutrientes para DBO;
- Becker 500 mL;

- Proveta de 100, 250, 500 mL;
- Funil de transferência;
- Termômetro;
- Tesoura;
- Pasta vedante ou vaselina sólida;
- Solução padrão HACH.

Princípio do teste:

Uma amostra, previamente medida, de efluentes, é colocada em cada garrafa âmbar do aparelho. As garrafas são colocadas no equipamento e conectadas por suas tampas, e o tubo de vinil nos manômetros de final fechado. Dentro da garrafa, acima da amostra, existe ar que contém 21% de oxigênio. As bactérias da amostra usam o oxigênio continuamente para oxidar a matéria orgânica presente na amostra; dessa forma, o oxigênio é removido da amostra. O ar acima da amostra repõe o oxigênio consumido e há uma queda de pressão dentro da garrafa de amostra.

A queda de pressão do ar faz com que o mercúrio no manômetro suba e indique uma leitura na escala de DBO em mg/L. O corpo do manômetro veda o sistema prevenindo-o de mudanças de pressão atmosférica externa, a fim de não afetar a leitura do manômetro.

Durante o período de teste (geralmente 5 dias), a amostra é agitada continuamente por uma barra magnética, movida por um sistema magnético, acionado por um motor. A agitação promovida pelas barras magnéticas facilita a transferência de oxigênio do ar para a amostra.

Dióxido de carbono é produzido por microorganismo, pela oxidação da matéria orgânica, e deve ser removido do sistema proporcionalmente à quantidade de oxigênio usado. O dióxido de carbono é removido colocando-se cristais de hidróxido de lítio no copo interno de borracha, em cada garrafa de amostra.

Método do ensaio:

- Em um béquer de 500 mL, contendo cerca de 450 mL da amostra, fazer o acerto de pH na faixa entre 7,0 - 7,5.

Nota: Para pH alcalino, fazer o acerto com uma solução de ácido sulfúrico 0,1 N.

- Para pH ácido, fazer o acerto com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N.
- Com auxílio de uma proveta, medir o volume de amostra selecionado conforme abaixo:

EXPECTATIVA DE DBO	VOLUME DE AMOSTRA	ESCALA A USAR
0 - 35 mg/L	420 mL	0 - 35 mg/L
0 - 70 mg/L	355 mL	0 - 70 mg/L
0 - 350 mg/L	160 mL	0 - 350 mg/L
0 - 700 mg/L	95 mL	0 - 700 mg/L

Fonte: norma da marisol - MET 27, 1997

A expectativa da DBO pode ser determinada realizando-se o ensaio da DQO através da seguinte relação:

$$DBO_{esperada} = \frac{DQO}{2} \quad (5)$$

Para expectativa de DBO acima de 700 mg/L, há necessidade da diluição da amostra, com água deionizada -1:2; 1:3; 1:5; 01h10min;

- Transferir o volume selecionado para a garrafa âmbar.
- Identificar as garrafas com nome da amostra e fator de diluição.
- Colocar uma barra magnética dentro de cada garrafa com amostra.
- Adicionar uma porção de nutriente de DBO em cada amostra.
- Fora da garrafa, com auxílio de um funil de transferência, colocar uma porção de hidróxido de lítio em cada copo de borracha.
- Colocar o copo de borracha, já com hidróxido de lítio, em cada garrafa.

Nota: Não deixar cair hidróxido de lítio na amostra, caso isto aconteça, desprezar a amostra e iniciar o ensaio novamente.

- Aplicar uma fina camada de pasta vedante nas bordas da garrafa.
- Colocar as garrafas com as amostras já preparadas no equipamento de DBO manométrico.
- Com as tampas dos manômetros e das garrafas ainda soltas, colocar o equipamento na incubadora a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$.
- Ligar o equipamento, fazendo girar o motor e certificar-se da boa rotação das barras magnéticas.

Nota: Para conseguir um bom equilíbrio térmico, deixar as amostras em agitação, com as tampas abertas, por um período de 30 minutos.

Quando coletar a amostra, guardá-la diretamente na incubadora. Fazendo isto, o equilíbrio estará sendo facilitado.

- Após o equilíbrio atingido, fechar as tampas das garrafas e dos manômetros.
- Ajustar a escala escolhida, no seu ponto zero com o nível de mercúrio, fixando-a com os parafusos adequados.

Nota: Certificar-se de que não há bolhas de ar na coluna de mercúrio, pois estas bolhas irão alterar o resultado. Para eliminar as bolhas de ar, proceder da seguinte maneira:

- Antes de rosquear as tampas nas garrafas, soprar ar para dentro dos manômetros, através das tampas das garrafas, e com a tampa do manômetro fechada.
- Ao soprar o ar para dentro dos manômetros, pressiona-se o mercúrio de forma a desfazer as regiões interrompidas por bolhas de ar. Caso isto não aconteça, despressurizar o manômetro e repetir o procedimento novamente até que se consiga eliminar as bolhas de ar.
- Marcar a hora e data de incubação.
- Após 5 dias de incubação, fazer a leitura da DBO e retirar as amostras do equipamento, desligando-o em seguida.

Para checagem dos valores de DBO no teste manométrico, dispõe-se de dois padrões:

- uma mistura de 150 mg/L de glicose e igual quantidade de ácido glutâmico;
- solução padrão HACH (300 mg/L), que será diluída na proporção de 1:20.

Para verificação do ensaio de DBO, seguir os procedimentos abaixo:

Preparar 3 litros de água deionizada, saturada de oxigênio.

Nota: Para saturar a água com oxigênio, injetar ar comprimido por um período de no mínimo 2 horas.

- Adicionar a água saturada, uma ampola de nutrientes para DBO e homogeneizar a solução.
- Quebrar a parte superior da ampola e pipetar 7 mL da solução padrão para uma garrafa âmbar.

- Adicionar 133 mL da solução nutriente (preparada anteriormente) e mais 15 mL de semente (será 10% em volume).
 - Seguir os procedimentos, utilizando a escala de 0 - 350 mg/L.
 - O resultado da DBO deverá ser de 200 ± 37 mg/L.
1. Encontra-se a DBO, fazendo a leitura direta da concentração nas escalas das colunas de mercúrio das respectivas amostras.
 2. Para amostras diluídas, multiplicar o resultado encontrado pelo fator de diluição:

DILUIÇÃO	FATOR DE DILUIÇÃO
1:2	2
1:3	3
1:5	5
1:10	10

Notas importantes:

- Os resultados da DBO deverão ser crescentes durante os cinco dias de teste.
- Valores normais crescentes nos primeiros dias, e uma queda em seguida, indica vazamento no sistema.
- Valores baixos nos primeiros dias para posterior subida rápida indicam que as bactérias foram inibidas por agentes nocivos, pH fora do especificado, substâncias tóxicas.
- Valores altos, suficientes para “estourar” a escala, logo nos primeiros dias, indica engano de expectativa pelo laboratorista.
- É importante que se faça um acompanhamento diário do desenvolvimento da análise.
- O teste de DBO só funciona se tiver três elementos fundamentais: matéria orgânica, oxigênio e bactérias.
- Amostras sem bactérias necessitam de inoculação de semente (10% do volume da amostra).
- As garrafas devem estar bem limpas e isentas de matéria orgânica.
- Para a certificação da limpeza, é necessário enxaguar as garrafas três vezes com água deionizada, antes de iniciar o ensaio.

- A presença de substâncias tóxicas na amostra causará redução na expectativa de DBO, ou até anulação do ensaio. Essa toxicidade deverá ser eliminada ou seus efeitos minimizados, pela diluição da amostra.

Substâncias tóxicas:

- Cloro: A baixa concentração pode ser dissipada deixando a amostra entre 1 e 2 horas em temperatura ambiente. Em concentrações altas, há necessidade de sua neutralização com tiosulfato de sódio.
- Fenol, metais pesados e cianetos: O efeito desses materiais pode ser eliminado pela diluição da amostra com água deionizada.

3.1.7 DQO

Este procedimento visa à determinação da DQO (Demanda Química de Oxigênio) em amostras de água e efluentes em geral com concentrações de 0-1500 mg/L de oxigênio. (Norma Marisol – MET 26, 1999)



Equipamentos e reagentes necessários:

- Pipeta volumétrica 2 mL;
- Espectrofotômetro HACH DR/2000;
- Papel macio e absorvente;
- Reagente DQO 0 - 1500 mg/L;
- Água deionizada.

Princípio do método:

Mede-se colorimetricamente a quantidade de dicromato restante (que não reagiu), e a quantidade de íon cromo produzido para determinar a demanda de oxigênio. O reativo de DQO contém também, íons de prata e mercúrio. A prata é utilizada como catalisador e o mercúrio para eliminar a interferência de cloretos.

Método do ensaio:

- Pipetar 2 mL da amostra e transferir para o tubo de ensaio do reagente DQO 0-1500 mg/L.
- Identificar o tubo com o nome da amostra e o fator de diluição.
- Rosquear a tampa e agitar a solução.
- Fazer em paralelo o ensaio em uma amostra em branco; para isso, utilizar 2 mL de água deionizada.
- Ligar o aquecimento do reator DQO o qual deve estar na posição de 150°C.
- Após atingir a temperatura, colocar as amostras na placa de aquecimento.
- Girar o botão de tempo na posição de 120 min.
- Posicionar a chave seletora na posição TIMER.
- Após o término da digestão, retirar as amostras da placa de aquecimento e deixar atingir a temperatura ambiente.

Nota: As amostras não podem apresentar coloração verde intensa, seja na mistura dos reagentes, seja durante a digestão.

Caso isto aconteça, significa que a amostra encontra-se muito concentrada, sendo necessário reiniciar o teste fazendo uma diluição com água deionizada até que não ocorra mais o aparecimento da coloração verde.

- Fazer a leitura da concentração da DQO no espectrofotômetro HACH DR/2000 conforme procedimento abaixo:
- Introduzir o número do programa indicado para DQO 0-1500 mg/L --> programa 435.
- O display indicará: "mg/L CQO H".
- No compartimento para cubetas colocar o suporte para tubo de ensaio.

Nota: O suporte apresenta na parte inferior duas aberturas laterais. Estas aberturas devem ficar no sentido do feixe de luz, para permitir a passagem do mesmo.

- Limpar a parte externa do tubo que contém a amostra em branco com papel macio e absorvente.
- Colocar o tubo no suporte de cubetas e cobrir com a tampa adequada para o suporte.
- Pulsar a tecla ZERO. O display indicará “aguarde”, e logo em seguida, “0.mg/L CQO H “,
- Aparelho calibrado.
- Limpar a parte externa do tubo que contém amostra e colocar no suporte de cubetas.
- Fechar a tampa.
- Neste momento o aparelho realizará a leitura da concentração da DQO, indicando no display.

3.1.8 Ferro total

Este procedimento visa à determinação da concentração de ferro em amostras de água em geral. (Norma Marisol – MET 42, 1999)

Equipamentos e reagentes necessários:

- Proveta de 50 mL;
- Béquer de 100 mL;
- Pipeta volumétrica de 3 mL;
- pHmetro (MP 120, Metler Toledo);
- Espectrofotômetro DR 2000;
- Cubeta de 25 mL;
- Papel macio e absorvente;
- Ácido clorídrico 1:1;
- Hidróxido de sódio 1,0 N;
- Reagente Ferover;
- Água destilada.

Método de ensaio:

1. Digestão prévia:

- Medir 50 mL da amostra em proveta e transferir para um béquer de 100 mL.
- Adicionar 3 ml de solução de ácido clorídrico 1:1.
- Sob aquecimento reduzir o volume para ± 30 mL.
- Esfriar e regular o pH para 4.0 (± 0.2) com solução de hidróxido de sódio 15%.
- Completar o volume com 50 mL de água deionizada.

2. Determinação de Ferro:

- Após feita a digestão da amostra, determinar a concentração de ferro, através do espectrofotômetro DR 2000,
- Introduzir o número do programa indicado para ferro total --> programa 265.
- Em uma cubeta, adicionar 25 mL de amostra (volume indicado pelo menisco).
- Adicionar na cubeta uma porção do reagente Ferrover e homogeneizar a amostra para dissolução.
- Pulsar a tecla SHIFT/TIMER. Iniciará um período de 3 minutos de reação, onde se desenvolverá uma coloração laranja, conforme a concentração de ferro.
- Limpar a parte externa da cubeta que contém o branco, com papel macio e absorvente.
- Colocar a cubeta no compartimento do aparelho e fechar a tampa.
- Limpar a cubeta com a amostra e colocar no compartimento do aparelho para leitura da concentração.

Nota: Para análise de mais de uma amostra só é necessário calibrar uma vez o aparelho, desde que as amostras tenham sido preparadas em paralelo (ao mesmo tempo).

3.1.9 Sólidos Totais – Fixos e Voláteis

Este procedimento permite a determinação de sólidos totais, fixos e voláteis em amostras de água em geral. (Norma Marisol – MET 79, 1998)

Equipamentos e reagentes necessários

- Proveta de 100 mL;
- Cápsula de porcelana;
- Balança analítica;
- Água deionizada;
- Banho-maria.
- Estufa;
- Mufla;
- Dessecador.

Método de ensaio:

- Colocar uma cápsula de porcelana na estufa à 105°C por 30 minutos.
- Retirar da estufa, resfriar em dessecador e pesar a cápsula em balança analítica, anotando o peso como “P1”.
- Adicionar à cápsula 100 mL da amostra previamente homogeneizada, medida em proveta.
- Lavar a proveta com água deionizada (± 30 mL) a fim de transferir todo o sólido para a cápsula.
- Evaporar em banho-maria.
- Em seguida colocar em estufa à 105°C por 2 horas.
- Retirar da estufa, resfriar em dessecador e pesar, anotando o peso como “P2”.
- Colocar a cápsula na mufla à 550°C por 1 hora.
- Retirar da mufla, resfriar em dessecador e pesar, anotando o peso como “P3”.

Sólidos totais (mg/L):

$$ST = \frac{(P2 - P1) \times 1.000.000}{V} \quad (6)$$

Sólidos totais fixos (mg/L):

$$STF = \frac{(P3 - P1)}{V} \times 1.000.000 \quad (7)$$

Sólidos totais voláteis (mg/L):

$$STV = ST - STF \quad (8)$$

onde,

P1 = peso da cápsula vazia (g);

P2 = peso da cápsula com resíduo, seco em estufa 105°C (g);

P3 = peso da cápsula com resíduo, seco em mufla 550°C (g);

V = volume de amostra utilizada (mL);

1.000.000 = fator de conversão para mg/L;

A seguir serão apresentados os principais resultados e análise dos mesmos obtidas no presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no presente trabalho, destacando-se os aspectos analíticos microscópicos e macroscópicos, e as propostas para reutilização de águas residuárias e redução da demanda de combustível sólido.

4.1 ASPECTOS ANALÍTICOS MICROSCÓPICOS – SOBRE AS RECEITAS

A seguir serão apresentadas as principais características físico-químicas das águas do tingimento.

4.1.1 Características físico-químicas das águas do tingimento

A identificação de oportunidades para a reutilização das águas descartadas do tingimento exige caracterização analítica prévia. O tingimento apresenta três processos básicos: preparação, tingimento e lavação.

A promoção recente da alteração nas receitas tornou possível uma redução significativa no descarte das águas de preparação. Basicamente, o processo anterior vinha empregando dois transbordos com duração de oito minutos cada. Substituídos por um transbordo com duração de cinco minutos, seguido por um banho de neutralização, é possível obter uma redução de aproximadamente 22%. Paralelamente, a substituição e eliminação de alguns insumos permitem garantir a redução das cargas impostas ao sistema de tratamento.

As receitas de preparação apresentam a vantagem da similaridade, sendo aplicadas praticamente para a totalidade das cores e suportes processados. Em função desta característica, são prioritariamente avaliadas para a identificação de reutilização potencial frente aos demais processos.

A caracterização analítica atual das águas de preparação dos suportes em algodão é apresentada nas Tabelas 12a e 12b.

Tabela 12a – Características físico-químicas das águas de preparação.
Seqüência de duas análises aleatórias por parâmetro.

Processo	Parâmetro analítico									
	Temp. (°C)		pH		DQO (mg/L)		O&G(mg/L)		Cor (PtCo)	
Procion XL+										
1ª água	95	95	12.5	11.7	3630	4400	880		940	1060
2ª água	65	60	10.4	11.4	10	1690	120		160	800
3ª água	70	70	9.2	11.2	0	1401	20		110	416
Drimaren X										
1ª água	95	95	11.6	11.8	348	4800			850	620
2ª água	60	60	10.4	11.3	486	1280			168	448
3ª água	58	60	10.5	10.9	795	900			303	335
Remasol 80 ° C										
1ª água	95	95	10.5	11.7	4740	3420	500		2200	1020
2ª água	70	70	9.7	11.6	330	1700	80		580	1050
3ª água	55	65	9.1	11.1	220	1220	12		290	500
FN Cibacrone										
1ª água	95	95	11.7	11.7	4210	4040	340		1270	1900
2ª água	65	70	10.8	11.5	620	1400	180		180	1200
3ª água	70	65	10.4	11.1	550	1241	480		180	490
Drimeren X										
1ª água	95	95	10.5	11.7	1250	4280			323	2000
2ª água	60	70	8.8	11.5	68	2300			29	1200
3ª água	60	65	9.4	11.1	195	1280			53	480

Obs.: Campos em branco representam análises não disponíveis.

Tabela 12b – Características físico-químicas das águas de preparação (cont.).
Seqüência de duas análises aleatórias por parâmetro.

Processo	Parâmetro analítico					
	Turb. (NTU)		Alcal. (mg CaCO ₃ /L)	Dureza (mg CaCO ₃ /L)		Conduct. (mS)
Procion XL+						
1ª água	190	200	950	120	110	20
2ª água	50	140	75	30	100	0.8
3ª água	40	77	100	10	40	0.6
Drimaren X						
1ª água	57	62	200	22	24	1.06
2ª água	31	83	200	24	38	0.67
3ª água	160	250	2300	152	150	5.9
Remasol 80 ° C						
1ª água	400	170	500	140	180	5.5
2ª água	110	170	350	40	50	1.17
3ª água	60	91	200	20	38	1.11
FN Cibacrone						
1ª água	240	350	825	140	110	3.4
2ª água	40	220	275	28	70	1.07
3ª água	40	92	185	15	40	1.06
Drimeren X						
1ª água	61	200	230	22	70	2.05
2ª água	6	200	100	15	70	0.22
3ª água	10	89	130	15	36	0.5

Obs.: Campos em branco representam análises não disponíveis.

Nitidamente, a carga orgânica e a alcalinidade vão sofrendo reduções ao longo dos banhos. O resultado é esperado em função da elevada quantidade de óleos e sais transportados pelo substrato, indicando possibilidades de reintegração da 3ª água ao processo. É válido salientar que para o processo Drimeren X, devem ser realizados estudos mais detalhados, pois verifica-se que neste processo o comportamento da 3ª água é diferente dos demais processos. A manutenção de um ajuste automático de pH diretamente no equipamento também aparenta viabilidade em função das variações excessivas do parâmetro.

Como detalhe relevante dos ensaios, têm-se as análises apenas sobre as águas de preparação de substratos de algodão. Estas não apresentam diferença entre os processos de tingimento adotados.

Também como base comparativa para análise, procedeu-se a busca dos valores referentes às receitas de maior demanda de tingimento no ano de 2004. A Tabela 13 apresenta o resumo dos dados, fazendo menção à proporcionalidade da produção total, demandas de tipos distintos de águas de processo e demandas de

calor. Uma projeção dos dados para 2005 é apresentada na Tabela 14, objetivando a possibilidade para comparação dos efeitos obtidos pela alteração das receitas, em especial nos banhos de preparação. Assim, são mantidos os números básicos de 2004 para a proporcionalidade das receitas produzidas, fornecidos pela CICEMA, Comissão Interna de Conservação de Energia, como média anual, para extrapolação dos consumos de água e energia térmica.

Para a correta compreensão do conteúdo das tabelas, as variáveis abreviadas são as seguintes:

- % prod: percentual da receita de referência sobre o total produzido;
- b.c. (kg): base de cálculo, em kilogramas, utilizada para referência. Trata-se da média de produção de 2004;
- prod rel (kg): produção relativa, proveniente da aplicação do percentual produzido sobre a base de cálculo;
- A1 (L/kg): demanda de água do tipo 1 ($T = 30^{\circ}\text{C}$), em L/kg, para processamento da receita;
- A2 (L/kg): demanda de água do tipo 1 ($T = 60^{\circ}\text{C}$), em L/kg, para processamento da receita;
- A3 (L/kg): demanda de água do tipo 1 ($T = 45^{\circ}\text{C}$), em L/kg, para processamento da receita;
- A1 rel (ton): demanda de água do tipo 1, em toneladas, para satisfazer a produção relativa da receita;
- A2 rel (ton): demanda de água do tipo 2, em toneladas, para satisfazer a produção relativa da receita;
- A3 rel (ton): demanda de água do tipo 3, em toneladas, para satisfazer a produção relativa da receita;
- energia (kJ/kg): necessidade de energia térmica para aquecimento dos banhos no equipamento, em kJ/kg de substrato. Não contabiliza o pré-aquecimento da água (abastecimento tipo 2 e 3) e a manutenção da temperatura de processo;
- energ rel (MJ): demanda de energia para satisfazer a produção relativa da receita, em MJ, proveniente da aplicação da necessidade de energia sobre a produção relativa.

Tabela 13 – Receitas de maior demanda – percentual sobre a produção total de 2004.

receita	% prod	b. c.(kg)	prod rel (kg)	A1 (L/kg)	A2(L/kg)	A3(L/kg)	A1 rel (ton)	A2 rel (ton)	A3 rel (ton)	energia (kJ/kg)	energ rel (MJ)
80	19,14	536880,23	102759	62,50	0,00	1,02	6422,43	0,00	104,81	10107,24	1038608,62
84	12,17	536880,23	65338	48,00	12,00	24,00	3136,24	784,06	1568,12	4263,60	278576,48
6000	7,16	536880,23	38441	37,40	25,35	17,00	1437,68	974,47	653,49	7887,66	303206,58
1015	3,67	536880,23	19704	59,91	60,39	22,00	1180,44	1189,89	433,48	12920,38	254576,76
9009	3,50	536880,23	18791	16,00	0,00	0,00	300,65	0,00	0,00	334,40	6283,65
2121	2,91	536880,23	15623	43,00	18,97	24,03	671,80	296,37	375,43	5183,20	80978,25
6134	2,00	536880,23	10738	36,42	16,00	16,00	391,06	171,80	171,80	4794,50	51481,45
179	1,89	536880,23	10147	37,87	32,38	61,10	384,27	328,56	619,98	9913,29	100590,51
3070	1,85	536880,23	9932	32,00	115,74	16,00	317,83	1149,56	158,92	6019,20	59784,41
6109	1,81	536880,23	9718	57,50	57,50	16,00	558,76	558,76	155,48	10266,08	99760,96
7017	1,79	536880,23	9610	67,68	33,00	11,00	650,42	317,14	105,71	6420,48	61701,82
8006	1,40	536880,23	7516	67,99	11,00	15,33	511,03	82,68	115,23	5977,40	44928,07
2049	1,37	536880,23	7355	48,00	16,82	26,51	353,05	123,72	194,99	6186,40	45502,58
8005	1,20	536880,23	6443	49,50	17,49	24,01	318,91	112,68	154,69	4347,20	28007,11
3095	1,20	536880,23	6443	24,00	43,07	8,00	154,62	277,48	51,54	6855,20	44165,06
8007	1,13	536880,23	6067	42,29	52,46	16,06	256,56	318,26	97,43	7423,68	45037,59
3108	1,08	536880,23	5798	24,71	48,71	24,00	143,28	282,44	139,16	9095,68	52739,54
4257	1,08	536880,23	5798	36,42	44,52	24,28	211,17	258,14	140,78	9886,54	57325,19
1045	1,06	536880,23	5691	47,04	23,04	16,00	267,70	131,12	91,05	7590,88	43199,17
4256	1,05	536880,23	5637	33,85	49,93	16,07	190,82	281,47	90,59	7758,08	43734,18
7064	1,05	536880,23	5637	50,99	14,57	29,14	287,44	82,13	164,27	7018,22	39563,41
6225	1,03	536880,23	5530	35,94	51,94	16,01	198,74	287,22	88,53	7758,08	42901,15
Somatório	70,54		378715				18344,91	8007,95	5675,48		2822652,50

Tabela 14 – Receitas de maior demanda – percentual sobre a produção total de 2004 com demanda prevista para 2005.

receita	% prod	b. c.(kg)	prod rel (kg)	A1 (L/kg)	A2(L/kg)	A3(L/kg)	A1 rel (ton)	A2 rel (ton)	A3 rel (ton)	energia (kJ/kg)	energ rel (MJ)
80	19,14	536880,23	102759	62,50	0,00	1,02	6422,43	0,00	104,81	10107,24	1038608,62
84	12,17	536880,23	65338	24,00	16,00	4,80	1568,12	1045,41	313,62	3176,80	207566,79
6000	7,16	536880,23	38441	16,00	18,00	8,00	615,05	691,93	307,52	4581,28	176107,26
1015	3,67	536880,23	19704	28,00	56,13	16,00	551,70	1105,96	315,26	8059,04	158791,33
9009	3,50	536880,23	18791	16,00	0,00	0,00	300,65	0,00	0,00	334,40	6283,65
2121	2,91	536880,23	15623	32,00	31,60	8,00	499,94	493,69	124,99	3845,60	60080,63
6134	2,00	536880,23	10738	32,00	31,60	8,00	343,60	339,31	85,90	4681,60	50269,17
179	1,89	536880,23	10147	24,00	50,00	16,00	243,53	507,35	162,35	5952,32	60398,41
3070	1,85	536880,23	9932	42,00	42,80	8,00	417,16	425,10	79,46	6754,88	67091,39
6109	1,81	536880,23	9718	32,00	62,00	8,00	310,96	602,49	77,74	6754,88	65640,76
7017	1,79	536880,23	9610	32,00	54,00	16,00	307,52	518,95	153,76	6086,08	58488,18
8006	1,40	536880,23	7516	48,00	0,00	11,33	360,78	0,00	85,16	3009,60	22621,13
2049	1,37	536880,23	7355	32,00	26,00	8,00	235,37	191,24	58,84	3344,00	24595,99
8005	1,20	536880,23	6443	39,32	34,00	8,00	253,32	219,05	51,54	2006,40	12926,36
3095	1,20	536880,23	6443	16,00	62,00	8,00	103,08	399,44	51,54	5250,08	33823,97
8007	1,13	536880,23	6067	32,00	54,00	8,00	194,14	327,60	48,53	6754,88	40980,15
3108	1,08	536880,23	5798	16,00	76,69	8,00	92,77	444,67	46,39	5918,88	34319,48
4257	1,08	536880,23	5798	32,00	62,00	8,00	185,55	359,50	46,39	6754,88	39166,86
1045	1,06	536880,23	5691	32,00	62,00	8,00	182,11	352,84	45,53	6754,90	38441,67
4256	1,05	536880,23	5637	16,00	62,00	8,00	90,20	349,51	45,10	5250,08	29595,97
7064	1,05	536880,23	5637	32,00	49,73	8,00	180,39	280,34	45,10	4180,00	23563,67
6225	1,03	536880,23	5530	32,00	62,00	8,00	176,96	342,85	44,24	6754,88	37353,58
Somatório	70,54		378715				13635,33	8997,23	2293,77		2286715,02

As Tabelas 13 e 14 apresentam os totais acumulados para as demandas dos diversos tipos de águas e para a demanda energética, obedecendo às limitações consideradas.

A partir dos somatórios, uma aproximação das quantidades de água, vapor e geração de efluentes pode ser realizada, segundo consta na Tabela 15.

Tabela 15 – Estimativa dos parâmetros para atendimento do tingimento – base mensal.

Parâmetro	Ano 2004	Ano 2005
Energia relativa a 70% da produção (MJ)	2822652	2286715
Quantidade de vapor a 10 kgf/cm ² considerando a energia acima (kg)	1400820	1134846
Estimativa da quantidade de vapor a 10 kgf/cm ² necessária para atendimento de 100% da produção (kg)	1985852	1608798
Consumo de água fria (tipo 1) relativo a 70 % da produção (ton)	18345	13653
Consumo de água quente (tipo 2) relativo a 70 % da produção (ton)	8008	8997
Consumo de água mista (tipo 3) relativo a 70 % da produção (ton)	5675	2294
Estimativa da quantidade de água fria (tipo 1) para atendimento de 100% da produção (ton)	26207	19504
Estimativa da quantidade de água quente (tipo 2) para atendimento de 100% da produção (ton)	11440	12853
Estimativa da quantidade de água mista (tipo 3) para atendimento de 100% da produção (ton)	8107	3277
Estimativa da quantidade de efluentes com T < 60° C para atendimento de 100% da produção (ton)	21885	16065
Estimativa da quantidade de efluentes com T > 60° C para atendimento de 100% da produção (ton)	23519	19271

Das alterações promovidas nas receitas, tem-se a sinalização positiva no que se refere à redução das quantidades de água. Em números gerais, a demanda de água para tingimento apresentou queda de 22%, repassados aos efluentes.

A necessidade de energia apresenta uma diferença de 19% a menor entre 2005 e 2004. Entretanto, em função do aumento da participação da água quente, verifica-se uma elevação percentual das correntes descartadas acima de 60°C. Dos 52% de banhos quentes em 2004, é contabilizada uma expectativa de 55%, em 2005.

4.2 ASPECTOS ANALÍTICOS MACROSCÓPICOS – SOBRE A PLANTA

4.2.1 Balanços macroscópicos de massa e energia

Os balanços macroscópicos de massa e energia são explorados a partir das informações disponibilizadas pelas planilhas gerais de utilidades. A Tabela 16 apresenta, para o ano de 2004, as variáveis referentes ao controle de massa e energia (água e energia térmica) visando o atendimento de toda a demanda das plantas instaladas. A opção pela análise sobre o período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005 é atribuída à necessidade de um conjunto representativo de dados, onde constam variabilidades sazonais.

Sobre estes valores, são apresentados, na Tabela 17, os dados estatísticos.

Tabela 16 – Consumos de água e vapor no ano de 2004.

Variável/Mês	jan./04	fev./04	mar/04	abr/04	mai/04	jun/04	jul/04	ago/04	set/04	out./04	nov./04	média
Produção de malha (kg)	595473	654151	532977	494551	497093	607691	587460	520129	522189	502855	391115	536880
Vapor produzido (ton)	4600	4458	3666	4698	3413	6543	4872	4645	5033	3819	3925	4515
Custo vapor (U\$/ton)	6,35	9,18	9,32	6,14	9,18	8,5	6,38	6,3	2,05	7,94	7,7	7,19
kg vapor/kg malha	7,72	6,81	6,88	9,50	6,86	10,77	8,29	8,93	9,64	7,59	10,04	8,46
Lenha (m ³)	240	79	0	269	1028	663	123	749	48	85	72	305,09
Serragem (m ³)	7413	7983	6724	6448	4844	7258	7918	6261	7490	6119	4562	6638,18
Água tratada (m ³)	110940	112610	96557	92420	98248	115489	99310	108066	121747	85186	62860	100312
Água tratada (m ³ /h)	221,44	216,56	194,67	203,57	217,84	195,41	168,04	198,65	242	238	253	213,56
Custo água tratada (U\$/m ³)	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,05	0,08	0,05	0,09	0,12	0,07
Litros/kg malha	186,31	172,15	181,16	186,88	197,65	190,05	169,05	207,77	233,15	169,40	160,72	186,75
Efluente tratado (m ³)	82146	96400	74850	74363	79877	96241	89708	87946	85645	70823	47320	80483,55
Efluente tratado (m ³ /h)	157,97	159,34	162,36	134,96	158,49	162,84	144,92	169,45	138,5	153,3	164	155,10
Custo efluente tratado (U\$/m ³)	0,31	0,29	0,35	0,23	0,39	0,32	0,41	0,38	0,38	0,42	0,72	0,38
Litros/kg malha	137,95	147,37	140,44	150,36	160,69	158,37	152,70	169,08	164,01	140,84	120,99	149,35

Tabela 17 – Dados estatísticos relativos aos valores de jan/04 a nov/04.

Variável/Mês	Média	Desv. Pad.	Dif. %
Produção de malha (kg)	536880	71449,07	13,31
Vapor produzido (ton)	4515	856,74	18,98
Custo vapor (U\$/ton)	7,19	2,11	29,35
kg vapor/kg malha	8,46	1,40	16,55
Lenha (m ³)	305,09	346,34	113,52
Serragem (m ³)	6638,18	1146,37	17,27
Água tratada (m ³)	100312	16514,23	16,46
Água tratada (m ³ /h)	213,56	24,76	11,59
Custo água tratada (U\$/m ³)	0,07	0,02	28,57
Litros/kg malha	186,75	20,64	11,05
Efluente tratado (m ³)	80483,55	13908,73	17,28
Efluente tratado (m ³ /h)	155,10	11,06	7,13
Custo efluente tratado (U\$/m ³)	0,38	0,13	34,21
Litros/kg malha	149,35	13,85	9,27

Obs.: A coluna Dif % refere-se à diferença, em percentual, entre o desvio padrão e a média.

Primeiramente, os dados estatísticos revelam o efeito da variação da quantidade produzida sobre as demais variáveis. A potencialização das variações é percebida quando as diferenças percentuais apresentam-se superiores aos 13,31% do beneficiamento de malha. Evidentemente, para fazer frente às oscilações do processo, os equipamentos de infra-estrutura necessitam operar em oscilações com amplitudes superiores.

4.2.1.1 Balanço de massa e energia sobre o combustível sólido

Considerando-se as informações disponibilizadas, previsões são possíveis para os demais valores macroscópicos, conforme apresentado na Tabela 18, para a situação da madeira. Para a projeção dos demais valores, as seguintes propriedades são admitidas:

- Massa específica da serragem: 150 kg/m³;
- Massa específica da lenha: 600 kg/m³;
- Poder calorífico superior da madeira: 20300 kJ/kg;
- Poder calorífico inferior da madeira: 18777 kJ/kg;
- Poder calorífico inferior da madeira úmida (w = 5%): 17716 kJ/kg.

Para o poder calorífico da madeira considera-se, para fins de análise, o poder calorífico inferior da madeira úmida. A escolha é justificada por representar com menor erro a situação real.

Tabela 18 – Consumo médio mensal e médio horário de combustível sólido e valores correlatos. Período de jan/04 a nov/04.

Parâmetro	Valor mensal	Valor horário
Vapor produzido (kg)	4515480	8180
Volume de lenha (m ³)	305	0.553
Volume de serragem (m ³)	6638	12
Massa de lenha (kg)	183055	332
Massa de serragem (kg)	995727	1804
Massa total (serragem + lenha) (kg)	1178782	2135
Energia total de queima (MJ)	20883299	37832
Energia total queima/produção de malha (kJ/kg)	38888	----

Obs.: Considerado mês de 23 dias com 24 horas.

De acordo com os valores totalizados na Tabela 13, uma quantidade de energia de 2822652,50 MJ foi necessária para a produção de 70,54% de um total de 536880,23 kg de malha. Aplicado o valor sobre 100%, tem-se a estimativa de demanda energética de 4032360 MJ (2822652 / 0,7), o que corresponde a 7511 kJ/kg de malha.

A diferença excessiva entre 7511 kJ/kg e o dado da Tabela 18 de 38888 kJ/kg (5 vezes maior) requer a busca das outras demandas energéticas. Da produção de vapor, 65% alimenta o processo de tingimento, enquanto 35% alimenta o processo de acabamento. Ainda, o mesmo combustível contabilizado na Tabela 18 alimenta o aquecedor de óleo térmico com potência de 2906 kW (10461600 kJ/h). Para uma eficiência global de transferência de 90 %, a potência exposta equivale à queima de 591 kg/h de madeira.

No percentual de 65% para o processo de tingimento, torna-se necessário considerar o consumo decorrente da manutenção da temperatura dos banhos (não contabilizado nas Tabelas 13 e 14) e da produção de água quente. Neste último, tem-se:

- Consumo médio de água quente – ano 2004: $8007,95 + (5675,48/2)$
10845.50 ton/mês
- Consumo médio de água quente – ano 2005: $8997,23 + (2293,77/2)$
10144.15 ton/mês
- Massa de vapor 10 kgf/cm^2 para aquecimento de água - $\Delta T = (70-40)^\circ\text{C}$:
2004: 1223 kg/h;
2005: 1144 kg/h.

Da produção total de vapor de 8180 kg/h, 5317 kg/h (65 %) são destinados à tinturaria. Destes, 1223 kg/h são utilizados no aquecimento de água, restando 4094 kg/h para aquecimento e manutenção da temperatura dos banhos. Este número equivale a 8481,74 kJ/kg de malha, próximo aos mencionados 7511 kJ/kg de malha.

As estimativas das quantidades de combustível sólido empregado para as diversas finalidades são apresentadas na Tabela 19, considerando as principais demandas da planta de beneficiamento.

Tabela 19 – Principais demandas de combustível sólido da planta de beneficiamento e respectivas quantidades.

Fluido Térmico	Processo/ equipamento	Quantidade de combustível (kg/h)	Percentual de combustível
Vapor (65%)	Tinturaria	1004	47
Vapor (35%)	Acabamento - Vapor	540	25
Óleo (100%)	Acabamento - Óleo	591	28
Total		2135	100

Com base no exposto, é possível determinar os balanços de massa e energia sobre a caldeira, considerando as correntes apresentadas na Figura 2.

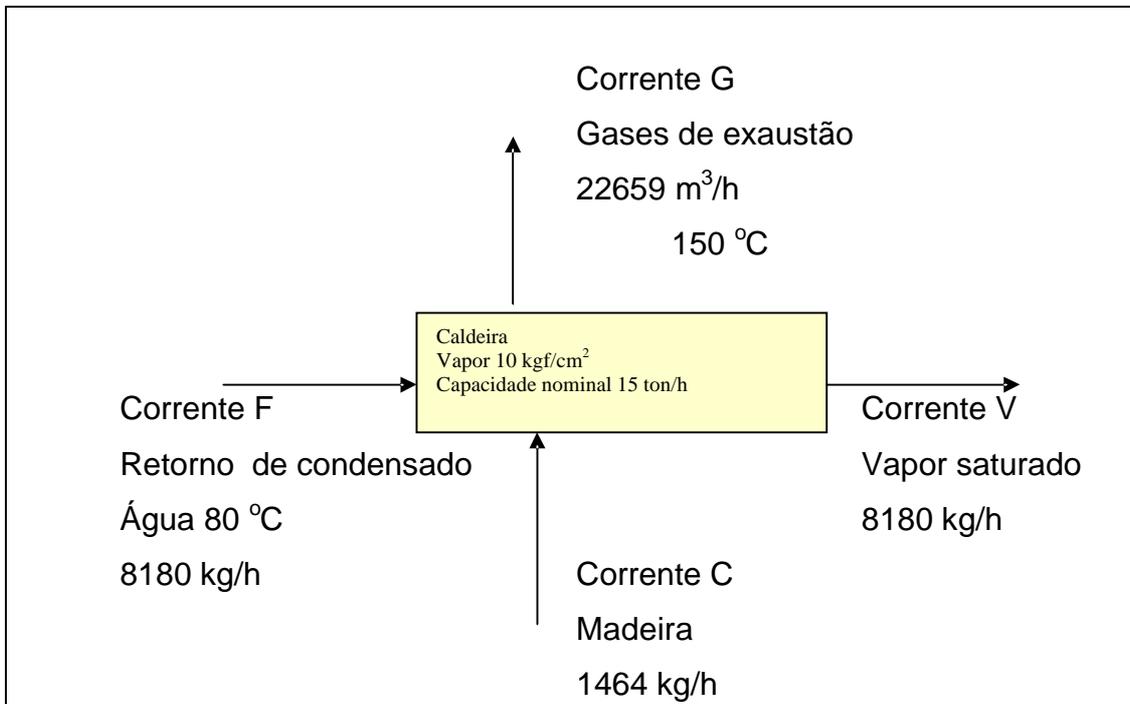


Figura 2 – Balanço de massa e energia sobre a caldeira.

Nas correntes da Figura 2, as variáveis determinadas a partir das condições operacionais são a vazão mássica de água e vapor e suas características (correntes F e V), a massa de madeira e a temperatura dos gases de exaustão.

A determinação da vazão dos gases de exaustão segue as especificações do fabricante do equipamento, considerando $2,77 \text{ m}^3$ de gás para cada kg de vapor gerado.

Para o detalhamento das correntes tem-se:

Corrente G

Estimativa da massa de gás a partir da Lei dos gases ideais:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$1 \text{ atm} \cdot 22659000 \text{ L} = n \cdot 0.082 \cdot 423 \text{ K}$$

$$\text{Número de moles} = n = 653249$$

$$\text{Vazão molar} = 653249 \text{ moles/h}$$

Estimativa da capacidade calorífica dos gases de exaustão para $T = 302 \text{ °F}$:

Nitrogênio:

$$C_p = 6.895 + 0.0007624 \cdot T = 1,065 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Água:

$$C_p = 4,184 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Água vapor:

$$C_p = 1,86 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Gás carbônico:

$$C_p = 8.448 + 0.005757 \cdot T - 0.000002159 \cdot T^2 = 0,95 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Oxigênio:

$$C_p = 1,07 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Composição dos gases de exaustão:

CO₂ = 5 %;

O₂ = 14 %;

H₂O = 11%;

N₂ = 70 %.

Tem-se então:

CO₂ = 5% = 0.05 · 653249 moles/h = 32662 · 44 moles/h g/mol = 1437128 g/h;

O₂ = 14% = 0.14 · 653249 moles/h = 91455 · 32 moles/h.g/mol = 2926560 g/h;

N₂ = 70% = 0.70 · 653249 moles/h = 457274 · 28 moles/h.g/mol = 12803680 g/h;

$\text{H}_2\text{O} = 11\% = 0.11 \cdot 653249 \text{ moles/h} = 71857 \cdot 18 \text{ moles/h} \cdot \text{g/mol} = 1293433 \text{ g/h}$

Para a mistura: 18461 kg/h.

Portanto:

$$r_{gas} = \frac{18461 \text{ kg}}{22659 \text{ m}^3} = 0.8 \text{ kg/m}^3$$

Quantidade de calor transportada:

$$q_G = \dot{m} \cdot C_{p,med} \cdot \Delta T$$

$$q_G = 0.8 \cdot 22659 \cdot 1.116 \cdot (150 - 30) = 2427595 \text{ kJ/h}$$

Corrente F

Quantidade de calor transportada:

$$q_{Fe} = \dot{m} \cdot h_{LS,80} = 8180 \cdot 335 = 2740300 \text{ kJ/h};$$

$$q_{Fi} = \dot{m} \cdot h_{LS,170} = 6241340 \text{ kJ/h};$$

Corrente V

Quantidade de calor transportada:

$$q_V = \dot{m} \cdot C_v$$

$$q_V = 8180 \cdot 2017 = 16499060 \text{ kJ/h}$$

Corrente C

Quantidade de calor gerada na queima:

$$q_C = \dot{m} \cdot C_{comb}$$

$$q_C = 1544 \cdot 17716 = 27353504 \text{ kJ/h}$$

Balanço geral:

$$q_C + q_{Fe} = q_{Fi} + q_V + q_G + erro$$

$$27353504 + 2740300 = 6241340 + 16499060 + 2427595 + erro$$

$$erro = 4925809 \text{ kJ/h.}$$

4.2.1.2 Balanço de massa e energia sobre a água

O balanço macroscópico para o componente água é definido também a partir das quantidades apresentadas na Tabela 16, com os valores totalizados para a medição de vazão correspondendo à captação de água bruta.

A Tabela 20 apresenta a síntese das quantidades lançadas no ano de 2004 adicionadas de algumas grandezas correlatas, para as quais são empregadas as seguintes relações:

- Perda de água na precipitação química: 3 % da vazão afluyente;
- Perda de água na lavagem de filtros: 6 % da vazão afluyente.

Tabela 20 – Consumo médio mensal e médio horário de água e valores correlatos. Período de jan/04 a nov/04.

Parâmetro	Valor mensal	Valor horário
Água captada (m ³)	100312	181,72
Perda de água na precipitação química (m ³)	3009	5,45
Perda de água na lavagem dos filtros (m ³)	6019	10,90
Produção líquida de água industrial (m ³)	91284	165,37
Água/produção de malha (l/kg)	186,75 ^(*)	

Obs.: Considerado mês de 23 dias com 24 horas.

(*) : O valor é obtido da razão entre água captada e quantidade de malha produzida (beneficiamento).

Analogamente ao balanço sobre o combustível sólido, a diferença entre a relação obtida na Tabela 20 para a quantidade água/produção de malha e a exigência do processo produtivo (Tabela 13) é considerável. Têm-se 186,75 L/kg contra 84,57 L/kg

Vale salientar que 84,57 L/kg são necessários ao algodão, que representa cerca de 70% do total produzido. Para os tecidos sintéticos, o valor é incrementado para 133 L/kg, com ambos compondo uma média total de 99,10 L/kg.

Ainda, uma investigação adicional dos usos da água é apresentada na intenção de aproximar os valores expostos e identificar demandas não consideradas, o que é mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 – Estimativa para a diferenciação dos principais consumos de água industrial com base no período de jan/04 a nov/04.

Utilização	Quantidade referência	Quantidade específica	Vazão (m ³ /h)
Água captada	---	---	181,72
Precipitação química	3 %	---	- 5,45
Lavação filtro	6 %	---	- 10,90
Funcionários	1500 pessoas	20 L/funcionário dia	- 1,25
Estamparia (lav quadros)	12 quadros/hora	125 L/quadro	- 1,50
Estamparia (lav cilindros)	10 cilindros/dia	150 L/cilindro	- 0,0625
Abridor	---	---	- 1,50
Zimmer	---	---	- 2,00
Doschem	43 máquinas	1724 L/máq dia	- 3,00
Lawer	43 máquinas	237 L/máq dia	- 0,50
Evaporação (pick-up 100%)	972.61 kg/h	1 L/kg	-0,97
Resfriamento bombas - caldeira	3 bombas	0,5 m ³ /h por bomba	- 1,50
Limpezas gerais (pisos)	6 pontos de limpeza	3,0 m ³ /h por ponto	- 2,50
Limpeza caminhões	8 caminhões/dia	1,5 m ³ /caminhão	- 0,50
Sub-total água industrial			150,09
Tinturaria	972.61 kg/h	99,10 L/kg	- 96,38
Total restante água industrial			53,71

Na Tabela 21, o valor de 53,71 m³/h, intitulado 'total restante água industrial', constitui um valor erro, diferença entre o total produzido e a demanda prevista.

Uma segunda determinação do erro para os dados apresentados na Tabela 21 pode ser realizada a partir da inclusão dos dados da estação de tratamento de efluentes, conforme ilustra a Tabela 22.

Tabela 22 – Relação das principais quantidades de água efluente com base nos valores do período de jan/04 a nov/04.

Utilização	Quantidade referência	Quantidade específica	Vazão (m³/h)
Efluente precipitação química	3 %	---	5,45
Estamparia (lav quadros)	12 quadros/hora	125 L/quadro	1,50
Estamparia (lav cilindros)	10 cilindros/dia	150 L/cilindro	0,0625
Efluente abridor	---	---	1,50
Efluente zimmer	---	---	2,00
Doschem	43 máquinas	1724 L/máq dia	3,00
Lawer	43 máquinas	237 L/máq dia	0,50
Efluente limpezas gerais	6 pontos de limpeza	3,0 m ³ /h por ponto	2,50
Efluente tinturaria	972,61 kg/h	99,10 l/kg	96,38
Total efluentes			112,9
Média apresentada (Tabela 16)			155,10
Erro			42,20

O balanço de massa sobre os efluentes apresenta-se também com uma diferença elevada entre o total previsto e o total apresentado na Tabela 16. Sendo a diferença evidente tanto no caso das águas afluentes como nos efluentes, não é razoável supor a existência de desvios de água.

Como indicativos, são possíveis no balanço a omissão de algum consumo de água com geração de efluentes ou a existência de erros de leitura. De fato, ajustes realizados em período posterior aos dados (junho/2004) nos equipamentos de medição de vazão revelaram erros de calibração. Para este mesmo mês, médias de 121,93 m³/h e 101,86 m³/h foram obtidas para água bruta e efluentes, respectivamente. Aplicados os mesmos dados apresentados nas Tabelas 21 e 22, a diferença assume proporções de aproximadamente 7,0 m³/h.

Com relação ao balanço de energia, duas situações são relevantes para análise: o bombeamento de água bruta no trecho captação – ETA e o bombeamento de água industrial no trecho cisterna – reservatório elevado, conforme ilustrado no Anexo A. Segue então:

Trecho captação - ETA

Carga hidráulica – condição crítica: $\Delta Z = 13,00 \text{ m}$;
 Diâmetro de tubulação: DN = 6" e 4", em paralelo;
 Comprimento da tubulação: L = 245 m;

Perda de carga – recalque:

Rugosidade relativa: $e/d = 0,00018$;
 Fator de atrito: $f_D = 0,026$;

A Figura 3 apresenta o comportamento das curvas da bomba e do sistema, considerando-se as tubulações existentes e apenas uma bomba em operação.

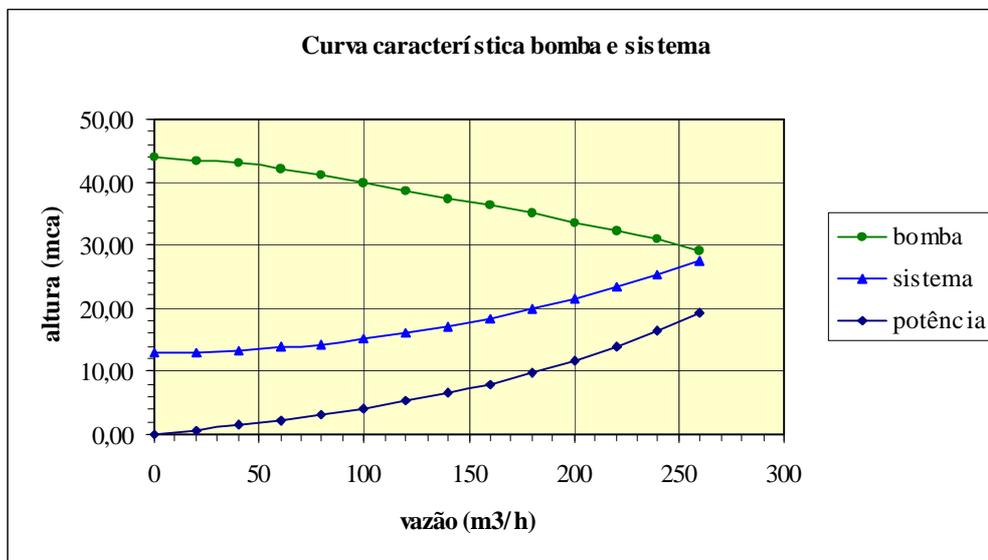


Figura 3 – Curvas da bomba e do sistema para a situação existente.
 Análise para 01 bomba – Tipo KSB Meganorm 100-315, 1750 rpm, rotor 293 mm.
 Curva de potência com unidades em kW na ordenada.

A Figura 3 não possui reprodução prática. O funcionamento de uma bomba apenas não atinge $200 \text{ m}^3/\text{h}$, em contrapartida com o ponto de operação estimado de $260 \text{ m}^3/\text{h}$, situação que sugere a revisão do sistema. A curva de potência apresenta um valor de $19,4 \text{ kW}$ (potência hidráulica) para a correspondente vazão de $260 \text{ m}^3/\text{h}$, conforme ilustrado na Figura 3.

As perdas de rendimento em recalques são creditadas a diversos fatores, sendo comumente avaliados o desgaste dos componentes da bomba, a elevação na

rugosidade da tubulação, a redução de diâmetro por incrustação e a possibilidade de escoamento bifásico.

Trecho cisterna – reservatório elevado

Carga hidráulica – condição crítica: $\Delta Z = 39 \text{ m}$;

Diâmetro de tubulação: $DN = 8''$;

Comprimento da tubulação: $L = 238 \text{ m}$;

Perda de carga – recalque:

Rugosidade relativa: $e/d = 0.00015$;

Fator de atrito: $f_D = 0,025$;

A Figura 4 apresenta o comportamento das curvas da bomba e do sistema, considerando a tubulação existente e duas bombas em operação.

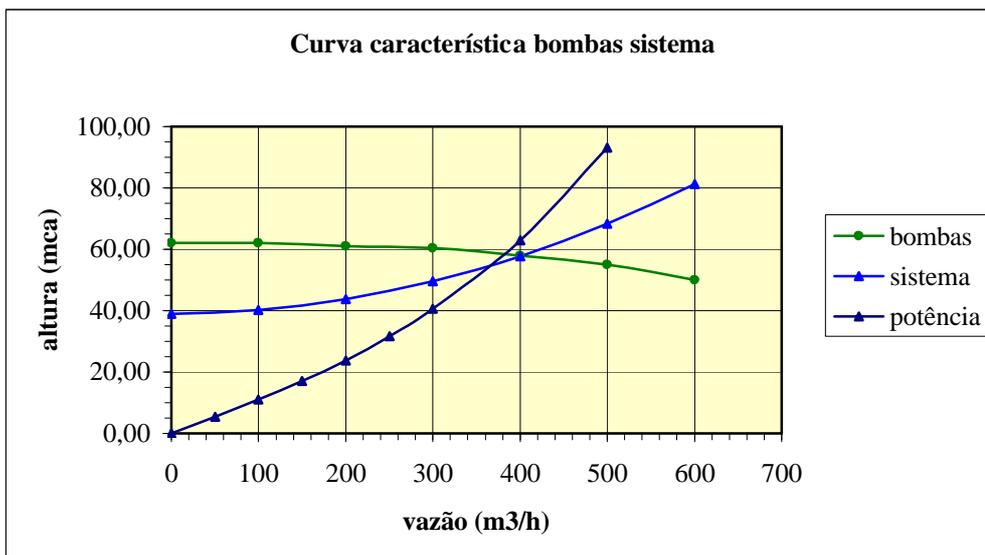


Figura 4 – Curvas da bomba e do sistema para duas bombas e tubulação existente. Análise para 02 bombas em paralelo – Tipo Worthington 4 DBE 134, 1775 rpm. Curva de potência com unidades em kW na ordenada.

Da Figura 4, tem-se o ponto de operação em $400 \text{ m}^3/\text{h}$, o que determina uma velocidade de 3.5 m/s na tubulação e uma potência hidráulica de 63 kW . No caso da operação com bomba única, vale o gráfico da Figura 5.

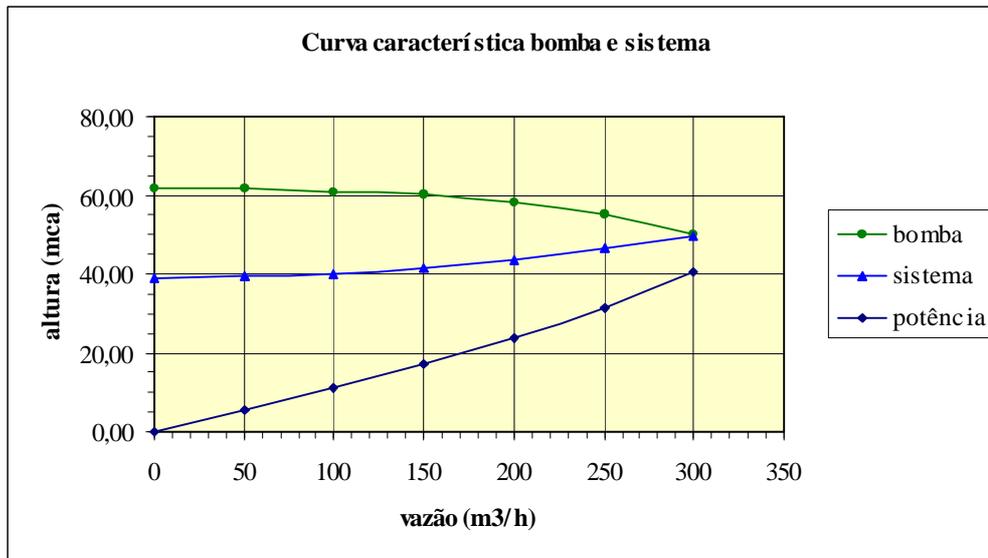


Figura 5 – Curvas da bomba e do sistema para uma bomba e tubulação existente. Análise para 01 bomba – Tipo Worthington 4 DBE 134, 1775 rpm. Curva de potência com unidades em kW na ordenada.

A determinação do ponto ideal de operação em termos de eficiência energética requer a análise das demandas instantâneas de água industrial, uma vez que o volume de armazenagem do reservatório elevado pode ser considerado desprezível.

4.2.2 Redes de distribuição de água

Para a distribuição de água pertinente à análise, têm-se as seguintes redes:

- Rede de distribuição de água industrial fria;
- Rede de distribuição de água industrial quente.

Restringindo-se o abastecimento de água para o processo de tingimento, vale inicialmente a relação dos equipamentos e respectivas capacidades de trabalho, conforme apresenta a Tabela 23.

A exposição da capacidade útil remete à limitação de uso de 98 % da capacidade nominal do equipamento. Também diferenciadas estão as relações de banho, com valores de 1:7 para os equipamentos Thies e 1:8 para os equipamentos Indsteel. A fixação de um tempo de enchimento hipotético para as máquinas em 2

minutos impõe uma vazão de alimentação que, por razões físicas, não pode ser estendida à totalidade dos equipamentos.

Tabela 23 – Relação dos equipamentos de tingimento e respectivas características produtivas.

Equipamento	Capacidade Nominal (kg)	Capacidade útil (kg)	RB	Volume de banho (kg)	Tempo de enchimento (min)	Vazão de enchimento (m3/h)
Jet 01	340	333,20	8	2665,60	2	79,97
Jet 02	600	588,00	8	4704,00	2	141,12
Jet 03	900	882,00	8	7056,00	2	211,68
Jet 04	900	882,00	8	7056,00	2	211,68
Jet 05	900	882,00	8	7056,00	2	211,68
Jet 06	600	588,00	8	4704,00	2	141,12
Jet 07	340	333,20	8	2665,60	2	79,97
Jet 08	300	294,00	8	2352,00	2	70,56
Jet 09	600	588,00	8	4704,00	2	141,12
Jet 10	160	156,80	7	1097,60	2	32,93
Jet 11	480	470,40	7	3292,80	2	98,78
Jet 12	170	166,60	8	1332,80	2	39,98
Jet 13	170	166,60	8	1332,80	2	39,98
Jet 14	170	166,60	8	1332,80	2	39,98
Jet 15	180	176,40	7	1234,80	2	37,04
Jet 16	170	166,60	8	1332,80	2	39,98
Jet 17	15	14,70	7	102,90	2	3,09
Jet 18	35	34,30	7	240,10	2	7,20
Jet 19	35	34,30	7	240,10	2	7,20
Jet 20	150	147,00	7	1029,00	2	30,87
Jet 21	320	313,60	7	2195,20	2	65,86
Jet 22	320	313,60	7	2195,20	2	65,86
Jet 23	480	470,40	7	3292,80	2	98,78
Jet 24	480	470,40	7	3292,80	2	98,78
Jet 25	600	588,00	8	4704,00	2	141,12
Jet 26	360	352,80	7	2469,60	2	74,09
Jet 27	360	352,80	7	2469,60	2	74,09
Jet 28	360	352,80	7	2469,60	2	74,09
Jet 29	360	352,80	7	2469,60	2	74,09
Jet 30	180	176,40	7	1234,80	2	37,04
Jet 31	180	176,40	7	1234,80	2	37,04
Jet 32	90	88,20	7	617,40	2	18,52
Jet 33	50	49,00	7	343,00	2	10,29
Jet 34	150	147,00	7	1029,00	2	30,87
Jet 35	300	294,00	7	2058,00	2	61,74
Jet 36	540	529,20	7	3704,40	2	111,13
Jet 37	360	352,80	7	2469,60	2	74,09
Somatório		12450,90		93781,10	2	2813,43

Com relação à vazão de alimentação no tubo de distribuição de água fria, esta é proporcional à carga hidráulica existente e é em função das características físicas abaixo:

- Diâmetro da tubulação de distribuição: 8”;
- Comprimento: 251 m;
- Comprimento equivalente (tubulação e acessórios): 295 m.

A Eq. (9) relaciona o comportamento da vazão com relação à carga hidráulica, como ilustra a Figura 6.

$$(Z_s - Z_e) = f_D \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

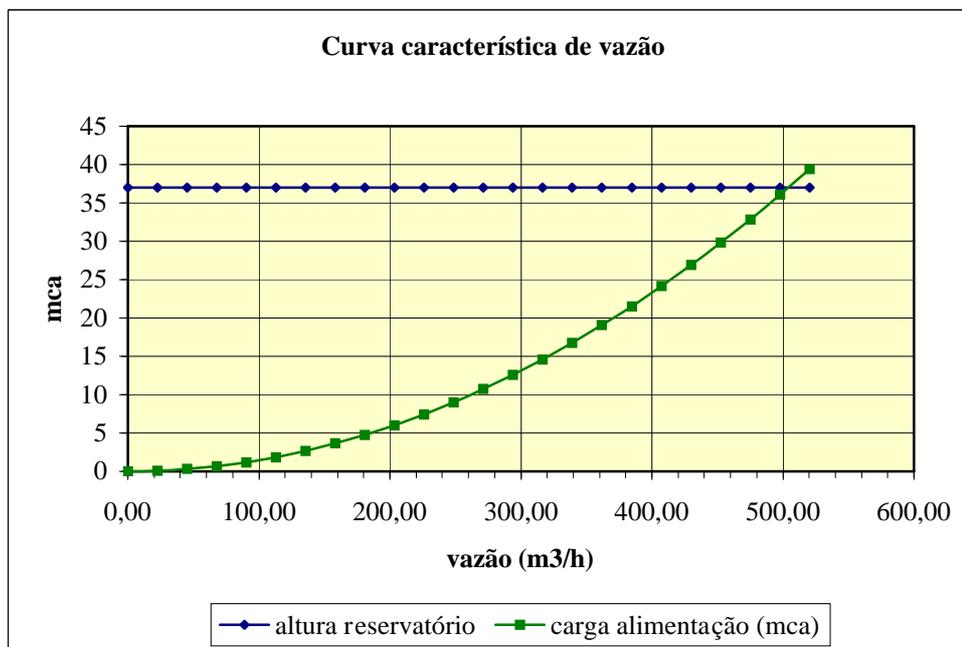


Figura 6 – Curva característica da vazão de distribuição de água industrial fria.

A figura ilustra o cruzamento das curvas no ponto de vazão de 500 m³/h, dito de vazão máxima para a configuração da tubulação existente. Se houver a consideração da altura útil de 30 m, equivalente à diferença entre a cota do reservatório elevado e a cota da tubulação, a vazão máxima é limitada a 450 m³/h.

Neste trabalho, o foco está voltado para a planta de beneficiamento, sendo o organismo um sistema aberto, apto à transferência de massa e energia com a vizinhança; desta forma, tem-se a principal abordagem das funções objetivo voltada

para a entrada de água e combustível. As equações utilizadas para a determinação das condições ideais são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Condições ideais de fornecimento de energia.

Nro função	Função	Aplicação
01	$w_{bomb} = m \cdot \left[\frac{(v_e^2 - v_s^2)}{2} + (Z_e - Z_s)g \right]$	Determinação da disponibilidade de energia no fluido deslocado (kJ). Condição ideal sem perdas por atrito e calor.
02	$w_{comb} = m \cdot \Delta h_{comb}$	Determinação da disponibilidade de energia proveniente da combustão de madeira (kJ). Condição estequiométrica ideal sem perdas por gases de combustão e transferência de calor.
03	$w_{cond} = m \cdot \Delta h_{cond}$	Determinação da disponibilidade de energia proveniente da mudança de fase nos trocadores de calor (kJ). Condição ideal, sem consideração da perda de carga e entropia, apenas entalpia.

Nas funções apresentadas na Tabela 24, uma quantidade de energia (trabalho) é calculada a partir de uma demanda existente de massa m multiplicada por um parâmetro de energia específica (cinética, entalpia, potencial, etc.). Resta definir, na condição de idealidade, qual massa m deve ser empregada. Na Tabela 21 ou 22, é apresentado que a estação de tratamento de água consome 9% da água captada para a produção de água industrial. O percentual representa, na média do ano 2004, uma vazão de 16,35 m³/h que são bombeados a uma altura ΔZ com uma velocidade Δv , para posterior descarte.

Assim, para que as funções objetivo possam desempenhar um papel indicativo correto, uma constante atenção deve ser dada para a totalidade dos fluxos que ocorrem no espaço de fábrica, ação similar à realizada pelos grupos de engenharia de produção sobre a matéria-prima, pessoal e recursos.

4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A planta integrante do organismo e de interesse para este trabalho é o beneficiamento, responsável pela parcela mais significativa no uso da água e energia térmica.

Nas plantas, são selecionados os equipamentos/processos que respondem pela parcela mais significativa nas transferências de massa e energia, em especial envolvendo água, vapor e insumos químicos.

A otimização de plantas industriais pode ocorrer tanto do ponto de vista dos processos como dos equipamentos, conforme a análise voltada para os materiais em transformação ou para as estruturas destinadas à viabilização destas transformações. Quando voltada para equipamentos, busca-se em última análise também a melhoria dos processos.

Para a avaliação constante do nível de otimização, são propostos indicadores específicos baseados nos seguintes critérios gerais:

- Representação adequada da eficiência dos processos de transformação;
- Simplicidade de cálculo;
- Simplicidade no entendimento dos resultados;
- Compatibilidade para análises comparativas com processos análogos.

O desenvolvimento do planejamento fatorial foi aplicado a duas variáveis, temperatura e tempo, em dois níveis, obtendo-se a matriz de planejamento experimental apresentada na Tabela 25. A matriz refere-se à etapa de lavagem do artigo de cor 6000, sendo atualmente realizada nas seguintes condições:

- $T = 95^{\circ}\text{C}$;
- $t = 15 \text{ min.}$

Deste modo, uma seqüência de quatro experimentos aleatórios (2^2) foi conduzida nas seguintes condições:

- Experimento 1: $T = 90^{\circ}\text{C}$; $t = 10 \text{ min}$;
- Experimento 2: $T = 90^{\circ}\text{C}$; $t = 20 \text{ min}$;
- Experimento 3: $T = 100^{\circ}\text{C}$; $t = 10 \text{ min}$;
- Experimento 4: $T = 100^{\circ}\text{C}$; $t = 20 \text{ min}$;

A representação dos níveis dá-se da forma:

- T = 90°C : -1;
- T = 100°C : +1;
- t = 10 min : -1;
- t = 20 min : +1;

Tabela 25 – Resultados de um planejamento fatorial 2^2 para estudar o efeito da temperatura e do tempo na lavagem do artigo de cor 6000, tendo como resposta a força colorística.

Ensaio	Temperatura	Tempo	Resposta média
01	-1	-1	96,88
02	-1	+1	91,08
03	+1	-1	88,64
04	+1	+1	89,28

Para o cálculo dos efeitos das variáveis, um procedimento simples baseado na multiplicação de matrizes pode ser empregado. A matriz de planejamento utilizada no ensaio experimental teve sua representação da forma:

$$T,t \begin{bmatrix} - - \\ - + \\ + - \\ + + \end{bmatrix}$$

A esta matriz, são adicionadas duas colunas. Uma delas contendo sinais positivos e outra cujos sinais constituem os produtos, elemento a elemento, dos sinais das colunas T e t. Esta matriz 4X4 recebe o nome de tabela de coeficientes de contraste.

$$T,t,Tt \begin{bmatrix} + - - + \\ + - + - \\ + + - - \\ + + + + \end{bmatrix}$$

O algoritmo para o cálculo dos efeitos consiste na escolha da coluna apropriada, aplicação dos seus sinais às respostas correspondentes, soma algébrica e divisão do resultado por 2.

A primeira coluna, com sinais unicamente positivos, é empregada para o cálculo da média e, neste caso, o divisor deve obviamente ser 4.

$$\begin{aligned}h &= (1/4) (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \\h &= (1/4) (96,88 + 91,08 + 88,64 + 89,28) \\h &= 91,47\end{aligned}$$

Para o efeito da temperatura, os sinais necessários são os da segunda coluna. Aplicando-se estes sinais às respostas tem-se:

$$\begin{bmatrix} - \\ - \\ + \\ + \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 96.88 \\ 91.08 \\ 88.64 \\ 89.28 \end{bmatrix}$$

podendo-se escrever:

$$\begin{aligned}T &= (1/2) (-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) \\T &= (1/2) (-96,88 - 91,08 + 88,64 + 89,28) \\T &= - 5,02\end{aligned}$$

Analogamente, pode-se aplicar o raciocínio para o tempo e para a interação entre os fatores.

$$\begin{bmatrix} - \\ + \\ - \\ + \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 96.88 \\ 91.08 \\ 88.64 \\ 89.28 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}t &= (1/2) (-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) \\t &= (1/2) (-96,88 + 91,08 - 88,64 + 89,28)\end{aligned}$$

$$t = -2,58$$

$$\begin{bmatrix} + \\ - \\ - \\ + \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 96,88 \\ 91,08 \\ 88,64 \\ 89,28 \end{bmatrix}$$

$$Tt = (1/2) (+y_1 - y_2 - y_3 + y_4)$$

$$Tt = (1/2) (+96,88 - 91,08 - 88,64 + 89,28)$$

$$Tt = 3,22$$

Deste modo, o modelo experimental assume a forma:

$$y(T,t,Tt) = h + T + t + Tt$$

$$y(T,t) = 91,47 - 5,2T - 2,58t + 3,22Tt$$

onde os valores a serem multiplicados por T e t correspondem às variáveis codificadas, podendo o modelo sofrer alteração para receber as variáveis em seus valores originais. A diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais apresenta-se na forma de variância e desvio padrão, conforme apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 – Valores experimentais e obtidos pelo modelo estatístico para a força colorística, na etapa de lavagem do artigo de cor 6000.

Exp	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Resposta (experimento)	Temperatura (codificada)	Tempo (codificado)	Resposta (modelo)	Dif.	Dif. (%)
1	90	10	96,88	-1	-1	102,29	5,41	5,58
2	90	20	91,08	-1	+1	90,69	-0,39	-0,43
3	100	10	88,64	+1	-1	85,81	-2,83	-3,19
4	100	20	89,28	+1	+1	87,09	-2,19	-2,45
méd			91,47					

sendo:

$$s^2 = 5,28;$$

$$s = 2,30.$$

Segundo o modelo obtido, tanto a elevação da temperatura quanto a do tempo promovem uma queda na resposta. Como indicativo de maior importância, o modelo apresenta a possibilidade de operar o processo com temperatura e tempo inferiores aos praticados atualmente, implicando em redução no consumo de vapor. A título de exemplo, se for aplicada a redução de 5 °C sobre apenas um banho do processo, ter-se-ia:

- Representatividade de 01 banho no consumo de água: 10,23%;
- Equivalência de 01 banho na relação L/kg malha: 6,8 L/kg/malha;
- Energia necessária para elevação de 5°C em 6.8 l: 142,25 J;
- Quantidade de energia considerando 536880 kg malha: 76371 kJ;
- Equivalente vapor a 10 kgf/cm²: 70 kg/h;
- Redução custo: R\$580,00/mês.

Ainda que tímida, a redução do custo com vapor revela a relação de, para condições normais de produção próximas a 600 ton/mês, uma economia específica de R\$ 116,00/mês/°C reduzido em cada banho das receitas.

Ainda no viés da redução de resíduos, cabe a proposição da utilização de banhos pré-diluídos para aplicação em processo. Analisando-se os resultados da Tabela 12, verifica-se uma oscilação de pH durante medições sucessivas. Consta que, para elevados valores de pH, quantidades expressivas de hidróxido são necessárias para proporcionar oscilações modestas na variável. Admitindo um erro operacional de 0,5 ponto de pH na formulação dos banhos de preparação, tem-se:

pH esperado:	11,0;
Concentração de NaOH a pH 11:	0,04 g/L;
pH verificado:	11,5;
Concentração de NaOH a pH 11.5:	0,1265 g/L;
Varição na concentração de NaOH:	0,0865 g/L;
Estimativa consumo água preparação:	20,4 L/kg malha;

Para a base de cálculo adotada de 536880 kg/mês de malha beneficiada, tem-se uma estimativa de redução de 1400 kg/mês de NaOH. Em solução 50%, a quantidade equivale a aproximadamente 2000 kg/mês.

4.4 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Por reutilização entende-se o emprego da água após o descarte, sem qualquer forma de tratamento prévio.

No beneficiamento, em especial nos processos de tingimento, os ensaios sobre as águas que admitem reutilização vêm sendo conduzidos adotando-se como critério geral o fato de que águas de preparação e de lavagem devem ser reutilizadas dentro dos respectivos processos, enquanto que para o tingimento em si deve ser empregada água industrial em todas as circunstâncias.

Com base nos valores das Tabelas 12 e 13, ensaios sobre reutilização foram conduzidos em escala laboratorial. Inicialmente, tem-se a avaliação da possibilidade de aproveitamento da terceira água de preparação para a composição do primeiro banho. Nesta concepção, a recirculação interna de um banho representa 10,23% do total de água das receitas de maior demanda (sobre a previsão para 2005). A Tabela 27 apresenta o resumo dos dados obtidos no laboratório.

Tabela 27 – Reutilização da água de preparação a partir da composição do primeiro banho com o descarte do terceiro banho.

Experimento	Percentual água do 3º banho	Percentual água industrial	Resposta do tingimento (força colorística)	Diferença Cor - DE
1	0	100	100 (padrão)	0,0
2	25	75	97,85	0,17
3	50	50	96,88	0,17
4	75	25	90,51	0,59
5	100	0	93,87	0,48

Os ensaios sugerem a aplicação segura de uma composição contendo 50% de água de reuso e 50% de água industrial. Neste viés, o número de 10,23% de redução é abreviado para 5,12%. Analisando-se os dados da Tabela 15, onde se tem a estimativa para o algodão de 66,4 L/kg malha (previsão 2005), o valor de 5,12% equivale a 3,4 L/kg malha.

Raciocínio análogo pode ser aplicado para as águas de lavagem, com o último banho sendo empregado na composição do primeiro. A expectativa carece ainda de avaliação prática.

Outras fontes de água avaliadas para reutilização constam no abridor, com o descarte incorporado ao consumo para lavação de pisos e no resfriamento das bombas da casa de caldeiras. Esta última deve ser utilizada em circuito fechado de refrigeração.

A Tabela 21 apresenta as estimativas de consumo das diversas necessidades para o período de jan/04 a nov/04. Se projetadas para as atuais receitas, contemplando a reutilização da água de preparação e do abridor, os valores assumem a forma exposta na Tabela 28.

Tabela 28 – Estimativa para a diferenciação dos principais consumos de água industrial considerando as receitas atuais e a aplicação de reuso.

Utilização	Quantidade referência	Quantidade específica	Vazão (m³/h)
Água captada	---	---	103,30
Precipitação química	3 %	---	- 3,10
Lavação filtro	6 %	---	- 6,20
Funcionários	1500 pessoas	20 L/funcionário dia	- 1,25
Estamparia (lav quadros)	12 quadros/hora	125 L/quadro	- 1,50
Estamparia (lav cilindros)	10 cilindros/dia	150 L/cilindro	- 0,0625
Abridor	---	---	- 1,50
Zimmer	---	---	- 2,00
Doschem	43 máquinas	1724 L/máq dia	- 3,00
Lawer	43 máquinas	237 L/máq dia	- 0,50
Evaporação (pick-up 100%)	972,61 kg/h	1 L/kg	-0,97
Resfriamento bombas-caldeira	3 bombas	0.5 m ³ /h por bomba	0,00
Limpezas gerais (pisos)	6 pontos de limpeza	3.0 m ³ /h por ponto	- 1,00
Limpeza caminhões	8 caminhões/dia	1.5 m ³ /caminhão	- 0,50
Tinturaria	972,61 kg/h	84.00 l/kg	- 81,70
Total restante água industrial			00,00

Dos valores anteriores, as seguintes reduções concretas possuem impacto direto sobre as estações de água e efluentes:

- Processos de tingimento: - 3,31 m³/h;
- Lavação de pisos: - 1,50 m³/h;
- Resfriamento de bombas: - 1,50 m³/h;
- Precipitação química – lodo ETA: - 2,35 m³/h;
- Total: - 8,66 m³/h.

Dos valores anteriores (181,72 – 53,71) m³/h, contemplando-se também a otimização obtida com a alteração das receitas, admite-se a possibilidade de operação com 103,3 m³/h para a mesma capacidade (536880,23 kg/mês), representando uma redução de 24,71 m³/h. Esta vazão possui reflexo direto sobre ETA e ETE.

4.5 REDUÇÃO DA DEMANDA DE COMBUSTÍVEL SÓLIDO

A redução das quantidades empregadas de combustível sólido pode ocorrer através de inserções gerenciais e técnicas. Na questão gerencial, tem-se principalmente a alteração na forma de controle das quantidades adquiridas. A quantificação do uso de combustível, lançada em planilha de controle de utilidades, deve ser preferencialmente em base mássica e não volumétrica.

Na questão técnica, o balanço ilustrado na Figura 2 e quantificações das correntes resulta em uma quantidade de energia perdida de 4925809 kJ/h. O valor refere-se apenas à perda no gerador de vapor e equivale a 2400 kg/h de vapor saturado a 10 kgf/cm². Com relação ao calor obtido do combustível, o valor de perda equivale a 18%:

$$q_C + q_{Fe} = q_{Fi} + q_V + q_G + perda$$

$$27353504 + 2740300 = 6241340 + 16499060 + 2427595 + perda$$

$$perda = 4925809 \text{ kJ/h.}$$

A energia perdida pode ser atribuída a diversos fatores, sendo os seguintes os mais comuns para o caso:

- Umidade excessiva do combustível, além dos 5% admitidos no balanço;
- Perda de calor com excesso de ar (muito acima da quantidade estequiométrica);
- Perda de calor com descargas de fundo (“blow-down”);
- Perda de calor através das fronteiras do gerador.

A umidade do combustível incide fortemente sobre o poder calorífico, sendo este efeito mais pronunciado na lenha do que na serragem. A Tabela 29 apresenta as quantidades de calor fornecido a partir do aumento de umidade do material.

Tabela 29 – Variação do poder calorífico da madeira com o teor de umidade.

B.C. = 1 kg de combustível.

Umidade	Massa água (kg)	Massa madeira (kg)	PCI (kJ/kg)	Energia para mudança de fase (kJ)	PC (kJ/kg)
5%	0,050	0,950	18777	113	17716
7,5%	0,075	0,925	18777	169,5	17199
10%	0,100	0,900	18777	226	16673
12,5%	0,125	0,875	18777	282,5	16147
15%	0,150	0,850	18777	339	15621
20%	0,200	0,800	18777	452	14570

Dadas às variações significativas do poder calorífico, mecanismos de controle de umidade são facilmente justificados. No caso específico da lenha, com umidades próximas a 10%, o calor residual da exaustão pode ser empregado no condicionamento prévio (secagem).

Ainda a partir dos resultados apresentados na Tabela 29, tem-se que um incremento de 5% a 7,5% na umidade representa uma perda de 3% no poder calorífico, equivalente à geração de 410 kg/h de vapor saturado a 10 kgf/cm².

A perda de calor decorrente do excesso de ar constitui uma suspeita proveniente do monitoramento da composição dos gases de exaustão, que, empregada no balanço de energia, atribui os seguintes valores:

- CO₂ = 5 %;
- O₂ = 14 %;
- H₂O = 11%;
- N₂ = 70 %.

Para o oxigênio, tem-se um percentual de 7% acima do necessário. A reavaliação da quantidade de calor nos gases de exaustão considerando-se 7% de O₂ conduz a uma perda de aproximadamente 2257677 kJ/h. Resultam daí as seguintes estimativas:

- Perda de calor por exaustão (14% de O²): 2427595 kJ/h;
- Perda de calor por exaustão (7% de O²): 2257677 kJ/h;
- Diferença: 169917 kJ/h;
- Equivalente vapor da diferença: 84 kg/h;
- Percentual da diferença em relação à perda total: $169917/4925809 = 3,5\%$.

As descargas de fundo possuem as seguintes características:

Caldeira HB₀₂:

- Freqüência de descargas: 3 aberturas/hora;
- Pressão de operação: $p = 10 \text{ kgf/cm}^2$;
- Vazão da válvula aberta: $Q_{val} = 18 \text{ L/s}$;
- Tempo de abertura: $t = 5 \text{ s}$;
- Volume liberado por válvula: $V = 18 \cdot 5 = 90 \text{ L}$;
- Volume liberado por hora: $V = 90 \cdot 3 = 270 \text{ L/h}$;
- Temperatura do descarte: $T = 170^\circ\text{C}$;
- Quantidade de calor perdido: $763 \cdot 270 = 206010 \text{ kJ/h}$.

A perda de 206010 kJ/h equivale à produção de 102 kg/h de vapor saturado a 10 kgf/cm^2 .

As fronteiras do gerador permitem perdas de calor por radiação e por convecção, sendo o primeiro mecanismo mais atuante nas proximidades da fornalha, região de maior temperatura. De quantificação imprecisa, a perda pelas fronteiras é estimada considerando-se apenas o mecanismo de convecção a partir da aproximação da área de transferência. Tem-se então:

- Área de transferência de calor (fronteira): 120 m^2 ;
- Coeficiente de convecção: $h = 170 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Diferença de temperatura fronteira-ambiente: 15°C ;
- Quantidade de calor perdido: 1101600 kJ/h .

A perda equivale à produção de 550 kg/h de vapor saturado a 10 kgf/cm^2 .

A soma das perdas pela descarga de fundo e fronteiras representa um percentual reduzido frente à perda total, não havendo dúvidas sobre o fato de que as perdas maiores atualmente existentes são provenientes da umidade do combustível.

4.6 BALANÇO NAS TORRES DE RESFRIAMENTO

Indubitavelmente, a promoção do resfriamento da água em contato direto com o ar figura entre as mais importantes operações unitárias dos espaços de fábrica.

Em função de um calor latente considerado alto, uma pequena quantidade evaporada produz na água um efeito significativo de resfriamento.

Na torre de resfriamento, ocorre um processo de transferência de massa entre a água e o ar não saturado. Tem-se a existência de duas forças motrizes que movimentam o processo, sendo o potencial entálpico derivado dos dois fenômenos:

- Diferença nas temperaturas de bulbo seco;
- Diferença de pressão de vapor entre a superfície da água e o ar.

Considerando-se como mérito principal a dissipação de energia em etapa prévia necessária ao tratamento dos efluentes líquidos, recorre-se à vazão dos efluentes quentes ($T > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). A Tabela 15 indica a produção de 55 % de efluentes quentes no processo produtivo. O número não incorpora a totalidade das águas descartadas, entretanto o percentual é representativo. Adotando-se os mesmos 55 % sobre a projeção futura de vazão de $200\text{ m}^3/\text{h}$, tem-se o balanço apresentado na Figura 7.

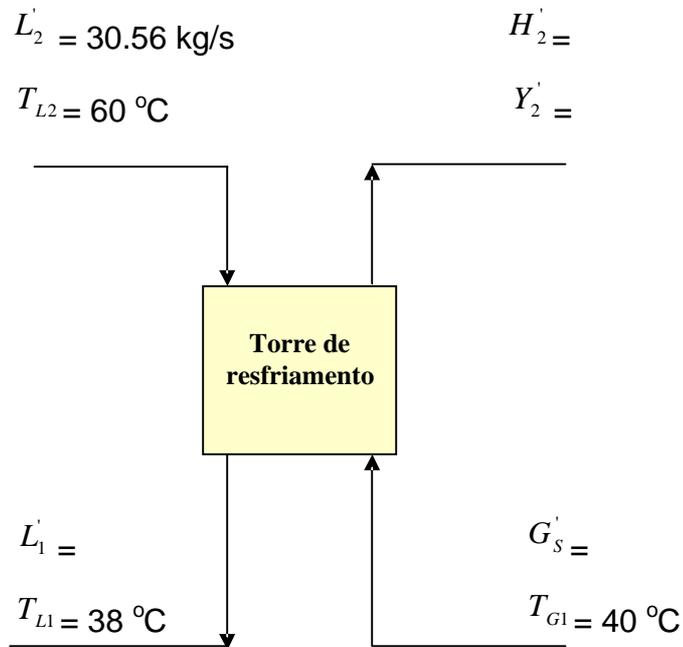


Figura 7 – Balanço sobre a torre de resfriamento, com as variáveis conhecidas.

Considerando-se uma umidade relativa de 70 % para a corrente de entrada do gás, tem-se:

- $T_{W1} = 35^{\circ}\text{C}$;
- $Y'_1 = 0,037 \text{ kg água/kg ar seco}$;
- $H'_1 = 127000 \text{ Nm/kg ar seco} = 127 \text{ kJ/kg ar seco}$

É possível também a determinação das condições de escoamento da torre, segundo os parâmetros:

- Fluxo mássico da água: $2,7 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$;
- Fluxo mássico de ar: $2,0 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$.

A operação da torre deve situar-se, obrigatoriamente, abaixo da linha de saturação. Obviamente, a corrente de gás em ascensão não pode exceder em umidade absoluta a condição do ar saturado para a respectiva temperatura. A Figura 8 apresenta um exemplo, contemplando curvas de operação abaixo da curva de saturação.

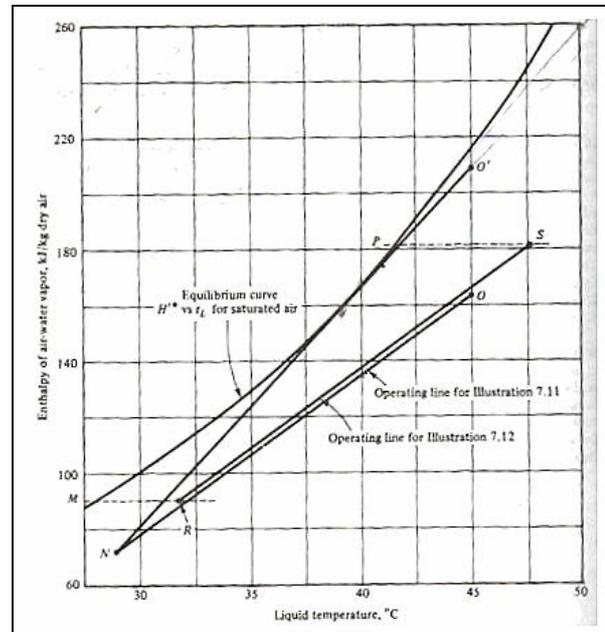


Figura 8 – Gráfico de temperatura do líquido vs. entalpia ar-água, para a condição de saturação e três condições operacionais quaisquer (N-O'; N-O; R-S).

Fonte: Treybal, Robert E.; Mass Transfer Operations; 3ª ed, 2000.

Na determinação de uma curva de operação para o caso em estudo, tem-se uma equação do tipo $y = 9417x$, com o valor 9417 equivalendo à declividade. Deste modo:

$$\frac{L' \cdot C_{AL}}{G'_{S,\min}} = \frac{30.56 \cdot 4187}{G'_{S,\min}} = 9417;$$

$$G'_{S,\min} = 13,58 \text{ kg ar seco/s};$$

Aplicando-se um fator de segurança = 1.5;

$$G'_{S,\min} = 13.58 \cdot 1.5 = 20,40 \text{ kg ar seco/s}.$$

De modo análogo:

$$\frac{H'_2 - 127000}{60 - 38} = \frac{30.56 \cdot 4187}{20.40} ;$$

$$H'_2 = 264990 \text{ Nm/kg ar seco};$$

Dos fluxos mássicos de ar e água e da vazão mássica de ar e água, tem-se:

$$\frac{20.40}{2.0} = 10.2 \text{ m}^2;$$

Para a altura, tem-se:

$$2.5 = \frac{k_{Ya} \cdot Z}{G_s} = \frac{0.9 \cdot Z}{2.0} ;$$

$$Z = 5,5 \text{ m.}$$

Um balanço de massa sobre a torre, com a hipótese da saída de ar saturado pelo topo, fornece para a quantidade perdida por evaporação.

Da carta psicrométrica, para $H_2' = 264990 \text{ Nm/kg}$ ar seco um valor equivalente a $Y_2' = 0,115 \text{ kg água/kg ar seco}$, tem-se:

$$T_2' = 55^\circ\text{C};$$

$$E = 0.2 \cdot 10.2 \cdot (0.115 - 0.037)$$

$$E = 1.591 \text{ kg/s.}$$

Além da perda de massa por evaporação, considera-se na torre a perda por transporte pneumático, equivalente a 0.2 % da vazão de água. Portanto, adicionam-se 0.2 % de 30.56 kg/s, equivalentes a 0.061 kg/s, à evaporação.

A perda de calor proveniente da atividade da torre pode ser expressa da forma:

$$q_{torre} = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T = 28.9 \cdot 4.18 \cdot 22$$

$$q_{torre} = 2658 \text{ kJ/s} = 9570167 \text{ kJ/h.}$$

A quantidade de calor transferida ao meio equivale a aproximadamente 4700 kg/h de vapor saturado 10 kgf/cm².

Se em condições atuais de operação tem-se a temperatura da corrente efluente do beneficiamento em torno de 47 °C, a uma vazão máxima de 200 m³/h, a quantidade de calor transferida pela torre reduz a temperatura para valores aproximados a 37 °C.

A realização de balanços mássicos e de energia nas principais etapas dos processos da indústria têxtil permite o cálculo das eficiências dos processos, permitindo a proposição de alternativas para reduzir o consumo de insumos e de energia, além de reduzir a geração de efluentes têxteis.

A seguir serão apresentadas as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A realização de balanços mássicos e de energia nas principais etapas dos processos da indústria têxtil permitem o cálculo das eficiências dos processos, permitindo a proposição de alternativas para reduzir o consumo de insumos e de energia, além de reduzir a geração de efluentes têxteis.

A seguir serão apresentadas as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No beneficiamento têxtil, devido às inúmeras combinações possíveis de cores, substratos, processos e equipamentos, foi necessário restringir algumas variáveis. Estas restrições geraram os seguintes parâmetros para a coleta de amostras: escolha da fibra de algodão com composição superior a 95%, como substrato têxtil, e escolha do corante; seleção de classes de cores de intensidade clara, média e escura, todas tingidas com corantes reativos, branca com alveamento óptico e preta utilizando o processo sulfuroso. A classificação das intensidades das cores varia conforme a quantidade de percentual de corante presente no banho.

No presente trabalho, foram caracterizados os parâmetros físico-químicos dos afluentes/efluentes de cada etapa da cadeia produtiva da indústria têxtil, assim como foram analisadas as características específicas dos processos nos quais estes são inseridos, e as possibilidades e condições em que os efluentes e produtos recuperados possam ser reutilizados. Foram realizadas análises de cor, turbidez, dureza, pH, alcalinidade, DBO, DQO, ferro total e sólido totais, para melhor caracterização.

Através dos resultados obtidos pode-se verificar que os efluentes gerados nas diversas fases do processo têxtil estudado apresentam teores de contaminantes distintos e variáveis, característicos a cada tipo de preparação e tingimento, dificultando o seu reuso direto. As receitas de preparação apresentaram a vantagem da similaridade, sendo aplicadas praticamente para a totalidade das cores e suportes processados; em função desta característica, são prioritariamente avaliadas para a identificação de reutilização potencial frente aos demais processos.

O princípio da proposta de reaproveitamento dos efluentes está baseado na individualização das correntes de efluentes de cada fase, de todas as etapas do processo.

A estratégia de reuso direto das correntes de efluentes estabelecida no presente trabalho, consiste no reciclo das correntes que possuem menor concentração de contaminantes para as fases que ocasionarão uma emissão de efluente com concentrações bem superiores que a corrente efluente, no mesmo processo.

Verifica-se que a carga orgânica e a alcalinidade vão sofrendo reduções ao longo dos banhos. O resultado é obtido em função da elevada quantidade de óleos e sais transportados pelo substrato, indicando possibilidades de reintegração da terceira água ao processo. A manutenção de um ajuste automático de pH diretamente no equipamento também aparentou viabilidade em função das variáveis excessivas dos parâmetros. Indiscutivelmente, a carga de contaminantes é sempre elevada no primeiro efluente de cada fase, preparação e tingimento e, tende a diminuir com as lavações sem produtos químicos. Quando as lavações sem produtos químicos são seguidas por lavações com produtos químicos, dependendo do tipo utilizado, a carga de contaminantes aumenta em relação à anterior.

Os efluentes do tingimento, apesar dos grandes volumes envolvidos têm suas possibilidades de reuso muito restritas, pois a presença de substâncias químicas de outras fases do processo pode interferir na qualidade do tingimento.

Nos efluentes analisados, a recuperação de energia pode ser possível na maioria dos casos, quanto ao reuso dos efluentes de forma direta, existem algumas restrições e, de forma indireta, o reuso dependerá de tratamentos prévios, utilizando processos adsortivos e de separação por membranas que, em muitos casos, são de difícil viabilidade econômica.

Dos valores obtidos (181,72 – 53,71) m³/h, contemplando-se também a otimização obtida com a alteração das receitas, admite-se a possibilidade de operação com 103,3 m³/h para a mesma capacidade (536880,23 kg/mês), representando uma redução de 24,71 m³/h. Esta vazão possui reflexo direto sobre ETA e ETE.

Conclui-se dos resultados obtidos que há possibilidade de reuso de forma direta da terceira água para a primeira água. O reuso desses efluentes ocasionará uma grande economia à unidade industrial.

As sugestões para futuros trabalhos serão apresentadas a seguir, baseadas nas observações realizadas no processo industrial:

- Caracterizar os efluentes para outros tipos de substratos.

- Caracterizar os efluentes do mesmo tipo de preparação e tingimento para os vários tipos de equipamentos existentes no processo, uma vez que o consumo de água varia de um tipo para outro, devido à tecnologia adotada.
- Estudar a cinética do esgotamento e fixação do corante no substrato para viabilizar a possibilidade de utilização do banho de tingimento.
- Caracterizar a mistura das correntes das fases alcalinas e ácidas.
- Caracterizar os efluentes de transbordo para verificar o comportamento de redução da carga contaminante, a fim de reduzir o tempo de transbordo.
- Realização de testes piloto para verificar se a qualidade do produto final é afetada pelo reuso direto sugerido no presente trabalho.
- Testar processos de tratamento nos efluentes individualizados e verificar a qualidade atingida e viabilidade econômica.
- Testar a reutilização do banho de tingimento na fase de fixação para não causar manchamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. E se a Água Vier a Faltar? **Saneamento Ambiental**, n. 64, p. 3, 2000.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M.M. **Manual de engenharia têxtil**. v. 2, Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

BANATA, J.M.; NIGAM, P.; SINGH, D; MARCHANT, R. Microbial decolorization of textile containing effluents: a review. **Bioresource**, Technol, vol. 58, p. 217 – 227, 1996.

BELLO, L. Água: a Mais Importante Commodity do Século XXI. **Banas Ambiental**, n. 8, p. 34-42, 2000.

BERNARDIS, R.; ARAR, A., Novos Conceitos e Reuso da Água. **Latin Chemical**, 2002.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, CETESB, 1993.

COELHO, Alexandre Bragança. A cultura do algodão e a questão da integração entre preços internos e externos. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, jan./mar. 2004, vol.42, no.1, p.153-169. ISSN 0103-2003.

CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S.J. Charaterization of textile wastewaster – a review. **Environmental Technology**, v. 15, p. 917-929, Junho 1994.

CONCHON, J. A. Tratamento de Elfuentes. Transcrição do Artigo publicado na **Revista base Têxtil**, da Federación Argentina de la Industria Têxtil, n. 123, 1999.

CROOK, J. Critérios de Qualidade da Água para Reuso – **Revista DAE SABESP** – Nº 174 – Nov/Dez, 1993.

EPA – Enviromental Protection Agency. **Profile of the Textile Industry**. Washington, September, 1997.

FARIA, D. C., **Reuso das Correntes de Efluentes Aquosos em Refinarias de Petróleo**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

FIBER ORGANON. Departamento de Agricultura, EUA. 2001. Disponível em:
<<http://www.fibereconomics.com/feb3c.htm>>.

FONTANA, D., SECCHI, A. R., TRIERWEILER, J. O., THOMING, J., Recuperação de água de processos: formulação de um problema padrão. **XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2002.

FREITAS, K. R. **Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GORINI, A. P. F. Panorama do Setor Têxtil no Brasil e no Mundo: Reestruturação e Perspectivas. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social Setorial**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 17 – 50, Setembro 2000.

IEMI - INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL S/C LTDA.

Relatório setorial da cadeia têxtil brasileira. São Paulo, v. 2, n. 2, 2001. Edição Especial.

JODICKE, G.; FISCHER, U.; HUNGERBÜHLER, R. Wasterwater reuse: a new approach to screen for designs with minimal total costs. **Computers and Chemical Engineering**, vol. 25, p. 203-215, 2001.

JUANG, R.S. et al. Use of chitin and chitosan in lobster Shell waster for colour removal from aqueous solutions. **J. Environ. Sci. Health A**, vol. 31, p. 325-338, 1996.

LITTER, M.; Heterogeneous Photocatalysis (review). **Applied Catalysis B: Environmental**, v.23, p. 89-114, 1999.

LITTLE, A. H. Water supplies and the treatment and disposal of effluents. **The Textile Institute Manchester**, n. 2, 1975.

MANN, J. G., Cultural changes and water-asset realignment to support water-reuse projects. **Resources, Conservations and Recycling**, 37, 175-180, 2003.

MARTINS, G. B. H. **Práticas Limpas Aplicadas às Industrias de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

MALISKA, C.R. **Transferência de color e mecânica dos fluidos computacional – fundamentos e coordenadas generalizadas**. Rio de Janeiro, 1995.

MARISOL, Normas Técnicas **Alcalinidade: Determinação** – MET 33, Rev. 01, 1999.

MARISOL, Normas Técnicas **Cor: Determinação em águas e efluentes** – MET 55, Rev. 01, 1997.

MARISOL, Normas Técnicas **DBO 5: Determinação da concentração** – MET 27, Rev. 01, 1997.

MARISOL, Normas Técnicas **DQO: Determinação da concentração** – MET 26, Rev. 01, 1999.

MARISOL, Normas Técnicas **Dureza Total: Determinação do Teor** – MET 214, Rev. 01, 1998.

MARISOL, Normas Técnicas **Ferro Total: Determinação da concentração** – MET 42, Rev. 01, 1999.

MARISOL, Normas Técnicas **pH: Determinação** – MET 76, Rev. 01, 1999.

MARISOL, Normas Técnicas **Sólidos Totais, Fixos e Voláteis: Determinação** – MET 79, Rev. 01, 1998.

MARISOL, Normas Técnicas **Turbidez: Determinação das concentrações** – MET 78, Rev. 01, 1998.

MIRSHRA, G.; TRIPATHY, M. A critical review of the treatments for decolourization of textile effluent. **Colourage**, October, 1993.

MÓDENES, A. N. **Utilização da Análise Pinch na Redução de Emissões de poluentes**. Campinas, 1999. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas.

MUSTAFA, G. S. **Reutilização de Efluentes Líquidos em Indústria Petroquímica**. Salvador, 1998. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia.

NIGAM, P. et al. Physical removal of textile dyes from effluent and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. **Bioresource Technology**, vol. 72, p. 219-229, 2000.

PITOLI, M. ISO 14.001 no Setor Têxtil. **Revista Textila**, n. 37, 2000.

Resolução nº 20/86 do CONAMA, 1986.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água – Tecnologia Aplicada**. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1991.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHNT, R.; NIZAM, P. Remediation of Dyes in textile effluent: a Critical Review on Current Treatment Technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, vol. 77, p. 247-255, 2000.

SANIN, L. B. B. A Indústria Têxtil e o meio Ambiente. **Química Têxtil**, p. 13-34, Março 1997.

SANTOS, M. O. R. M. **O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário**. Rio de Janeiro, 2002. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVESTRE, W. K. G. Água: Elemento Precioso e Ameaçado. **Textila**, n.18, p. 69, 1995.

STEINHART, M.R.V. Auxiliares têxteis do ponto de vista dos tensoativos. **Química Têxtil**, p. 76-80, Dezembro 2000.

TRALLI, V. J. Noções Básicas para Engomagem. **Revista Textila**, n. 37, 2000.

TROTMAN, E.R. **Dyeing and chemical technology of textile fibres**. 6 ed. England: Charles Griffin % Company LTD., 1984.

TREYBAL, Robert E. **Mass Transfer Operations**. 3 ed. 2000.

ZOMIGNAN, J. Processo BHE para tingimento. **Textilia**, n. 15, p. 48-55, 1995.

Anexos

Anexo A – Fluxograma de transporte de água

Anexo A - Fluxogramas de processo – água e energia

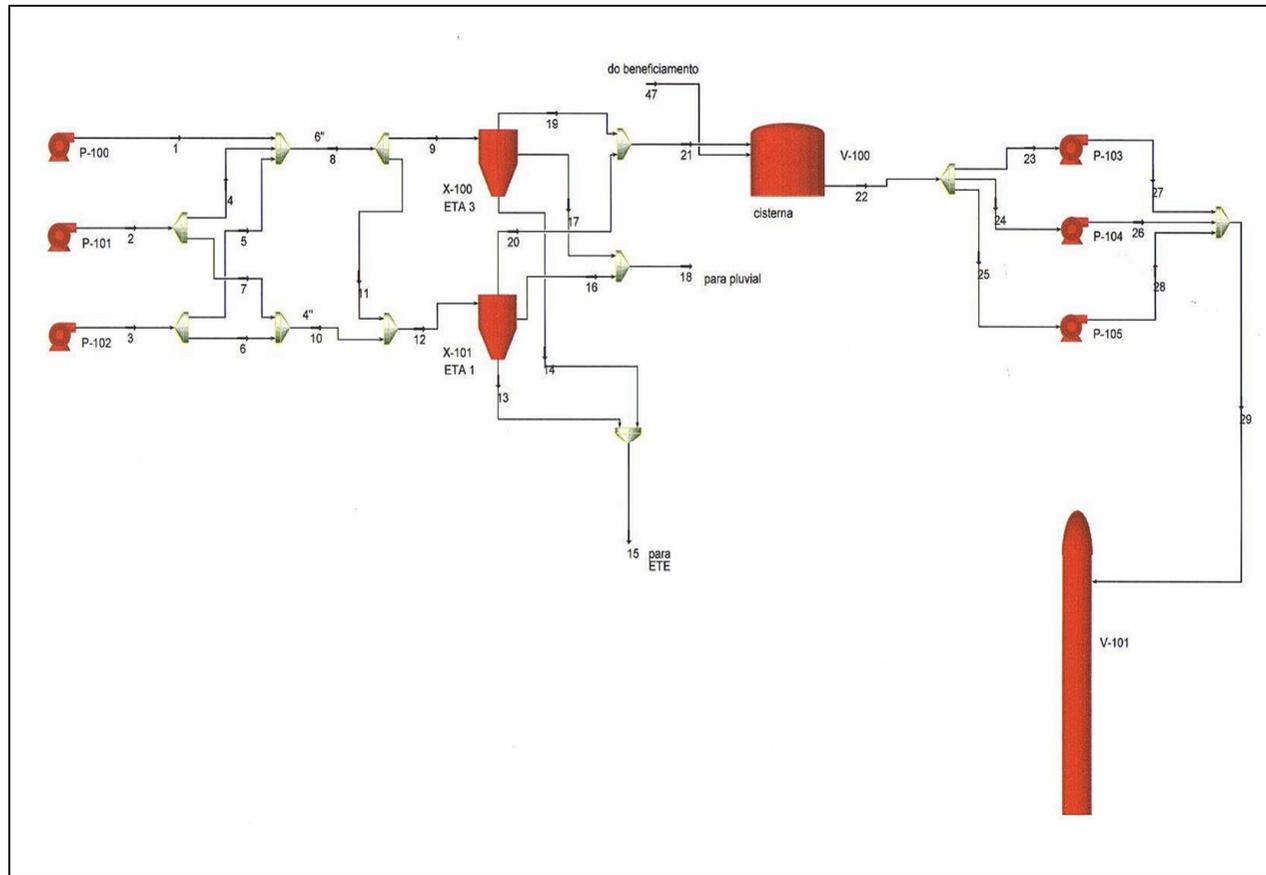


Figura A.1 – Fluxograma de transporte de água – captação até reservatório elevado.

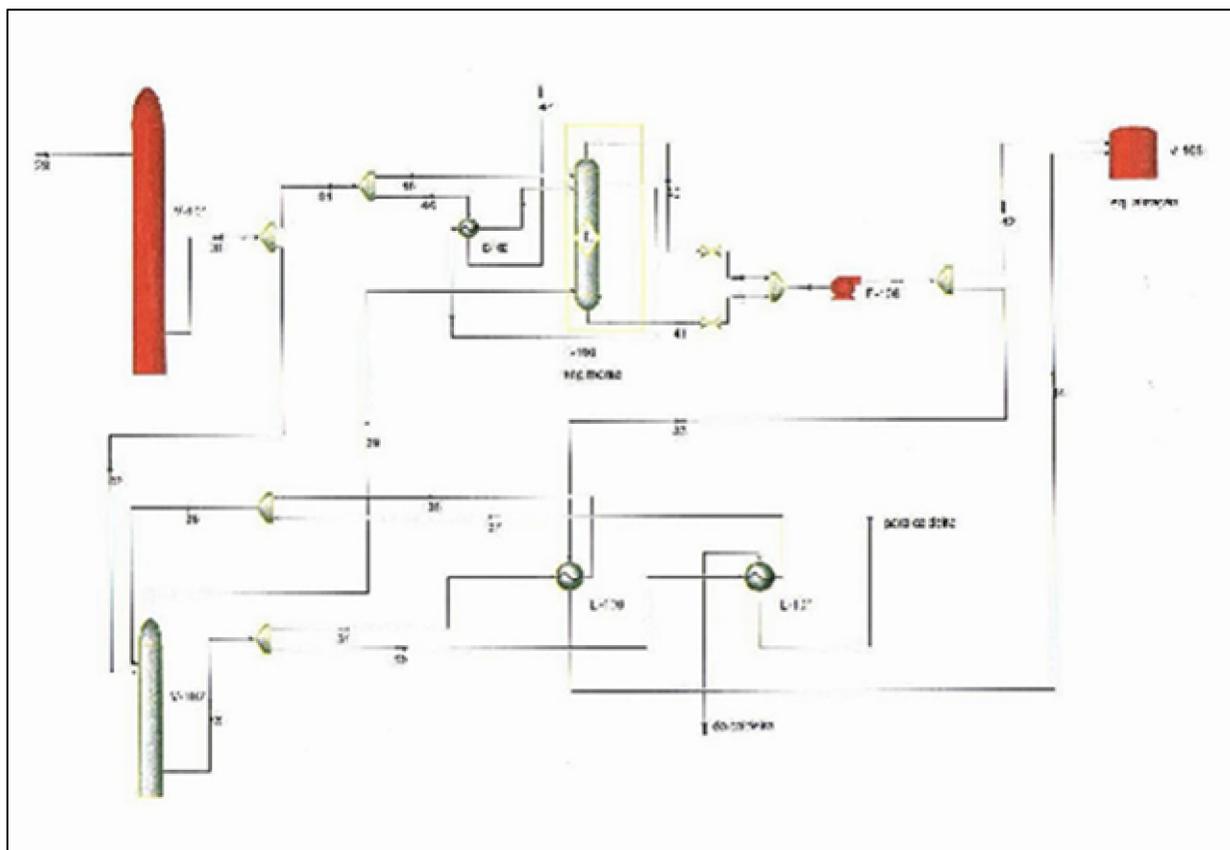


Figura A.2 – Fluxograma de transporte de água – reservatório elevado até ETE.

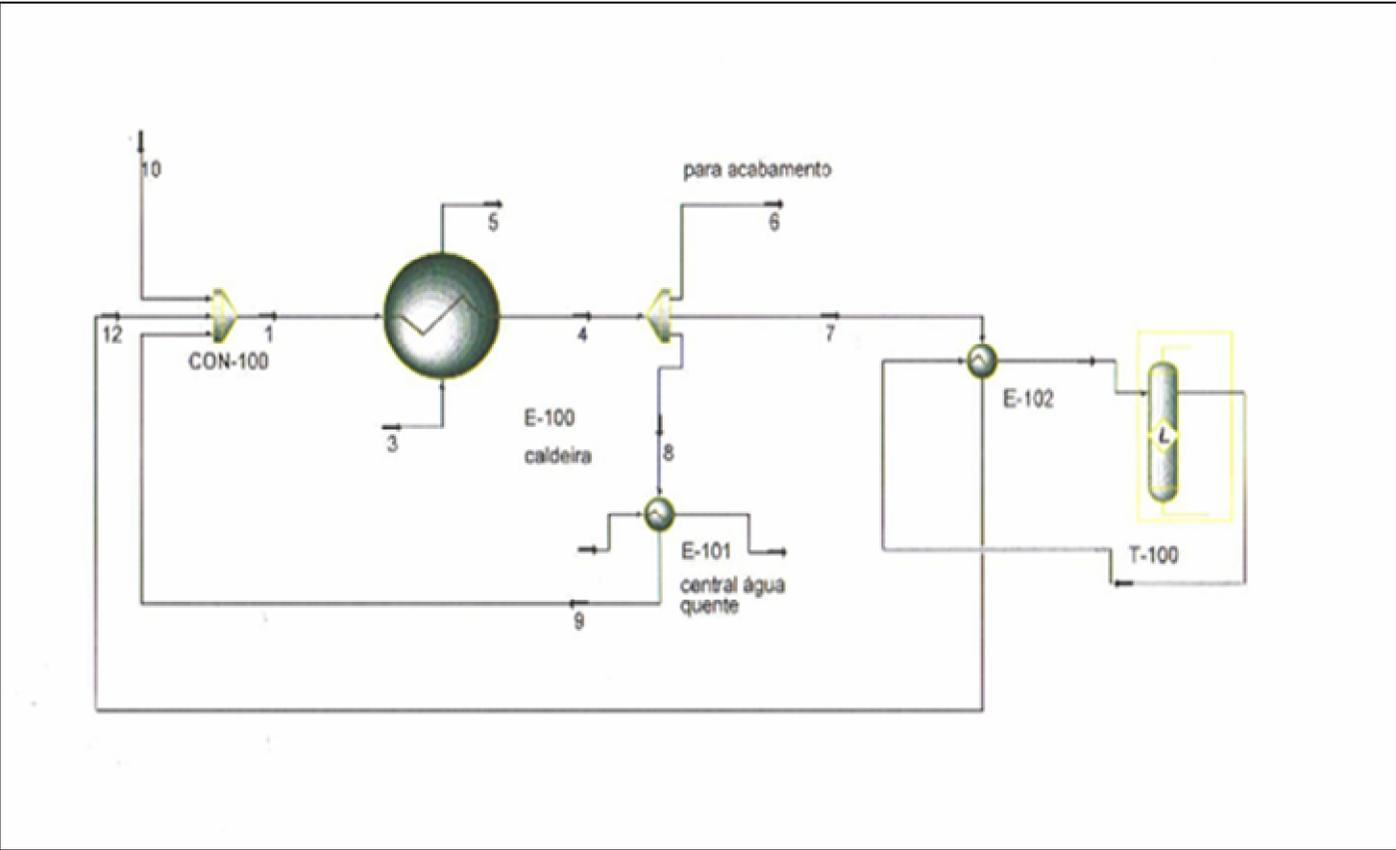


Figura A.3 – Fluxograma de transporte de vapor – caldeira até beneficiamento.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)