



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Alinne Kadidja de Sousa Fernandes

REÚSO DE ÁGUA NO PROCESSAMENTO DE JEANS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

NATAL
2010

Alinne Kadidja de Sousa Fernandes

REÚSO DE ÁGUA NO PROCESSAMENTO DE JEANS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Ph.D. André Luis Calado Araújo;

Co-orientador: Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto.

NATAL

2010

Seção de Informação e Referência
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Fernandes, Alinne Kadidja de Sousa.

Reúso de água no processamento de jeans na indústria têxtil. / Alinne Kadidja de Sousa Fernandes. – Natal, RN, 2011.

98f. ; il.

Orientador: André Luis Calado Araújo.

Co-orientador: Cícero Onofre de Andrade Neto.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Reúso – Dissertação. 2. Efluente têxtil. – Dissertação. 3. Lavanderia Industrial. – Dissertação. 4. Lavagens. – Dissertação. 5. Jeans. I. Araújo, André Luis Calado. II. Andrade Neto, Cícero Onofre de. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.179.2

ALINNE KADIDJA DE SOUSA FERNANDES

REÚSO DE ÁGUA NO PROCESSAMENTO DE JEANS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

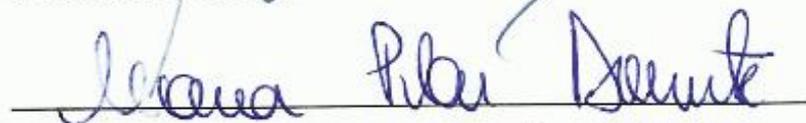
BANCA EXAMINADORA



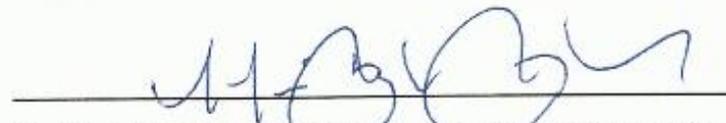
Dr. André Luís Calado Araújo - Orientador



Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto – Co-orientador



Dr. Maria del Pilar Durante Ingunza – Examinador interno



Dr. André Bezerra dos Santos - Examinador externo

Natal, 22 de Dezembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

A André Calado, pela orientação e companheirismo durante a graduação e mestrado, sem o qual não seria possível a conclusão deste trabalho. Aos professores do LARHISA pelo conhecimento e momentos compartilhados, em especial a Cícero Onofre, pela co-orientação.

Aos colegas e amigos do LARHISA, pelos momentos divididos ao longo desta fase, em especial a Joema, Rodrigo e Aldo.

A Capricórnio S/A e toda a equipe, pela oportunidade do primeiro estágio, primeiro emprego, e por acreditar no potencial das ideias e contribuir para torná-las realidade. Principalmente a Alfredo Ferreira, gerente geral da empresa e amigo, por sempre me apoiar.

A Leide Amara, pelo companheirismo e contribuição dedicada a este trabalho durante seu estágio na Capricórnio S/A.

Aos meus queridos amigos: Greg Sá, Daisy do Carmo, e principalmente a Carla Varela, pela amizade, companheirismo, paciência, contribuição profissional e pessoal.

Aos meus pais, Regina e Wagner; aos meus irmãos, Felipe e Alanne; aos meus avós, Ivanaldo e Nevinha; agradeço pelos ensinamentos, amor e compreensão durante minha vida.

A minha sobrinha Beatriz que estar por vir, pelos sentimentos renovados. Ao pequeno Pedro Paulo pelo carinho incondicional e sorriso sempre aberto.

A minha avó Mariinha, a avô José Bezerra, que continuam presentes em meu coração. Aos demais familiares e amigos que me cercam em sentimentos e pensamentos positivos.

À CAPES pelo amparo financeiro durante os meses concedidos de bolsa de estudo. Ao PPgES pela formação, desenvolvimento profissional e pessoal agregado a estes anos de estudos e pesquisa. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar as possibilidades de reúso industrial de efluentes têxteis, após passar por um pré-tratamento físico-químico, no processamento do jeans em uma lavanderia industrial têxtil, sem a necessidade de tratamentos complementares e diluições. A metodologia desenvolvida e avaliação dos testes propostos foram baseadas nas técnicas de produção utilizadas na empresa e adaptadas para os experimentos testados. A caracterização do efluente tratado através dos 16 parâmetros selecionados e o desenvolvimento de um monitoramento capaz de adequar o efluente tratado para disposição final de acordo com a legislação vigente foi essencial para o início dos testes de reúso. Os parâmetros utilizados - cor, turbidez, SS e pH – mostraram-se satisfatórios como variáveis de controle e apresentam métodos de determinação simples. As variáveis de qualidade no tecido (denim) consideradas foram: cor, odor, aparência e suavidade ao toque. Os testes foram iniciados em escala piloto seguindo fatores de complexidade atribuídos aos processos, em peças piloto e em peças confeccionadas, que demonstraram a possibilidade de reúso, por não apresentarem interferências a qualidade dos processos e das peças produzidas. Em escala real os testes foram iniciados por uma etapa controle e confirmaram a eficiência da metodologia aplicada para identificar a possibilidade de reúso através de testes que precedem cada receita a ser processada. Foram realizadas 556 repetições em escala produtiva para as lavagens referentes a 47 diferentes receitas. O percentual de reúso com água da ETEI foi de 100% para todos os processos e repetições realizadas após a etapa inicial de ajuste dos testes. Todas as peças foram enquadradas com qualidade máxima pelo controle interno e comercializadas, sendo aprovadas pelos contratantes. A utilização em escala real do efluente tratado, sustentado pelo monitoramento e metodologia de controle e avaliação sugerida neste estudo mostrou-se válida na produção têxtil, por não conferir qualquer tipo de impacto negativo à qualidade das peças produzidas nas condições apresentadas. Estes resultados apontam que esta metodologia pode ser extrapolada a outras lavanderias para determinação da possibilidade de reúso no beneficiamento de jeans com as adaptações necessárias a cada empresa.

Palavras- chave: reúso; efluente têxtil; lavanderia industrial; lavagens; jeans.

ABSTRACT

This study aims to assess the potential for industrial reuse of textile wastewater, after passing through a physical and chemical pretreatment, into denim washing wet processing operations in an industrial textile laundry, with no need for complementary treatments and dilutions. The methodology and evaluation of the proposed tests were based on the production techniques used in the company and upgraded for the experiments tested. The characterization of the treated effluent for 16 selected parameters and the development of a monitoring able to tailor the treated effluent for final disposal in accordance with current legislation was essential for the initiation of testing for reuse. The parameters color, turbidity, SS and pH used were satisfactory as control variables and presents simple determination methods. The denim quality variables considered were: color, odor, appearance and soft handle. The tests were started on a pilot scale following complexity factors attributed to the processes, in denim fabric and jeans, which demonstrated the possibility of reuse, because there was no interference in the processes and at quality of the tested product. Industrial scale tests were initiated by a step control that confirmed the methodology efficiency applied to identify the possibility of reuse by tests that precede each recipe to be processed. 556 replicates were performed in production scale for 47 different recipes of denim washing. The percentage of water reuse was 100% for all processes and repetitions performed after the initial adjustment testing phase. All the jeans were framed with the highest quality for internal control and marketed, being accepted by contractors. The full-scale use of treated wastewater, supported by monitoring and evaluation and control methodology suggested in this study, proved to be valid in textile production, not given any negative impact to the quality the produced jeans under the presented conditions. It is believed that this methodology can be extrapolated to other laundries to determine the possibility of reuse in denim washing wet processing with the necessary modifications to each company.

Palavras- chave: reuse; textile effluent; industrial laundry; denim washing wet processing; jeans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Beneficiamento em lavanderia de peças confeccionadas.....	23
Figura 2. Variação de nuances obtidas em processos da lavanderia.	24
Figura 3. Organograma simplificado do processo produtivo da Capricórnio S/A	39
Figura 4. Confeção de amostras.	40
Figura 5. Máquina de amostra de lavagem.	40
Figura 6. Mesa de corte.....	40
Figura 7. Máquinas da lavanderia.	40
Figura 8. Exemplo de receita utilizada pela lavanderia.	41
Figura 9. Acabamento diferenciado de peças confeccionadas.	42
Figura 10. Exemplo simplificado de receitas de possíveis processos nas lavagens.	45
Figura 11. Organograma da geração de efluentes têxteis.....	47
Figura 12. Planta baixa simplificada da ETE da Capricórnio S/A - NATAL.	51
Figura 13. UTP.....	51
Figura 14. Tanque de equalização.	51
Figura 15. Neutralização (A), calha Parshall (B) e floculadores (C).	52
Figura 16. Decantadores.	52
Figura 17. Leitões de secagem.	52
Figura 18. Lodo desidratado.....	52
Figura 19. Processador pH/B	53
Figura 20. Tanque de dosagem bomba dosadora.....	53
Figura 21. Exemplo das variações produzidas nos testes de reúso.....	59
Figura 22. Máquina piloto.....	61
Figura 23. Tipo de máquina utilizada para reúso.	61
Figura 24. Variação do pH nos principais pontos de controle.	70
Figura 25. Variação de cor e turbidez.....	71
Figura 26. Efluente de lavagens em denim.	72

Figura 27. Variação de efluente conforme processo.	72
Figura 28. Efluentes do 4 floculador (a) e final (b).....	72
Figura 29. Monitoramento dos SS - Efluente final (a) e 4 floculador (b).	72
Figura 30. Máquina de testes piloto de 10 kg.....	74
Figura 31. Reservatórios da água de reúso.	78
Figura 32. Primeira adaptação da máquina.....	79
Figura 33. Readaptação das máquinas.....	79
Figura 34. Fluxograma simplificado das lavagens e processos.	82
Figura 35. Receitas processadas com água de produção e de reúso.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de alguns corantes segundo os processos de tingimento. ...	20
Tabela 2. Parâmetros indicativos para uso de água na indústria têxtil.	36
Tabela 3. Caracterização do efluente bruto.	48
Tabela 4. Valores médios e parâmetros característicos de efluente têxtil bruto adaptado de Freitas (2002).	49
Tabela 5. Padrões de lançamento no SITEL - IDEMA.	50
Tabela 6. Relação de parâmetros físico-químicos e métodos analíticos utilizados. ...	55
Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas das campanhas realizadas.	66
Tabela 8. Tratamento estatístico descritivo dos dados passíveis de detecção.	67
Tabela 9. Tratamento estatístico descritivo do monitoramento.	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Produtos auxiliares usados nas lavanderias industriais.	26
Quadro 2. Descrição simplificada dos processos.	43
Quadro 3. Corte longitudinal simplificado da ETE com locais de coleta e monitoramento.	57
Quadro 4. Fatores determinados aos processos.	73
Quadro 5. Testes em escala real – preliminar.	81

LISTA DE ABREVIATURAS

% - Porcentagem

°C - grau Celsius

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - Sulfato de Alumínio

ANA - Agência Nacional das Águas

APHA - American Public Health Association

CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CF - Constituição Federal

Cl – Cloro

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COT - Carbono Orgânico Total

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIN - Distrito Industrial de Natal

DIN - Distrito Industrial de Natal

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

Fe – Ferro

$\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ - Fenton,

H_2O_2 - Peróxido de Hidrogênio

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente

kg – Quilograma

m^3 - metro cúbico

m^3/h - Metro cúbico por Hora

mg/L - Miligrama por Litro

ml/L - Mililitros por Litro

mm – Milímetro

Mn – Manganês

MnO_4 - Permanganato

MPE - Ministério Público Estadual

NBR - Norma Brasileira

O_3 – Ozônio

OH^- - Radicais Hidroxila

pH - Potencial hidrogeniônico
POAs - Processos Oxidativos Avançados
PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PROADI - Programa de Apoio ao Desenvolvimento Industrial
PT - Pronto para Tingir
R\$ - Real
RN - Rio Grande do Norte
S/A - Sociedade Anônima
SDT - Sólidos Dissolvidos Totais
SITEL - Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos
SS - Sólidos Suspensos
SST - Sólidos Suspensos Totais
TiO₂ - Dióxido de Titânio
uH – Cor
UNT - Unidades Nefelométrica de Turbidez
UTP - Unidade de Tratamento Preliminar
UV – Ultravioleta
ZnO – Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Indústria Têxtil	17
2.1.1	Fiação	18
2.1.2	Tecelagem	18
2.1.3	Beneficiamento	19
2.2	Lavanderia Têxtil	21
2.3	Efluente Têxtil	26
2.3.1	Tratamento	28
2.4	Reúso de Água	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Fase I – Estudos preliminares	38
3.1.1	Caracterização da área de pesquisa	38
3.1.2	Caracterização do efluente	54
3.1.3	Monitoramento da ETE	56
3.2	Fase II - Metodologia para reúso	58
3.2.1	Testes piloto	58
3.2.2	Testes em escala real	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	Fase I	65
4.1.1	Caracterização dos Efluentes Líquidos	65
4.1.2	Monitoramento da ETE	68
4.2	Fase II	73
4.2.1	Testes piloto	73
4.2.2	Testes em escala real	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e freqüentes, podendo ser observados através de alterações na qualidade do solo, ar e água (KUNZ *et al.*, 2001). Nas últimas décadas a poluição por efluentes industriais tem aumentado consideravelmente, e os efluentes provenientes de indústrias têxteis com processamento envolvendo tingimento e lavagens, sem o devido tratamento anterior ao seu lançamento em águas naturais, são uma das preocupações ecológicas mais emergentes (GUARATINI E ZANONI; 1999; SALGADO, 2009).

A indústria têxtil representa um dos maiores setores industriais e constitui fator de grande importância na economia brasileira, tendo o uso de água como maior componente, é associada à possibilidade de causar sérios impactos ambientais com seu uso e descargas contínuas com alta carga poluidora. A água é essencial para o processamento têxtil, desde a fiação até o beneficiamento das peças já acabadas (HASSEMER e SENS, 2002; HEWSON, 1998; HORROCKS, 1999).

Os processos e despejos gerados pela indústria têxtil variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e também de acordo com a demanda de consumo por outros tipos de tecidos e cores (HASSEMER e SENS, 2002). Os efluentes de indústrias têxteis apresentam composição diversificada, poluentes tóxicos, e contêm, geralmente, altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matéria orgânica, principalmente na forma de moléculas de corantes complexas, que são resistentes a sistemas de tratamento convencionais (SALGADO, 2009).

Este ramo industrial comumente tem dificuldade em atingir os limites impostos pela legislação para descarte final, particularmente no que diz respeito aos sólidos dissolvidos, sais iônicos, pH, Carbono Orgânico Total (COT), cor e muitas vezes metais (CHEN, 2005).

A poluição dos corpos d'água com efluentes têxteis, além de causar poluição visual, há alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. As substâncias corantes contribuem significativamente para a poluição

de recursos hídricos, por dificultarem a penetração dos raios solares, prejudicando o metabolismo fotossintético de algumas espécies; além disso, apresentam-se como recalcitrantes e potencialmente cancerígenas (HORROCKS, 1999; HASSEMER, 2002; KUNZ et al., 2002).

Segundo Zamora (2000), vários estudos têm sido realizados com o objetivo de desenvolver tecnologias capazes de minimizar a carga e a toxicidade dos efluentes industriais, com objetivo de não apenas de remover as substâncias contaminantes para disposição final, mas reutilizar essa água. O reúso de água é essencial no beneficiamento têxtil no qual o consumo médio de água pode alcançar valores de 160 m³ por tonelada de fibra, não somente para satisfazer imposições de legislações vigentes, mas também para reduzir o seu consumo e custos no processo produtivo (ZANELLA, 2010).

O maior impacto ao meio causado pelas indústrias têxteis está atrelado à alta demanda por água primária e pelas descargas de efluentes. O reúso dos efluentes representa um desafio econômico e ambiental para o setor têxtil. O reúso é uma alternativa promissora, tanto para a conservação dos recursos naturais ou suplementação do abastecimento, como para a redução dos impactos ambientais causados pelos efluentes têxteis (LU et al, 2010)

As lavanderias têxteis, que processam as peças confeccionadas, exigem uma grande demanda de água em seu processo produtivo, com descargas de efluentes variando de acordo com o processo realizado. O custo da água utilizada nos processos e o tratamento dos efluentes para o enquadramento na legislação vigente aumentam consideravelmente os custos do processamento têxtil, sendo a água avaliada como um custo para as empresas. As indústrias vêm buscando e investindo cada vez mais em maneiras de se reutilizar a água no processo produtivo com o mínimo de tratamento possível, de forma a diminuir a retirada deste recurso do meio ambiente e de se viabilizar o reúso sem afetar a qualidade do produto final ou aumentar excessivamente o custo do processo.

No Rio Grande do Norte - RN, a indústria têxtil está vinculada à geração de empregos diretos e indiretos, tendo incentivo do governo para instalação de suas atividades. No Distrito Industrial de Natal - DIN, mais de 90% das atividades

instaladas são do ramo têxtil, gerando mais de 95% dos efluentes produzidos. Por esta abordagem, é essencial a busca por alternativas que aliem a minimização dos impactos das indústrias têxteis à redução de custos da empresa para manutenção do crescimento econômico e social de forma mais sustentável.

No Rio Grande do Norte, os problemas ambientais relacionados à degradação do Rio Golandim foram justificados, como principal causa, a contribuição de efluentes têxteis do Distrito Industrial de Natal - DIN, motivo de realização do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD do Rio Golandim, resultado de uma Ação do Ministério Público Estadual - MPE.

Com a ação do MPE, as empresas passaram a realizar pré-tratamentos físico-químicos e biológicos com o objetivo de enquadramento nos parâmetros de lançamento condicionados pelo órgão ambiental do Estado, para disposição no Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos – SITEL do DIN, que opera sob responsabilidade da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN. Os efluentes após receberem um pós-tratamento no SITEL, são lançados, por meio de emissário, no estuário do Rio Potengi - corpo aquático de maior capacidade de diluição e de grande influência econômica e ambiental para o Rio Grande do Norte - RN.

As principais justificativas desta pesquisa decorrem da importância da atividade econômica para o RN e redução de custos para as empresas; redução do volume de efluente lançado ao meio; diminuição da água captada do aquífero; redução do volume e custos de efluente lançados ao SITEL; minimização dos impactos ambientais; e soluções para um caso particular, gerando parâmetros para serem aplicados em casos gerais.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a possibilidade de reúso industrial de efluentes têxteis, após passar por um pré-tratamento físico-químico, no processamento do jeans, sem a necessidade de tratamentos complementares e diluições.

Como objetivos específicos têm-se: caracterizar o efluente tratado; atender os limites de lançamento da legislação vigente; regularizar a qualidade do efluente final para lançamento e testes de reúso; caracterizar e avaliar as lavagens e processos

utilizados na lavanderia; propor metodologia para testes de reúso em lavanderia; determinar os processos passíveis de reúso em escala piloto e real.

O trabalho se divide em 5 capítulos. No primeiro, são apresentados a introdução e os objetivos do trabalho desenvolvido, bem como sua justificativa.

O capítulo 2 é formado pela fundamentação teórica, com temas relacionados à indústria têxtil, tratamento e ao reúso.

No capítulo 3, aborda-se o universo de estudo do trabalho, onde são caracterizadas as atividades que ocorrem na lavanderia têxtil em questão, e abrange os materiais e método do trabalho.

No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos e relações com o campo de estudo.

Por fim, no capítulo 5, encontram-se as considerações finais, baseadas nos resultados do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria Têxtil

As indústrias têxteis estão presentes em todas as nações do mundo seja qual for seu estágio de industrialização e acham-se incluídas em todas as atividades compreendidas entre a fabricação de fibras ou filamentos e o acabamento final de fios e tecidos. Têm por objetivo transformar a matéria prima em fios e tecidos que possam ser utilizados nos produtos a que se destinam, sem necessitar de modificações em sua estrutura básica. A indústria têxtil é considerada uma das mais antigas do mundo, os dados de maior confiança levam a crer que o Egito, com suas múmias revestidas de tecido, e a Índia, com seus famosos panos para vestimenta, constituíram o berço dessa indústria (RIBEIRO, 2009).

O Rio Grande do Norte, com sua antiga vocação a cotonicultura e história de produção no Seridó, o algodão já representou 50% de sua economia. A indústria têxtil no estado teve início com a “Fábrica de Tecidos e Algodão de Natal”, inaugurada em 1888. Juvino Barreto trouxe da Inglaterra tecnologia e as máquinas mais modernas da época. Durante a Guerra de Sucessão, o Brasil passou a ser grande exportador de algodão para os Estados Unidos e Inglaterra. O estado passou a exportar seu algodão para as fábricas da região sudeste, como também para a Europa, Estados Unidos e Japão (MEDEIROS, 2000; BERNAM, 2000).

Na década de noventa, o RN despontou como um dos principais pólos têxteis do Nordeste, em consequência da profunda reestruturação sofrida pelo setor no País. Inúmeras indústrias nacionais instalaram suas fábricas no Estado e algumas fábricas locais foram ampliadas e reativadas. Estas foram atraídas pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Industrial (PROADI), que garantiu incentivos fiscais, e pela presença de gás natural abundante e de baixo custo no Estado (INVESTIRN, 1997).

O processo têxtil de produção de tecidos pode ser dividido em fiação, tecelagem e beneficiamento.

2.1.1 Fiação

A fiação é um processo de transformação de fibras em fios, através de uma seqüência de operações. No caso das fibras naturais, principal tipo processado no Brasil, o conjunto de operações tem a função de orientar as fibras em uma mesma direção (paralelização) e torcê-las para que se prendam umas às outras por atrito. O processo de fiação é comumente constituído das etapas de abertura, limpeza, estiragem e torção. Dependendo do material algumas dessas etapas podem ser suprimidas. Pode-se dizer que as características físicas da fibra condicionam o processo geral de fiação, tendo para cada uma sua influencia particular (VIANA, 2005).

2.1.2 Tecelagem

Denomina-se tecelagem o processo pelo qual se produzem os tecidos, através do cruzamento em ângulo reto de dois sistemas de fios paralelos. Existem três tipos gerais de tecelagem: tecelagem de tecido plano, tecelagem de tecido de malha e de tecidos não tecidos (ARAÚJO E CASTRO, 1984).

Na etapa de tecelagem os fios tintos 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; FREITAS, 2002)

A tecelagem no processo de produção dos tecidos planos é obtida pelo lançamento perpendicular de duas ordens de fios: os de urdume (no sentido do comprimento) e os de trama (no sentido da largura). Antes da tecelagem propriamente dita, o processo de produção possui algumas etapas de preparação que são realizadas nas urdineiras, engomadeiras e espuladeiras sucessivamente (VIANA, 2005).

Normalmente são utilizados dois tipos básicos de goma: as gomas naturais (o amido de milho e mandioca) e sintéticas à base de poliacrilato, carboximetilcelulose, carboximetilamino e álcool polivinílico. Na engomagem, os deságües são intermitentes e se devem à lavagem dos cozinhadores de goma e dos foulards da engomadeira. Embora a goma apresente DBO elevada, a quantidade é muito

reduzida se comparada com a carga e quantidade de efluentes gerados no beneficiamento (BELTRAME, 2000; SILVA, 2004).

2.1.3 Beneficiamento

O beneficiamento pode ser segmentado em: **pré-tratamento, tinturaria, estamparia e acabamento final**, e é nesta última etapa que os tecidos são tratados para adquirirem as características de toque, impermeabilidade, estabilidade dimensionais, etc. É durante essa fase que são gerados grande parte dos efluentes têxteis (ARAÚJO e CASTRO, 1984).

O **pré-tratamento** prévio ou preparação elimina a impureza das fibras e melhora a estrutura do material para prepará-lo para as operações de tingimento, estamparia e acabamento. Este conjunto de operações tem por finalidade eliminar impurezas inerentes às fibras e as impurezas introduzidas no processamento têxtil (fiação e tecelagem), preparando para os processos subsequentes (ARAÚJO e CASTRO, 1984; BELTRAME, 2000).

As impurezas preexistentes ou adquiridas durante as etapas anteriores tais como cera, graxas e gomas são removidas e em seguida, é realizado o tingimento ou estampagem do tecido, bem como algumas operações que tem por finalidade propiciar estabilidade dimensional, aspecto estético, suavidade ou aspereza ao tato, aumento de resistência, capacidade de absorção de água, etc. (BELTRAME, 2000; VIANA, 2005).

O **tingimento** é o processo de aplicação de corantes ou pigmentos as fibras têxteis, com a finalidade de adicionar ou modificar o aspecto visual da cor, tornando o tecido adequado às exigências do consumidor (AMORIM, 1996). De acordo com Beltrame (2000), dentro das etapas de beneficiamento esta é a operação mais complexa, pois abrange um grande número de corantes e auxiliares de tingimento.

O que determina o processo é o material a ser tingido. A escolha do corante adequado ou pigmento deve atender: a afinidade com a fibra; a igualização (uniformidade de cor); solidez (resistência ao desbotamento); e economia (quantidade necessária de corante, auxiliares e tempo de realização) (BELTRAME, 2000).

Os corantes são moléculas com dois componentes principais: o cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que liga o corante à fibra. São materiais normalmente aplicados em solução e se fixam a um substrato. Preferencialmente, os corantes devem ser estáveis à luz e aos processos de lavagem. Também devem apresentar fixação uniforme com as fibras em todo o substrato. Estes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com o método pelo qual é fixado à fibra têxtil (Tabela 1) (GUARATINI e ZANONI, 1999). Os corantes azo constituem a classe mais importante de substâncias que promovem cor. A versatilidade desta classe deve-se grandemente à facilidade com que os compostos azo podem ser sintetizados e ao fato de apresentarem boas características de fixação e custo acessível (KAMMRADT, 2004).

Tabela 1. Classificação de alguns corantes segundo os processos de tingimento.

Classe de corante	Característica	Aplicação
Ácidos	Corantes aniônicos, solúveis em água;	Nylon, seda, couro, lã.
Diretos	Podem ser aplicados, em solução aquosa, diretamente sobre as fibras em banhos neutros ou alcalinos, sem tratamento preliminar. Menor perda durante aplicação, menor teor no efluente;	Lã e seda, mas também é utilizado em algodão e rayon.
Dispersos	Insolúveis em água, aplicados na forma de fina dispersão aquosa ou suspensões coloidais que formam soluções sólidas com as fibras em suspensão;	Acetato, poliéster, nylon.
Reativos	Contêm grupos reativos capazes de formar ligações com as fibras celulósicas;	Algodão, lã, celulose.
A cuba	Praticamente insolúveis em água. São aplicados na forma solúvel reduzida e então oxidados para sua forma original, insolúvel. Exemplo mais comum: índigo;	Algodão, rayon e linho.
Sulfurosos	Altamente insolúveis, aplicados após redução com sulfeto de sódio. Apresentam resíduos tóxicos. Baixo preço, boas propriedades de fixação.	Fibras celulósicas.

FONTE – Adaptado de Kammradt (2004).

Já a **estamparia**, diferentemente dos tingimentos, consiste na aplicação de um desenho colorido no material têxtil, cores ou desenhos localizados, sendo uma das mais exigentes técnicas de têxteis. Em sua maioria, repetem-se regularmente em intervalos definidos sendo que cada cor é estampada separadamente.

O **acabamento** tem como objetivo conferir aos tecidos qualidades não atingidas nos processos anteriores como o toque mais liso, resistência ao uso, impermeabilização e aplicação de anti-mofo e antibactericida. São as operações que conferem as

características essenciais de aspecto, brilho, toque, caimento, amarrotamento, resistência, etc. (BELTRAME, 2000).

Após estas etapas, o setor de confecções é o último elo da cadeia, sendo o principal destinatário da indústria têxtil. Embora esta etapa seja constituída por uma indústria distinta, a maioria das plantas têxteis a internalizam para agregar maior valor ao produto, tornando uma estrutura da cadeia produtiva têxtil-confecção. Contudo, muitas empresas terceirizam estes serviços através do sistema de facção.

O desenvolvimento das indústrias de confecções está associado às **lavanderias têxteis**, por estas serem imprescindíveis ao processo de beneficiamento das peças, e o último acabamento dado ao produto final antes de chegar ao consumidor.

2.2 Lavanderia Têxtil

Com a customização rústica feita pelos hippies nos anos 60, surgiu a necessidade da criação de lavanderias industriais para profissionalizar e melhorar processo de beneficiamento, e hoje todos os jeans passam por algum tipo de lavagem.

Na tentativa de modificar peças confeccionadas, e transforma-las em um jeans diferenciado, as lavanderias vêm agregar valor através da lavagem, que pode transformar o aspecto do denim, e consiste em um dos principais processos de beneficiamento pelo qual o jeans passa durante a produção. Das mais simples, para apenas amaciar e desengomar, às mais sofisticadas e modernas técnicas, físicas e químicas, sendo muitas realizadas manualmente, as lavanderias desempenham um papel importantíssimo na finalização do produto que chega às mãos do cliente.

Os princípios básicos relativos aos processos de beneficiamento são similares aos processos realizados em fios e tecidos. Entretanto, alguns processos são exclusivos de peças confeccionadas e a cada dia surge a necessidade de novos processos para obtenção de diferentes acabamentos. Como este estudo objetiva avaliar a possibilidade de reuso em peças jeans, será dada ênfase a processos realizados em denim.

Denim é um tecido pesado de algodão cru ou com fios de urdume, tintos em índigo e com fios de trama brancos, muito usado para calças jeans. Jeans é o nome dado a

um estilo de confecção, caracterizado por estrutura reforçada que evidencia rebites e costuras duplas (SANTOS, 2006).

A lavagem em jeans consiste num acabamento estético do tecido para melhorar sua aparência e dar força, com o objetivo de criar peças de aspecto mais natural e único/original. Há dois grupos de processos envolvidos na lavagem do denim: processos seco - e processos molhados ou por esgotamento (NAJAM, 2009). Estes processos também podem ser classificados em dois grupos: efeitos de desbotamento/envelhecimento, e tingimento (SENAI/CETIQT, 1996).

No desbotamento uniforme as peças são primeiramente desengomadas por um método adequado e, em seguida, é realizado o desmonte do corante, geralmente por um banho contendo hipoclorito de sódio, ou permanganato de potássio caso o material seja tinto com índigo. Os efeitos de desbotamento com a obtenção de padrões ou desenhos são conseguidos através do atrito ou da combinação deste com certos produtos que destroem o corante na superfície do tecido.

Originalmente tinto com índigo (blue jeans ou denim), a popularidade desse artigo relaciona-se ao aspecto de envelhecimento ocasionado pelo desbotamento gradativo, devido a lavagens sucessivas a que a peça é submetida, que deu origem a diversos processos de envelhecimento precoce efetuados em lavanderias industriais. Os fabricantes de jeans, confeccionistas e lavanderias industriais vêm, ao longo do tempo, criando motivações na manutenção deste artigo, através variações na sua apresentação (SENAI/CETIQT, 1996).

O primeiro processo surgido e ainda é utilizado em lavanderias é denominado Stone Wash (lavagem com pedra) ou estonagem. Este processo de envelhecimento emprega processos de tintura nos quais os corantes são fixados nas fibras de forma superficial para facilitar a remoção posterior.

À medida que a demanda por novos modelos surge, outros processos são criados para satisfazer a necessidade do mercado. O tingimento de tecidos de peças confeccionadas é um procedimento que já era adotado por pequenas tinturarias e vem sendo utilizado em grande escala pelos confeccionistas, com a finalidade de solucionar problemas como perdas devido a atrasos, pelo alto custo dos tecidos

tingidos, pela maior flexibilidade na obtenção de tonalidades e simplicidade no maquinário.

As lavanderias industriais trabalham a superfície do material, criando diversidade de efeitos de tonalidades e toques através de processos, dessa forma, é possível obter efeitos diferenciados em tecidos denim, com solidez, além de diferenças na coloração e toque a partir de um mesmo tipo de jeans. Estes procedimentos permitem também produzir em larga escala um determinado tipo de denim, e a partir das variações de tendências da moda e pedidos do cliente, o beneficiamento através de lavagens pode alterar seu aspecto, permitindo a variação desejada (Figura 1).



Figura 1. Beneficiamento em lavanderia de peças confeccionadas.

As variações podem ser significativamente perceptíveis, com uma variação de tonalidade expressiva, passando de um denim claro a um *black denim*, ou apenas com pequenas variações de nuances, obtidas através de variações nos processos das lavagens (Figura 2). Nuance pode ser entendido como cada uma das diferentes gradações que pode ter uma cor entre o seu claro e o escuro, o que na indústria têxtil é um fator determinante na aprovação das peças pelo controle de qualidade interno e do contratante. As variações de nuances podem diferenciar receitas, caracterizando lavagens distintas, ou apenas pequenas variações obtidas entre diferentes “lotes” de tecidos ou lavagens.

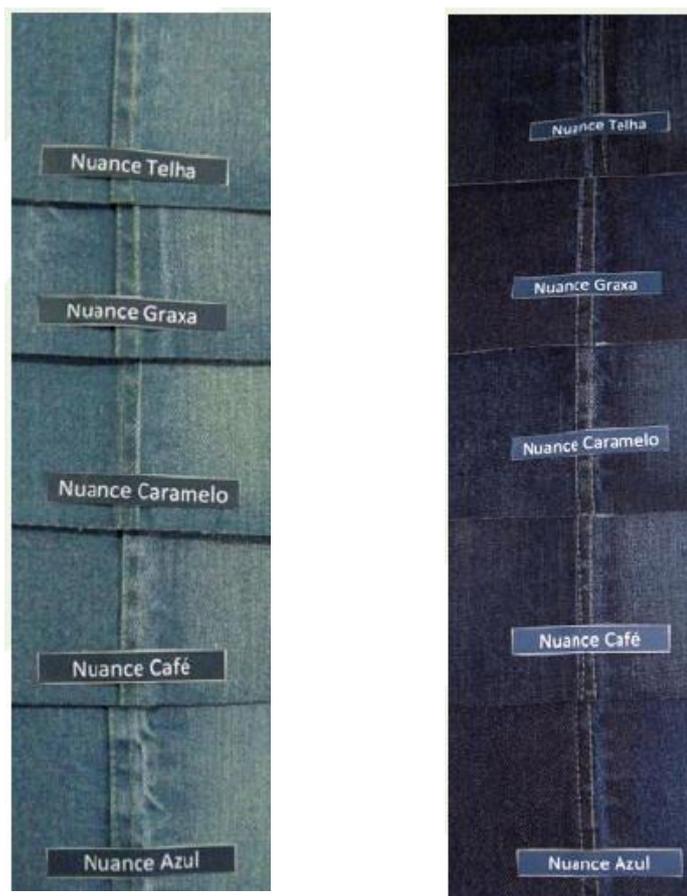


Figura 2. Variação de nuances obtidas em processos da lavanderia.

Os fios de urdume são tingidos e os lotes de produção usualmente sofrem pequenas alterações nas nuances, o que não compromete a qualidade do material, ou sua venda. Os compradores de denim mais exigentes aceitam até três dessas variações em um mesmo pedido, desde que especificados. O mesmo ocorre para peças beneficiadas, onde jeans fabricados em nuances distintas não podem ser processadas na mesma máquina, e após beneficiamento as lavagens devem apresentar no máximo três nuances, separadas pelo gradeamento do pedido.

O processo das lavanderias, ou tinturarias industriais se inicia com o recebimento das roupas já confeccionadas e encerra na entrega aos contratantes das peças lavadas e com características modificadas dos tecidos através dos tratamentos químicos e físicos recebidos.

Nos processos por esgotamento normalmente são utilizadas máquinas do tipo tambor horizontal ou vertical, onde o denim é imerso em um banho de produtos, e estes agem na fibra do tecido alterando suas características iniciais. Nestes processos as roupas passam repetidas vezes pelas máquinas de lavar sendo adicionados os produtos químicos necessários para cada uma delas. A água utilizada usualmente é descartada, não sendo reaproveitada nas fases seguintes. Este efluente na maioria dos casos possui cor fortemente colorida, e elevada turbidez.

A ampla demanda pela diferenciação de peças contribuiu para o desenvolvimento de diversos processos e lavagens que interagem e produzem os mais distintos resultados. Atualmente devido à baixa padronização da nomenclatura utilizada pelas lavanderias, as empresas podem apresentar nomes variados para processos similares.

Nos processos responsáveis pelas alterações do jeans vários são os produtos auxiliares empregados nas lavanderias durante o processo de acabamento, que definem as características do efluente gerado, dentre os quais se destacam: sais, bases, ácidos, sequestrantes, igualizantes, “carriers”, dispersantes, surfactantes, agentes oxidantes, agentes redutores, umectantes, retardantes, detergentes, antiespumantes, amaciantes, antimigrantes, alvejantes, detergentes, dentre outros (Quadro 1) (PERES e ABRAHÃO, 1998; BELTRAME, 2000; FREITAS, 2002; HORROCKS, 1999; HASSEMER, 2002; SANTOS, 2006).

Quadro 1. Produtos auxiliares usados nas lavanderias industriais.

Carriers	A sua formulação é baseada em substancias não tensoativas, porém contém tensoativos em sua fórmula para torná-la solúvel em água. Os carriers com o mesmo principio ativo, diferem um dos outros devido a quantidade da substância ativa empregada e por diferentes tensoativos utilizados. Por sua vez podem agir de forma satisfatória na igualização da fibra.
Igualizantes	São produtos específicos para determinadas fibras e corantes. Para saber qual o igualizante ideal é necessário saber o tipo da fibra a ser tingida e o corante escolhido. Sua função é melhorar o tingimento das peças, para que fique uniforme. Existem três tipos de ação dos igualizantes: (a) afinidade com a fibra; (b) afinidade com o corante e (c) sem afinidade com corante ou fibra, agindo na alteração da tensão superficial.
Retardantes	Os retardantes possuem os mesmos mecanismos de ação dos igualizantes, sendo os retardantes utilizados no tingimento de fibras acrílicas. Sua função é a mesma do igualizante, apenas é específico para fibras acrílicas.
Dispersantes	Os dispersantes ou colóides protetores têm como principal característica, proteger a dispersão. No caso de tingimento com corante disperso, este tensoativo é atraído e adsorvido pela partícula do corante.
Umectantes	Sua função principal é emulgar o ar, presente no tecido em água. Especificamente é substituir as superfícies de contato ar/tecido por uma superfície de contato água tecido.
Detergentes	São tensoativos que possuem poder de limpeza e/ou são bons emulgadores que servem para remover a sujeira dos tecidos e impedir que a mesma possa aderir novamente à fibra.
Antiespumante	Podem ser à base de tensoativos com baixo HLB (hydrophilic/lipophilic balance) ou de polímeros de silicone não solúveis em água. A espuma é uma emulsão de água e ar. Tal emulsão permanece estável devido aos tensoativos utilizados como igualizantes, dispersantes entre outros. Os antiespumante agem na estrutura da espuma fazendo a mesma perder elasticidade, rompendo-se. Os processos têxteis geram muita espuma, uma vez que muitos surfactantes são usados nos banhos. O aumento da velocidade das máquinas gerou um maior controle de formação de espuma. Antiespumantes podem ser adicionados ao banho em pequenas dosagens para manter uma altura aceitável de espuma. Essa correção de espuma é chamada de desespumação externa ou desespumação do processo. Em algumas formulações o antiespumante é introduzido na receita para manter uma altura aceitável de espuma como nos sistemas de enxágue.
Amaciantes	Podem ter como base tensoativos aniônicos, catiônico, não iônicos e determinados óleos naturais ou polímeros de silicone. A sensação de maciez e volume é dada pela parte hidrófoba da base amaciante.

Fonte. Adaptado de Santos (2006).

2.3 Efluente Têxtil

Os efluentes líquidos produzidos pela atividade têxtil se caracterizam por apresentar flutuações em vários parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH, cor, sanilina e temperatura, e sua composição química depende dos diferentes compostos orgânicos utilizados, químicas e corantes utilizados nos processos têxteis (DOS SANTOS, 2005).

Segundo Salgado (2009), os efluentes gerados na maioria das vezes apresentam composição diversificada, frequentemente contendo poluentes tóxicos e resistentes

aos sistemas convencionais de tratamento como coagulação/floculação, adsorção com carvão ativado, precipitação, degradação biológica, entre outros.

Zamora (2010) afirma que os efluentes apresentam elevada carga orgânica, alta concentração de sais, e forte coloração associada à presença de corantes residuais. Em geral, estima-se que 15 a 50% da carga de corantes pode ser perdida nas etapas de tingimento e lavagem, sendo uma parcela importante se mostra recalcitrante frente a processos biológicos convencionais, mesmo utilizando-se rotinas anaeróbias-aeróbias sequenciais.

Algumas classes de corantes utilizados nas operações de tingimento, como a dos corantes reativos, cerca de 50% dos corantes aplicados são descartados nas águas residuárias (MELO, 2005), aumentando a concentração de DQO e cor nos descartes. Adicionalmente, produtos químicos adicionados no processamento como amido, álcool polivinílico (PVA), surfactantes, seqüestranes, amaciantes, provenientes das outras etapas do processo industrial também contribuem para as variações de DQO e Demanda Bioquímica de Oxigênio DBO e DBO (USEPA, 1996).

Corantes são fabricados para resistirem ao tempo e exposição à luz, água e sabão, além de que geralmente são adicionados agentes bactericidas e fungicidas, para tornar as fibras mais resistentes à degradação biológica. Conseqüentemente, a água residuária têxtil possui baixa relação DBO/DQO devido principalmente à natureza pouco biodegradável dos corantes, que prejudicam o tratamento biológico destes efluentes (KUNZ et al., 2002).

Devido às deficiências apresentadas por sistemas convencionais, usualmente representado por processo biológicos e de coagulação química, por possuírem grandes quantidades de compostos orgânicos, muito deles recalcitrantes e de complexa estrutura, novas alternativas no tratamento destes efluentes têm sido propostas. Dentro do contexto do reúso destaca-se a associação de processos biológicos com processos de ultra e nanofiltração, processos de oxidação eletroquímica, bem como processos físico-químicos, biológicos e de adsorção por carvão ativado (ZAMORA, 2010; LENHARD, 2010).

2.3.1 Tratamento

Vários são os métodos para tratamento de efluentes, podendo ser classificados principalmente em físicos, químicos e biológicos, bem como a combinação destas técnicas. A combinação destes para tratamento de um dado efluente depende dos objetivos que se quer atingir no tratamento (CHEN *et al*, 2005).

Em função das deficiências apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento, usualmente representados por processos biológicos e de coagulação química, novas alternativas de tratamento têm sido regularmente propostas (ZANELA, 2010).

Os grandes inconvenientes dos processos físico-químicos são a alta produção de lodo e a necessidade de grandes áreas para implantação do processo de tratamento e aterros sanitários industriais para disposição do resíduo sólido, por isto, há uma preferência pela utilização de processos que possam degradar as espécies de interesse (HASSEMER & SENS, 2002; KUNZ *et al.*, 2002).

Devido às deficiências apresentadas por sistemas convencionais de tratamento, que são usualmente representados processos biológicos e de coagulação química, a combinação de métodos mostra-se mais adequada para o tratamento de efluentes têxteis, devido à presença de corantes que normalmente são resistentes a degradação nos sistemas convencionais de tratamento. Tem apresentado maior ênfase, no contexto do reúso de efluentes têxteis, o desenvolvimento de metodologias com associação de processos biológicos a outras alternativas físicas ou físico-químicas, tais como floculação, adsorção ou oxidação eletroquímica (KUNZ *et al.*, 2002; ZANELLA, 2010).

2.3.1.1 Biológicos

Por constituírem uma alternativa de baixo custo, vários estudos de remoção de cor de efluentes têxteis, através de processos biológicos, têm sido realizados (BRAUNA, 2009). Processos não destrutivos geram um volume de resíduos significativos, sendo a disposição final ou tratamento um problema sem solução, sendo importante o emprego de processos destrutivos. Dentro deste contexto, cabe aos processos biológicos um lugar de destaque, principalmente em função da relativa facilidade

encontrada na implementação de sistemas que operem em grande escala (KUNZ et al., 2002).

A biodegradação tem se mostrado um método de ser bastante promissor no tratamento de efluentes têxteis, entretanto não se mostra eficaz para os corantes sintéticos, que por sua vez são em sua maioria xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de microorganismos em rios e lagos não contêm enzimas específicas para degradação deste tipo de composto sob condições aeróbicas e sob condições anaeróbicas a degradação do corante se processa muito lentamente. Por outro lado, a possibilidade do desenvolvimento de culturas de microorganismos mostra a capacidade de mineralização de alguns tipos de corantes selecionados (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Segundo Beltrame (2000), o processo biológico mais utilizado nas indústrias têxteis é de **lodos ativados**, que consiste na agitação dos efluentes na presença de microorganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular grande parte da matéria orgânica. A combinação de sistemas biológicos anaeróbios-aeróbios também é favorável, pois admite a efetiva descoloração do efluente principalmente quando azocorantes estiverem presentes neste efluente. A utilização de fungos, principalmente os de decomposição branca, em combinação com métodos biológicos e químicos também têm sido testados e se mostrado bastante eficientes na descoloração de efluentes e corantes têxteis (KUNZ et al., 2002).

2.3.1.2 Não Biológicos

Físico-químicos

Agentes coagulantes como sais férricos ou policloreto de alumínio são usados para formar flocos, que são separados por filtração ou sedimentação. Polieletrólitos podem ser usados para auxiliar a floculação e melhorar a estabilidade dos flocos (DOS SANTOS, 2005). Os métodos físico-químicos permitem reduzir os sólidos dissolvidos, suspensos, coloides, matéria orgânica, como também cor dos efluentes têxteis. Dependendo das características do efluente, COT pode ser reduzido de 50 a 70% depois da otimização das características dos efluentes têxteis (BARREDO-DAMAS, 2005).

A **coagulação-floculação** é um dos métodos mais utilizados no tratamento de efluentes têxteis em muitos países, podendo ser usado como pré ou pós tratamento, ou até mesmo como único tratamento. Entretanto apresentam baixa remoção de cor para alguns corante e demandam grandes concentrações de produtos químicos (DOS SANTOS, 2005), e produção de resíduos (lodo) que precisam de tratamento posterior, que muitas vezes não permitem reaproveitamento, ou destinação final adequada.

Segundo Kunz et al. (2002), os sistemas físico-químicos de coagulação-precipitação, em sua maioria, são seguidos de um sistema lodos ativados, que apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes. O tipo de corante a ser removido, composição, concentração e fluxo de produção do efluente determinam o resultado, todavia a alta eficiência desta técnica normalmente esta relacionada ao excesso de utilização de polieletrólito ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, amônia, etc.), que por sua vez irá acrescentar um resíduo potencial no efluente (GUARATINI & ZANONI, 1999).

Métodos Físicos

O reúso da água no processo industrial surge como atrativo para o uso de alguns métodos físicos. A possibilidade de retorno da água ao processo produtivo intensifica o uso de processos como osmose reversa, microfiltração, nanofiltração e ultrafiltração, entretanto as desvantagens do sistema são os altos custos de investimentos (KUNZ *et al.*, 2002). Na indústria têxtil métodos como ultrafiltração, osmose-reversa e nanofiltração têm sido utilizadas para reúso de água e recuperação de produtos. Reúso de água dos banhos de tingimento tem tido sucesso através da osmose-reversa, entretanto uma coagulação e microfiltração são necessárias como pré-tratamento para evitar incrustações (DOS SANTOS, 2005).

As técnicas de **adsorção** baseiam-se na remoção do corante através da passagem da amostra em carvão ativo, sílica, gel, bauxita, resinas de troca-iônica, derivados de celulose, entre outros. Este método apresenta-se lento, não econômico, porém efetivo para volumes de pequena escala (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Adsorção por carvão ativado é a técnica mais utilizada na indústria têxtil por ser efetivo com muitos corantes, contudo, apresenta altos custos e uma capacidade específica para cada corante. Novas alternativas têm sido testadas com o objetivo de desenvolver técnicas de adsorção mais eficientes, com zeólitas e resinas de polímeros, entretanto, apesar da alta capacidade de troca iônica, a regeneração desses materiais pode ser muitas vezes difícil (DOS SANTOS, 2005)

Os processos de adsorção em carvão ativado apresentam uma eficiência significativamente maior, contudo em função da superfície química do carvão ser positiva, a adsorção de corantes de caráter catiônico é uma limitação bastante importante. A utilização de processos combinados para uma melhor eficiência do sistema tem sido cada vez mais aplicada, sendo utilizados de maneira complementar, de tal forma que possam suprir as deficiências dos processos quando aplicados isoladamente (KUNZ *et al.*, 2002).

Métodos químicos

Os métodos oxidativos químicos utilizam principalmente na reação agentes como cloro (Cl), permanganato (MnO_4), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ozônio (O_3) (MATSUI *et al.*, 1984; GUARATINI E ZANONI, 2000), para mudar a composição química de um composto ou um grupo de compostos (DOS SANTOS, 2005).

O **ozônio** é o mais utilizado e obtêm-se resultados mais satisfatórios, por este não produzir íons inorgânicos e porque o cloro não se mostra eficiente para certos tipos de corantes (corantes dispersos e diretos) (KUNZ *et al.*, 2002). Num primeiro momento a ozonização é empregada principalmente para quebrar as moléculas de corantes, e depois para descoloração. O pré-tratamento com ozônio é um método promissor de oxidação dos corantes transformando-os em degradáveis. A ozonização, no final do tratamento, está cada vez sendo mais utilizada para a eliminação da cor e de outras substâncias persistentes (HASSEMER e SENS, 2002).

A ozonização é uma técnica que tem sido sugerida como uma alternativa potencial para descoloração. Oferece eficiência satisfatória, lançando um efluente com pouca cor, baixa DQO e adequado para ser lançado a meio ambiente ou retornar ao

processo. Além disso, o fato do sistema não gerar resíduos sólidos, e ser de fácil instalação e manutenção torna sua aplicação atrativa. Apesar de serem razoavelmente rápidas, estas técnicas apresentam do alto custo, e a possibilidade aumento da toxicidade por intermediários de reação (ALMEIDA, 2004; HASSEMER e SENS, 2002; GUARATINI e ZANONI, 2000).

De acordo com Salgado (2009) a necessidade de tecnologias eficientes e de baixo custo para tratamento de efluentes com corantes constitui uma necessidade. Os **Processos Oxidativos Avançados** (POAs) são considerados uma tecnologia capaz de reduzir estes problemas ambientais, pois destacam-se por efetivamente eliminar (mineralizar) os componentes tóxicos e danosos através de processos oxidativos em que radicais hidroxila altamente reativos atuam como oxidantes principais, e segundo Dos Santos (2005), superam a baixa eficiência na remoção de cor e COT alcançadas pelos processos de oxidação convencionais. Al-Kdasi (2005), afirma que, estes representam um tratamento poderoso no tratamento de poluentes refratários e tóxicos presentes nos efluentes têxteis.

Os POAs apresentam maior potencial de tratamento em relação aos métodos oxidativos convencionais, devido a maior remoção de cor e DQO dos efluentes têxteis. Agentes oxidativos como O_3 e H_2O_2 são usados com catalizadores (Fe, Mn, TiO_2) na presença ou ausência de uma fonte de irradiação. Por conseguinte há a uma formação de radicais hidroxila (OH^\cdot), agente altamente oxidante (DOS SANTOS, 2005).

Entre os principais POAs destacam-se os processos: **Fenton** (Fe^{2+}/H_2O_2), de **ozonização** (O_3), com radiação UV/ H_2O_2 , e, a **fotocatálise heterogênea** usando TiO_2 anatase e ZnO como óxidos ativos (SALGADO, 2009),

Os tratamentos por reação de **Fenton** apresentam alta remoção de DQO e cor, e apresenta custos inferiores aos processos com ozônio, entretanto apresentam alta produção de lodo, e necessidade de acidificar o pH. Uma pré-ozonização dos efluentes antes da reação Fenton acelera consideravelmente as taxas de remoção de cor e diminuem a geração de lodo (DOS SANTOS, 2005), e tem se mostrado importante como etapa primária na degradação de alguns corantes (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Embora a elevada eficiência da **fotocatálise heterogênea** permita uma rápida mineralização de inúmeras espécies químicas de relevância ambiental, existem vários inconvenientes que dificultam sua consolidação como alternativa de tratamento em grande escala. Dentre as mais importantes limitações encontram-se: a necessidade de fontes artificiais de radiação; as dificuldades na penetração da radiação no meio de reação e dificuldades na separação dos fotocatalisadores, uma vez que estes são utilizados na forma de finas suspensões; e as dificuldades na implementação de sistemas contínuos em grande escala (KUNZ *et al.*, 2002).

Processos de Oxidação com **UV/ H₂O₂** são os mais usados para tratamento de efluentes com compostos perigosos e refratários, principalmente devido à ausência de lodo gerado, remoção de cor e alta remoção de COT com baixo tempo de detenção. Diferentes combinações de como ozônio/TiO₂, Ozônio/ TiO₂/H₂O₂ e TiO₂/H₂O₂ tem sido analisadas, mas são extremamente influenciadas pelo tipo do corante, concentrações e pH. A utilização de tecnologias solares ao invés de métodos baseados em UV tem se destacado recentemente (DOS SANTOS, 2005).

Processos físicos utilizando-se tecnologias de membranas combinadas principalmente com ozônio também tem recebido especial atenção devido à possibilidade de reúso da água. Os corantes encontrados nos efluente são de difícil degradação por processos convencionais, o que demanda maiores investimentos no tratamento, e torna ainda mais importante o reúso deste efluente, ao invés de seu descarte, devido aos altos custos dos produtos químicos, energia e do crescente custo da água (CHEN *et al*, 2005).

2.4 Reúso de Água

Com a intensificação de problemas relacionados à escassez e a poluição da água, principalmente nos grandes centros urbanos, a problemática da água passa a ser de interesse não somente dos órgãos fiscalizadores, mas também do setor industrial. A busca pela redução de custos e o arcabouço legal cada vez mais restritivo são motivadores para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos (HESPANHOL & GONÇALVEZ, 2004).

Estas questões têm incentivado as indústrias à busca por diferentes padrões de gerenciamento da água em seus processos, considerando a autonomia no abastecimento de água e racionalização do consumo, onde o reúso se torna essencial para a permanência da empresa no mercado. Os instrumentos de gestão aliados as alternativas tecnológicas para reciclagem e reúso de efluentes industriais pode reduzir os custos de produção e promover a recuperação, preservação e conservação dos recursos naturais (HESPANHOL, 2006).

Segundo a Constituição Federal - CF, no Brasil, a água é considerada um bem da União ou dos estados, e o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades (BRASIL, 1988). A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433 de 1997, criada com base na Constituição de 1988, define que a água como é um bem de domínio público, dotado de valor econômico e estabelece diretrizes para seu melhor aproveitamento. Nesta lei, são definidos os instrumentos para gestão dos recursos hídricos, como a outorga pelo direito de uso da água, seja pelo consumo ou lançamento, e a cobrança correspondente, que tem como um dos objetivos incentivar a sua racionalização, que pode contemplar medidas de redução do consumo por meio de melhorias no processo e pela prática de reúso (Lei 9.433 de 1997).

Seguindo para as normatizações brasileiras, a NBR – 13.696 de setembro de 1997, primeira regulamentação que tratou de reúso no Brasil, aborda o reúso como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), publicou a Resolução 54, que estabelece os critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. A prática de conservação e reúso de água consiste basicamente na gestão da demanda, ou seja, na utilização de fontes alternativas de água e na redução dos volumes de água captados por meio da otimização do uso.

A Agência Nacional das Águas – ANA vem sistematicamente adotando a outorga e cobrança pelo uso da água, assim, a indústria passa a ter um custo adicional tanto para a captação, quanto para lançamento de seus efluentes, o que onera o processo industrial.

De tal modo, as legislações vigentes, sejam nacionais ou internacionais demandam um maior gerenciamento e conseqüentemente maior custo nos processos produtivos do setor industrial. Nesse contexto, o reúso passa de apenas um instrumento de controle ambiental atrelado às exigências normativas e de uma opção de sustentabilidade para empresas que pretendem atender determinações do mercado interno e externo para enfrentar a competitividade, para a redução de custos, já que a água passa a ser visto como matéria prima, pelos gastos para a obtenção do uso, tratamento e lançamento de seus efluentes.

No reúso industrial, a informação sobre o nível mínimo de qualidade para o uso específico é um fator primordial, entretanto este nível nem sempre está disponível, sendo necessário um estudo detalhado do processo industrial para a caracterização da qualidade da água. O sistema de tratamento, seja qual for o método utilizado, precisa produzir água com a qualidade determinada.

Segundo Hespanhol (2006) existem duas alternativas de reúso que são consideradas na indústria: o reúso macro externo, que utiliza efluentes de concessionárias ou de outra empresa, e a de reúso macro interno, caracterizada pelo uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes das atividades da própria indústria. Nesta pesquisa será aplicado o sistema de reúso macro interno com efluentes tratados, gerados localmente, para obtenção da qualidade necessária aos usos da indústria.

A qualidade da água requerida para o uso têxtil varia de acordo com a aplicação do efluente. Para cada processo há exigências distintas de parâmetros a serem atendidos, como forma de minimizar os riscos a sua aplicação.

Os principais problemas causados aos processos têxteis pelo não enquadramento de alguns parâmetros estão relacionados a manchas, colorações não uniformes e prejuízos ao brilho. Em sua maioria estão relacionados aos ácidos húmicos da matéria orgânica, a precipitação dos carbonatos de cálcio e magnésio através da alta alcalinidade, variação do pH além da neutralidade, e a alta concentração de cor, turbidez e ferro (ARAÚJO e CASTRO, 1984; USEPA, 2004; DWAF, 2006; LIN e CHEN, 1997; BRIK et al, 2006; GOZÁLVEZ-ZAFRILLA et al, 2008; OLIVEIRA e GALVÃO, 2006) apud (RIBEIRO, 2009). Segundo levantamento bibliográfico

realizado por Ribeiro (2009), a compilação de dados sobre requisitos da água para aplicação na indústria têxtil apresenta indicativos para uso na indústria têxtil conforme expõe a Tabela 2:

Tabela 2. Parâmetros indicativos para uso de água na indústria têxtil.

Parâmetros	Lavagem		Tingimento			Geral							
					30				x	10		30	20
DQO									x	10		30	20
pH		3,0-10,5		3,5-10				5-9					
Alcalinidade					x	100			x	50			
Dureza	25	25	25	25	x	50	70	x	x	10	x		
Condutividade										0,1		1,8	0,5
SDT	100	100	100	100		200	500			50			
SST	5	5	5	5				0	x	0			
Turbidez						25				1	x		
Nitrato							0,5				x		
Nitrito								x			x		
Cloreto							250	x					
Sulfato							250						
Ferro	0,1	0,1	0,1	0,1		0,2	0,3	x		0,1	x		
Manganês	0,01	0,01	0,01	0,01		0,1	0,2	x	x		x		
Cobre						0,01	0,01						
Cor	5	5	5	5	0	50				0	x	1,0*	
Referências	(a)	(b)	(a)	(b)	(c)	(d1)	(d2)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2009).

Notas: Limites expressos em mg/L, exceto para pH (unidades), condutividade (mS/cm), turbidez (UNT) e cor (uH). X – Parâmetros de relevância para a qualidade da água utilizada no processo industrial têxtil, sem especificação de limites. * SAC - spectral absorption coefficient (m-1), a 426 nm.

Referências : ((a)- WPCF, 1989; (b)- NEMEROW & DASGUPTA, 1991; (c)- MALPEI et al, 1997; (d)- USEPA, 1974; (e)- ARAÚJO & CASTRO, 1984; (f)- DWAF, 1996; (g)- LIN & CHEN, 1997a; (h)- USEPA, 2004; (i)- BRIK et al, 2006; (j)- GOZÁLVEZ-ZAFRILLA et al, 2008) *apud* RIBEIRO, 2009.

A qualidade da água requerida para processos pode variar significativamente em função da aplicação. Em muitos casos o uso exige um maior número de variáveis a ser atendida para a minimização dos riscos a qualidade dos processos e do produto final. As referências em literatura da qualidade da água a ser utilizada em processos têxteis possuem limites de tolerância e restrições que diferem entre si. Os parâmetros considerados relevantes a qualidade requerida devem ser avaliados criteriosamente, e os limites expostos em literatura devem ser ponderados, entretanto estes limites são essenciais para estudos iniciais.

Em estudos realizados por Freitas (2002), para o reúso dos efluentes de forma direta, houve algumas restrições e, de forma indireta, o reúso dependerá de tratamentos prévios, utilizando-se processos adsortivos e de separação por membranas, que em muitos casos são de difícil viabilidade econômica. Concluiu-se que há a possibilidade de reúso de forma direta de aproximadamente 37,17% e indireta de 61,05%, para os efluentes selecionados nas tonalidades de cores estudadas.

Segundo os estudos efetuados por Kammradt (2004) com efluentes têxteis, permitem concluir que o processo oxidativo UV/H₂O₂ é eficaz na redução de coloração para reúso conforme literatura pesquisada, porém mostram que o processo não deverá ser utilizado isoladamente, como única etapa de tratamento, já que não atingiu níveis suficientemente baixos para demais parâmetros para lançamento ou para reúso seguindo todos os critérios da pesquisa.

Conforme Twardokus (2004), para testes em tingimento na indústria têxtil em cores claras e médias, todas as opções de reúso das águas apresentaram bons resultados, mas observa-se que nas águas dos banhos de tingimento ocorre uma queda na intensidade da cor e um aumento no valor da variação da tonalidade do substrato têxtil, mas os resultados das 126 análises espectrofotométricas não levam à rejeição das amostras tingidas com a água de reúso. Já na cor escura observou-se que devido um teor maior de sólidos totais e absorbância as correntes de efluentes provenientes do banho de tingimento foram rejeitas ou ficaram no limite de tolerância estabelecido na pesquisa.

Na pesquisa realizada por Zanella (2010), com a associação de processos redutivos (mediados por ferro metálico) e oxidativos avançados (Foto-Fenton), em testes de reúso de efluentes de tingimento de fibras de algodão, o reúso das águas tratadas em novos processos de tingimento permitiu a obtenção de tecidos que atendem a praticamente todas as exigências da indústria, com exceção de padrões de cor internacionais para exportação.

Devido a grande variação de processos aplicados na indústria têxtil, a literatura apresenta restrições que variam entre si, e dificultam sua aplicação testes que definam os parâmetros demandados para cada uso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o melhor entedimento da metodologia aplicada, esta será explicitada em duas Fases que serão apresentadas conforme a seguinte estrutura:

- Fase I – Estudos Preliminares
 - Caracterização da área de pesquisa;
 - Caracterização dos efluentes;
 - Monitoramento e operação da ETE.
- Fase II – Reúso em lavanderias
 - Testes piloto;
 - Testes em escala real.

3.1 Fase I – Estudos preliminares

3.1.1 Caracterização da área de pesquisa

A Capricórnio S/A situada em São Gonçalo do Amarante - RN atua na área de confecção e beneficiamento de peças confeccionadas (Lavanderia). A empresa selecionada para o estudo é considerada de médio porte e situa-se no Distrito Industrial de Natal (DIN). A escolha é justificada pela disponibilidade da empresa em contribuir com a pesquisa e com o projeto de reúso pretendido.

A indústria em questão opera continuamente em três turnos durante 24 horas diárias, com pausas apenas aos domingos, feriados e por um período de recesso de 15 dias entre os meses de dezembro e janeiro. A empresa apresenta um consumo mensal de água variando de 5 a 7 mil m³, possuindo como fonte principal de provisão, a água subterrânea, extraída de um poço tubular. Esta mesma fonte é empregada também para abastecer os setores de limpeza, refeitório, caldeira, irrigação e vestiário.

O fluxo produtivo desta empresa interage com a matriz e duas filiais situadas no estado de São Paulo por produzir amostras de peças expostas aos clientes na Matriz São Paulo, e receber matéria prima das filiais São Carlos e Bragança Paulista para confecção e beneficiamento. O fluxograma demonstrado através da Figura 3, apresenta de forma simplificada do fluxo produtivo da filial Natal.

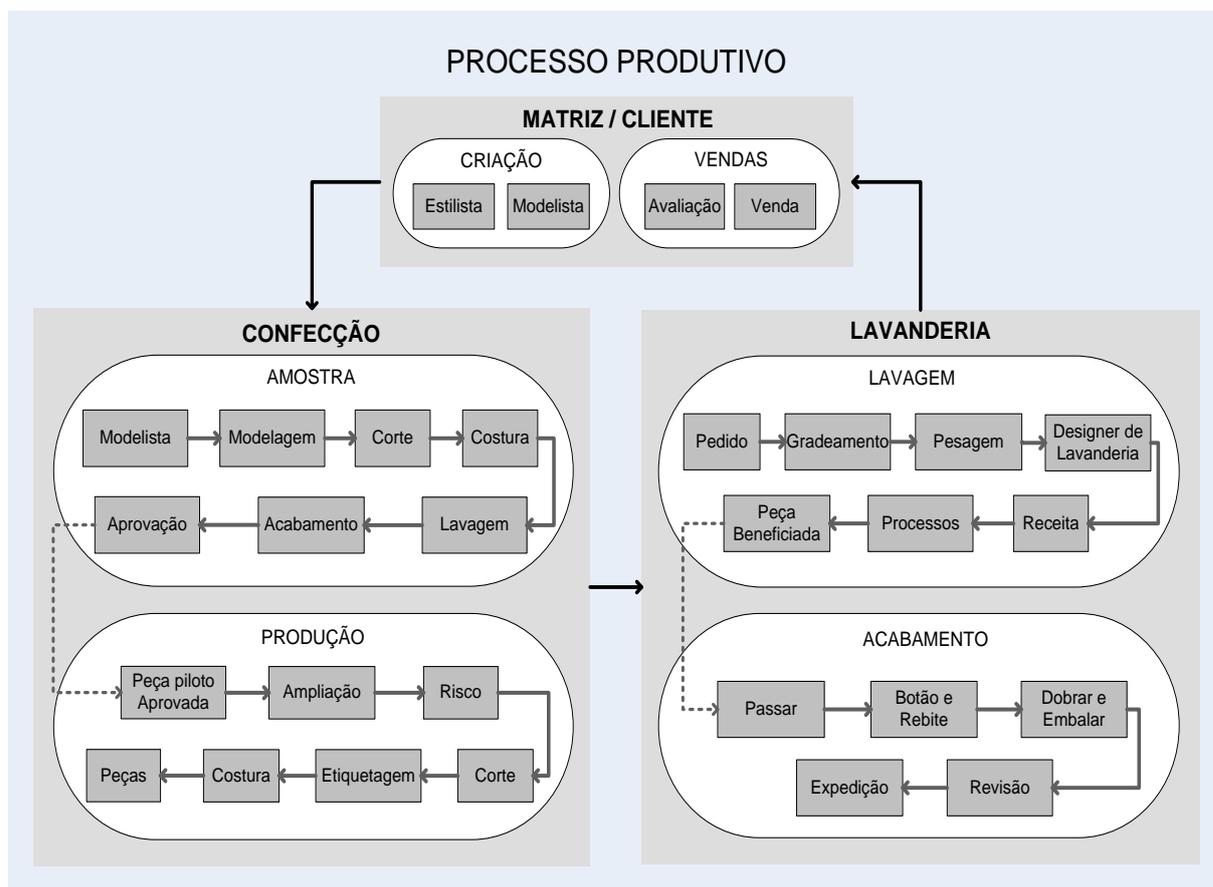


Figura 3. Organograma simplificado do processo produtivo da Capricórnio S/A

Para a produção das peças expostas aos clientes, o setor de criação desenvolve os modelos e encaminha para o setor de amostra, responsável pela confecção das peças modelo, que em seguida repassa a lavanderia para o desenvolvimento da lavagem. A lavagem é desenvolvida através de sequências de processos que determinam a receita. Esta é elaborada pelos técnicos têxteis e utilizada para a produção em larga escala após aprovação das peças modelos.

As peças modelos apresentadas aos clientes eram elaboradas na confecção de amostras da Capricórnio filial Natal (Figura 4), e beneficiadas em máquinas em escala piloto (Figura 5), que reproduziam as lavagens em menor escala.



Figura 4. Confeção de amostras.



Figura 5. Máquina de amostra de lavagem.

Quando aprovados pelos clientes, as amostras eram produzidas em escala industrial, iniciando pelo corte das peças na própria filial, e na sequência encaminhadas para confecções terceirizadas (Figura 6). Depois de confeccionadas as peças retornavam a empresa, e eram conduzidas a lavanderia, onde eram pesadas e dirigidas para os processos de beneficiamento (Figura 7). Após a lavanderia, as peças eram submetidas a um controle interno e em seguida seguiam para etiquetagem e acabamentos finais.



Figura 6. Mesa de corte.



Figura 7. Máquinas da lavanderia.

3.1.1.1 Lavanderia

Para o desenvolvimento de uma lavagem é necessário à formulação de uma receita. As receitas são planilhas que determinam os processos e sua sequência, bem como seus tempos de processamento, temperatura da água, e as dosagens dos produtos

utilizados. Estas receitas são formuladas pelos contratantes ou técnicos têxteis da lavanderia que desenvolve novos modelos. Os técnicos desta lavanderia utilizam “bandeiras” como primeira peça piloto para o desenvolvimento e aprimoramento de receitas (Figura 8).

		<u>CAPRICORNIO S/A - FILIAL 08</u>					
		Lavagem / Repetição					
		DIRTY WASH S - 4 MÁQ.		DATA:		MOD. XXX	
QUANTIDADE 70.0 kg		TIPO DE LAVAGEM: DIRTY BLACK GREEN + USED + PUIDOS					
ORDEM	PROCESSO	PRODUTO	QUANT.	TEMPO	TEMP.	NÍVEL	OBS:
1	Desengomagem	Alfamilase	700			600	
		Antimigrante	700	20'	60°		
2	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
3	Stonagem	Beizym	420				
		Antimigrante	700	50'	60°	200	
4	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
5	Stonagem	Beizym	420				
		Antimigrante	700	50'	60°	200	
6	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
7	Alvejamento	Soda Cáustica	350			600	
		Antimigrante	350				
		Metassilicato	700				
		Peróxido	2000		80°		
8	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
9	Cationização	Denimcol	700	5'	Frio	600	
10		Vapor		10'	50°		
11	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
1200%	Auxiliar	Sandopur	600	5'	Frio		
1300%	Tingimento	Corantes	%	10'	Frio	600	
1400%	Aquecimento	Vapor		5'	90°		
1500%	Acidulação	Neutracid	700	5'	90°		
1600%	Fixação	Sal	15000	10'	90°		
1700%	Enxágüe	Água		5'	Frio	1000	
1800%	Retirar da máq. para fazer used e esmeril						
XX%	Castanho Sandozol						
XX%	Verde Sandozol						
XX%	Castanho Escuro						
XX%	Preto Sandozol						

Figura 8. Exemplo de receita utilizada pela lavanderia.

As **bandeiras** são peças em jeans costuradas na forma de “fronha”, atravessadas por costuras, que são colocadas nas máquinas até completar o peso específico para o início do processo de teste de novos modelos. As bandeiras evitam que se gastem recursos com confecção e permite que se avalie o efeito do processo no tecido e nas costuras, para que só após ajustada, a receita seja realizada nas peças modelos

confeccionadas, que são expostas como mostruário aos clientes, e em seguida produzidas em escala real.

A lavanderia da Capricórnio filial Natal possuía uma estrutura que desenvolvia diferentes modelos e acabamentos através de processos químicos e físicos (Figura 9). Eram beneficiadas peças em denim e tecido plano 100% algodão, conhecido também por tecido Pronto para Tingir - PT. Como este trabalho tem por objetivo avaliar o reúso no beneficiamento do jeans, nesta pesquisa será dada ênfase aos processos e lavagens em denim.



Figura 9. Acabamento diferenciado de peças confeccionadas.

Os principais processos que compõem as lavagens podem ser divididos em processos por esgotamento, e processos secos. O consumo médio de água em escala real, para 70kg de jeans, e a descrição de cada processo são expressos no Quadro 2.

Quadro 2. Descrição simplificada dos processos.

PROCESSOS	DESCRIÇÃO	PRODUTOS	VOLUME (L)	
Esgotamento	Enxágue	Processo responsável pela remoção dos resíduos dos banhos. É realizado após todos os processos, com exceção do amaciamento.	-	1000
	Limpeza	Processo utilizado para remoção de impurezas das peças. Também chamada de lavagem.	Saponáceos Carbonato de Sódio	600
	Desengomagem	Processo que remove a goma recebida pelo tecido ao ser produzido.	Enzimas	600
	Estonagem	Processo de desgaste das peças que evidencia o urdume. Pode ser processado com enzimas, ou com argilas expandidas, ou ainda utilizados em conjunto.	Enzimas Antimigrantes	200
	Alvejamento	Processo que tem por objetivo remover a cor amarelada das fibras, abrindo a cor do denim. Processo mais brando que a redução.	Soda Cáustica Antimigrante Metassilicato Peróxido de hidrogenio	600
	Redução	Processo de redução da cor nas peças.	Soda cáustica Antioxidantes	600
	Acidulação	Processo utilizado para neutralizar a soda cáustica da redução.	Ácido acético	600
	Desbotamento	Drástica retirada da cor da peça através do uso do cloro.	Cloro	600
	Neutralização	Tem por objetivo neutralizar processos com cloro e permanganato de potássio. Utilizado principalmente após o desbotamento, American Jet, Used, Pinado e Tanque.	Metabissulfito	600
	Cationização	Reduz os eletrólitos presentes no banho, para posterior tingimento das peças, aumentando o nível de esgotamento do corante sobre a fibra.	Sequestrantes	600
	Tingimento	Aplicação de corantes que alteram a coloração do denim através de um tingimento sobre os fios já coloridos, também chamado sobretinto. Os auxiliares usados nesse habilitam a igualização da superfície do substrato, junto aos corantes dando intensidade, brilho e solidez.	Corantes Cloreto de sódio Auxiliar tampão pH	600
Amaciamento	Processo que finaliza as lavagens, melhorando a qualidade do toque.	Amaciante	500	
Secos	America Jet	Utilização de pequenos tubos cobertos com uma mistura de cloro e pó abrasivo que desgasta e clareias as peças de forma irregular.	Cloro Pó abrasivo	-
	Used	Uso de pistola para aplicação de permanganato de potássio, gerando o clareamento nas áreas jateadas.	Permanganato de Potássio	-
	Bigode/Tanque	Processo manual que aplica permanganato em determinadas áreas, dando aparência de marcações de lavagens em tanque.	-	-
	Pinado	Processo manual que pinça o denim com o uso de pistola para o não clareamento das áreas internas, e aplicação de permanganato para marcação das dobras. Utilizado em qualquer área da peça.	-	-
	Puído/Lixado	Puído é o processo que utiliza o esmeril para desgastar áreas específicas das peças que são determinadas por gabaritos, ou através de uma lixa manual, no caso do lixado.	-	-

As receitas base das lavagens realizadas na empresa podem ser diferenciadas em quatro grupos gerais de lavagens que se destacam por um objetivo específico. Segue uma descrição sucinta do escopo de cada lavagem:

- **Soft Wash:** Lavagem que tem por objetivo melhorar o toque do tecido através de um amaciamento, sem alterar a aparência das peças.
- **Stone Wash:** Lavagem que desgasta a superfície do denim deixando o urdume em evidência, utilizando enzimas, argilas expandidas, ou o conjunto destes processos.
- **Destroyed Wash:** Lavagem similar ao Stone Wash, combinada a processos que empregam oxidantes ou processos físicos, que confere ao denim um aspecto de usado, envelhecido ou até mesmo “destruído”.
- **Dirty Wash:** Lavagem que tem como característica principal o uso de corantes para realizar um sobretingimento ao denim, também conhecida como sobretinto. Esta lavagem pode integrar todas as demais lavagens.

Um arranjo simplificado das planilhas base pode ser evidenciado através da Figura 10 que demonstra quais processos constam nas receitas base e usualmente são empregados para cada lavagem:

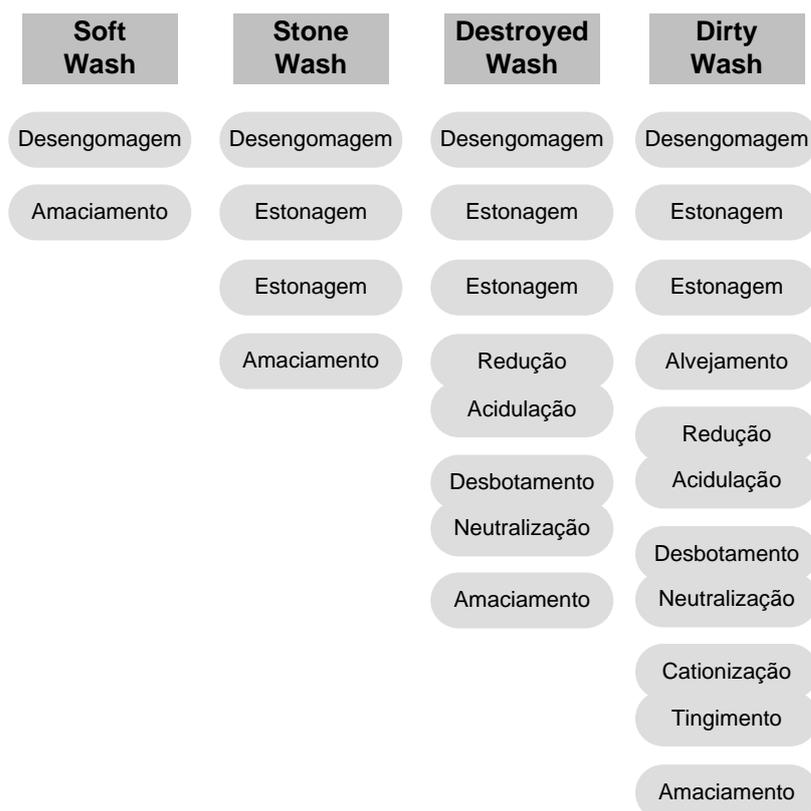


Figura 10. Exemplo simplificado de receitas de possíveis processos nas lavagens.

Receitas com sequências idênticas de processos podem gerar efeitos com características visualmente incomparáveis com variações de concentração dos produtos empregados e do tempo e temperatura dos banhos. Variações nas séries de processos igualmente alteram os resultados obtidos nas peças processadas, o que garante infinitas combinações para as mesmas lavagens.

Os processos por esgotamento são intercalados por um enxágue, embora não representados para simplificação da Figura 10, são essenciais para o início dos processos subsequentes, possibilitando a remoção das impurezas no banho. Os processos auxiliares - **acidulação, neutralização e cationização** - foram representados de forma agrupada para enfatizar esta característica, e como os demais são intercalados por enxágues.

Os processos que demandam neutralização recebem enxágues duplo como forma de remover as impurezas do banho e reduzir o odor intenso característicos destes processos. A redução, processo que recebe uma acidulação para neutralizar o

banho, igualmente necessita de um maior volume de água no enxágue, entretanto diferentemente dos demais recebe um transbordo da máquina, aumentando o banho deste processo de 600 para 1500 litros e em seguida recebe um novo enxágue com 500 litros.

A limpeza, ou lavagem, é o processo utilizado para remoção de impurezas do banho ou das peças, onde o enxágue não atua satisfatoriamente. Embora possa ser utilizada após qualquer processo, é comumente empregada após estonagens com enzimas, e principalmente após o uso de argilas expandidas. Usualmente não são inseridas nas primeiras receitas, até realização da primeira máquina processada, que é responsável por possíveis ajustes. Em alguns casos, mesmo com sua utilização nas lavagens, não são descritas nas receitas, possibilitando novas avaliações a cada nova máquina processada. A abertura da máquina e verificação das peças após cada processo é uma rotina de controle essencial para garantir a qualidade do resultado esperado.

Nos processos secos as peças de processos com uso de cloro e permanganato – American Jet, Used, Tanque e Pinado – necessitam ser neutralizados, e recebem enxágues duplos para completa retirada dos resíduos no banho. Estes processos secos podem ser utilizados intercalando a sequência de processos por esgotamento ou ao fim destes. O que determina esta variação é a intensidade dos efeitos causados pelos seguintes, que quando alteram a cor das peças de forma significativa, podem suprimir o efeito do processo seco, impondo a necessidade de realização pós-esgotamento.

As lavagens podem ser divididas em duas receitas parciais quando intercaladas por processos secos – Used e American Jet. Quando o processo com corantes utiliza tonalidades claras, estes processos secos iniciam a lavagem em uma primeira sub-receita, pois as cores claras não recobrirão os efeitos destes processos. Assim, a segunda sub-receita que recebe os processos por esgotamento inicia-se com uma neutralização. Quando os corantes a serem aplicados apresentam tonalidades escuras, primeiramente é gerada uma receita para o processo por esgotamento, seguindo para os processos secos, e em seguida retornam com uma sub-receita para neutralização e amaciamento.

Os banhos com transbordo ou enxáguas com maior volume e sequências de enxáguas não são descritos nas receitas embora seja uma prática utilizada pela lavanderia. Sequências de até três enxáguas pós-processo podem ocorrer em determinadas receitas. Neste estudo apenas foram considerados os enxáguas que constam na receita.

Os processos por esgotamento utilizam máquinas de batch (tambor horizontal) que trabalham por batelada, liberando os efluentes a cada etapa, como demonstra o organograma da Figura 11.

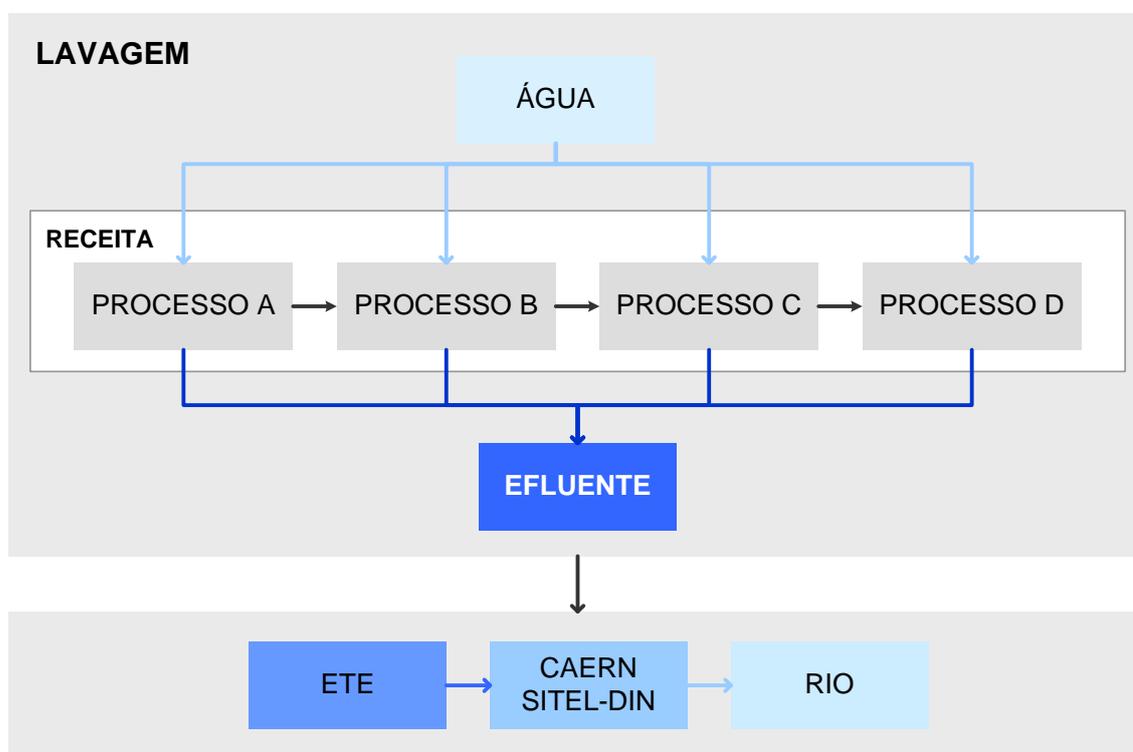


Figura 11. Organograma da geração de efluentes têxteis.

A empresa produzia ao mês em média 85.000 peças, gerando cerca de 7.500 m³ de efluente, em meses de alta produção. Os efluentes gerados apresentam características que variam de acordo com os processos utilizados, o que dificulta a sua caracterização.

Com a diversidade de processos e produtos utilizados, o efluente bruto pode apresentar características bastante distintas, contudo os tanques de equalização auxiliavam na homogeneização. O efluente homogeneizado adquiria características

das lavagens, sem sofrer amplas alterações com o descarte de determinados processos, o que, todavia, não excluía a possibilidade de variações nas características dos efluentes, pela diversidade de lavagens, não somente realizadas em denim, mas também em tecidos planos. Uma caracterização do efluente bruto com amostragem composta por um período de 24 horas, realizada pela empresa, apresenta concentrações de parâmetros importantes para o conhecimento inicial das características do efluente homogeneizado, conforme Tabela 3:

Tabela 3. Caracterização do efluente bruto.

Parâmetro	Unidade	Bruto
Amônia	mg/L N	3,97
Arsênio	mg/L As	<0,02
Cádmio	mg/L Cd	<0,001
Chumbo	mg/L Pb	<0,1
Cor Verdadeira – 420 nm	UH	99
Cobalto	mg/L Co	<0,1
Cobre	mg/L Cu	0,12
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,03
Cromo Total	mg/L Cr	0,09
DBO ₅	mg/LO ₂	349
DQO	mg/LO ₂	636
Relação DBO/DQO	-	1,8
Estanho	mg/L Sn	<0,05
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,79
Ferro	mg/L Fe	0,02
Fosfato	mg/L P	0,16
Mercúrio	mg/L Hg	<0,001
Níquel	mg/L Ni	0,04
pH	-	6,75
Óleos e Graxas	mg/L	37
Prata	mg/L Ag	<0,01
Selênio	mg/L Se	<0,01
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	1.085
Sólidos Suspensos	mg/L	196
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	1,5
Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	74
Sulfeto	mg/L S	0,03
Turbidez	UT	9,71
Vanádio	mg/L Vn	<0,01
Zinco	mg/L Zn	0,84

Fonte. CAPRICÓRNIO (2007).

Os efluentes normalmente possuem um alto conteúdo de sólidos devido às fibras dos tecidos e aos produtos utilizados. Apresentam baixo ou moderado nível de DBO se comparado com o beneficiamento têxtil dos tecidos, que são provenientes principalmente das desengomagens. A concentração de cor se deve principalmente as operações de tingimento, por perdas de corantes e dos produtos auxiliares utilizados no esgotamento. Os resultados da caracterização do efluente bruto encontrados são aproximados aos expostos por Freitas (2002) para DBO, DQO, Sólidos Suspensos, Óleos e graxas e pH (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios e parâmetros característicos de efluente têxtil bruto adaptado de Freitas (2002).

Parâmetro	Valor médio	Parâmetro	Valor médio
Temperatura	35°C	Nitrogênio amoniacal (NH ₃)	20 a 30 mg/L
DBO ₅	300 mg/l	Fósforo	5 a 10
DQO	1000 mg/l	Tensoativos	30 a 40
Sólidos Suspensos	200 mg/l	Cloretos	1000 a 1500
Nitrogênio Total	30 a 40 mg/l	Oleos e graxas	30 a 40
Fenóis	5 a 10 mg/l	pH	7 a 10

3.1.1.2 Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

Com o objetivo de enquadrar os parâmetros físico-químicos desse efluente, a Estação de Tratamento de Efluente - ETE da Capricórnio S/A foi construída visando à adequação de suas características à Instrução Normativa nº 001, de 03/11/2004 (Tabela 5) do Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente - IDEMA, para recebimento de efluentes industriais no Sistema de Tratamento de Efluentes - SITEL operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte- CAERN.

Tabela 5. Padrões de lançamento no SITEL - IDEMA.

Parâmetro	Unidade	Referência
Amônia	mg/L N	50
Arsênio	mg/L As	1
Cádmio	mg/L Cd	0,5
Chumbo	mg/L Pb	1
Cor Verdadeira	UH	300
Cobalto	mg/L Co	1
Cobre	mg/L Cu	1
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,5
Cromo Total	mg/L Cr	3
DBO ₅	mg/LO ₂	<600
DQO	mg/LO ₂	-
Estanho	mg/L Sn	30
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	100
Ferro	mg/L Fe	30
Fosfato	mg/L P	15
Merúrio	mg/L Hg	0,002
Níquel	mg/L Ni	1
pH	-	6,0 – 9,0
Óleos e Graxas	mg/L	75
Prata	mg/L Ag	0,01
Selênio	mg/L Se	1
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	20.000
Sólidos Totais (Suspensos)	mg/L	300
Sólidos Sedimentáveis	mL/L.h	5
Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	500
Sulfeto	mg/L S	10
Turbidez	UT	-
Vanádio	mg/L Vn	1
Relação DQO/DBO	-	4

Fonte. IDEMA (2004).

A ETE foi projetada com uma Unidade de Tratamento Preliminar (UTP), dois tanques de equalização, uma câmara de neutralização, calha Parshall, quatro floculadores em série e dois decantadores em paralelo (Figura 12). O sistema de tratamento tem capacidade para tratar uma vazão média de 18 m³/h.

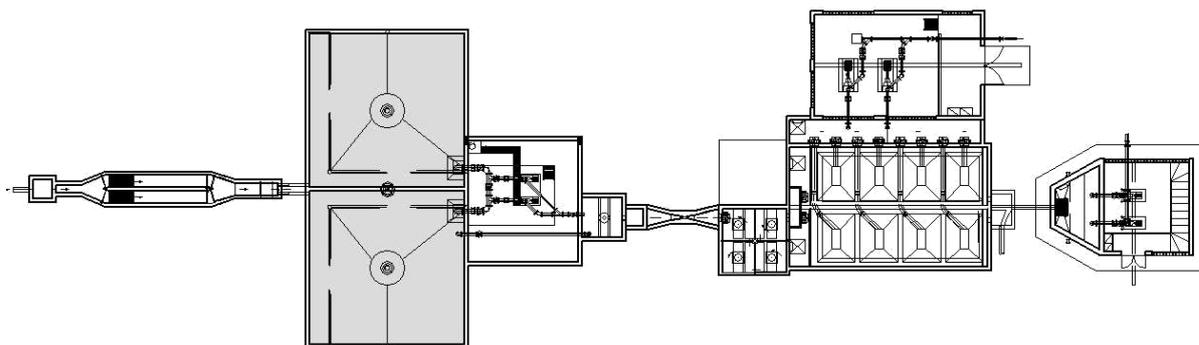


Figura 12. Planta baixa simplificada da ETE da Capricórnio S/A - NATAL.

O efluente industrial é conduzido por gravidade para UTP, constituída de gradeamento e desarenação (Figura 13). Em seguida, o efluente é encaminhado para dois tanques de equalização, os quais são responsáveis pela regularização da vazão e homogeneização, com aeradores de superfície que reduzem a temperatura e auxiliam a homogeneização (Figura 14).



Figura 13. UTP.



Figura 14. Tanque de equalização.

O efluente é então bombeado para o tanque de neutralização, onde recebe dosagem de álcali ou ácido, ajustando o pH para faixa necessária para uma boa coagulação. Posteriormente a adição do coagulante e do polímero é feita na calha Parshall, com a finalidade de promover a dispersão dos produtos químicos e medir a vazão do efluente. Após a calha, o efluente segue para quatro câmaras de floculação em série, do tipo turbina axial, com gradientes de velocidades decrescentes, onde ocorre a desestabilização eletrostática das partículas sólidas em suspensão coloidal, propiciando a floculação (Figura 15). Dos tanques de floculação

o efluente flui por gravidade para os decantadores, onde os flocos formados são removidos por sedimentação (Figura 16). Os decantadores funcionam em fluxo horizontal, com formato “tronco de pirâmide” invertido.



Figura 15. Neutralização (A), calha Parshall (B) e floculadores (C).



Figura 16. Decantadores.

O lodo formado é acumulado no fundo do decantador, sendo removido periodicamente para um tanque de armazenamento lateral. A elevatória de lodo é acionada e o material é enviado para um dos 18 leitos de secagem e posteriormente armazenado em contêineres de 5 m³ (Figura 17 e Figura 18). O lodo fica exposto é desidratado nos leitos de secagem e em seguida armazenado em contêineres de 5 m³. O efluente tratado é armazenado na elevatória final e encaminhado para o SITEL do DIN, que deve atender a legislação vigente.



Figura 17. Leitos de secagem.



Figura 18. Lodo desidratado.

O laboratório da empresa é localizado no entorno da ETE e foi equipado com espectrofotômetro, pHmetro digital, jar-test, termômetros e vidrarias diversas para atender as análises laboratoriais diárias de tratabilidade e monitoramento.

A ETE apresenta sala de controle de dosagem de coagulantes e polímeros, e casa de bombas de diafragmas. As coletas ao longo da planta auxiliam na determinação da dosagem dos produtos. O controle de dosagem de coagulantes e polímeros é realizado através de análises de testes de jarras (equipamento jar-test) e ajustado manualmente pelo operador a depender do tipo de efluente.

Enquanto as dosagens dos demais produtos são realizadas manualmente, a neutralização do efluente, que varia de acordo com o tipo de processo realizado na lavanderia, é ajustado (alcalinizado) através de um processador de pH/B (Figura 19). O eletrodo que faz a leitura do pH fica localizado após a neutralização, na câmara de controle de pH, conectado ao processador, que envia através de pulsos, mensagens a bomba dosadora de álcali (Figura 20).



Figura 19. Processador pH/B



Figura 20. Tanque de dosagem bomba dosadora.

Como o pH dos efluentes da equalização apresentava usualmente características ácidas, a bomba dosadora de ácidos não era automatizada. Quando o efluente apresentava pH alcalino acima do valor ajustado como máximo, um alarme sonoro era acionado por um sistema elétrico conectado ao pH/B, e o ácido era ajustado manualmente para reduzir o pH.

Testes preliminares em escala piloto foram iniciados como forma de avaliar a possibilidade de reúso no processamento de jeans. A variação na qualidade dos efluentes e a não avaliação da influência da água de reúso em cada processo de forma isolada foram determinantes para os resultados insatisfatórios. Dentre os resultados, processos que não atingiram o efeito esperado, odor intenso e maciez não satisfatória, foram obtidos em vários processamentos.

Contudo, estes testes apontaram para a possibilidade de reúso nos enxágues, desengomagem e alvejamento para algumas lavagens testadas, mas o baixo número de repetições e a inconstância dos resultados assinalaram para a necessidade da regularidade nas características do efluente final da ETE e de uma metodologia que avaliasse os processos de forma isolada, auxiliando na determinação dos processos passíveis de reúso.

3.1.2 Caracterização do efluente

Para o conhecimento dos principais constituintes do efluente final, a seleção dos parâmetros e métodos analíticos, foi baseada nas diretrizes do órgão ambiental estadual que atribuía à empresa os parâmetros a serem realizados como medida de autocontrole ambiental conforme Instrução Normativa nº 1, de 03/11/2004 do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA/RN. A caracterização físico-química foi realizada por meio da análise de 29 parâmetros elegidos com base nas diretrizes de qualidade da água requeridas na licença ambiental do IDEMA.

A amostragem do efluente no estudo da caracterização para cada análise compreendeu uma amostra composta de oito frações de 1L coletadas à saída da ETE. As operações de coleta, preservação e armazenamento das amostras foram realizadas de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1987): NBR 9898 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

Na caracterização físico-química do efluente foram empregados os parâmetros e métodos de análise apresentados na Tabela 6. Todas as análises foram realizadas

no laboratório de efluentes da AMBIENGE - Engenharia Ambiental e Laboratório Ltda, localizada na cidade de Fortaleza – Ceará.

Tabela 6. Relação de parâmetros físico-químicos e métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Unidade	Método	Referências - IDEMA
Amônia	mg/L N	SM 4500NH ₃ F	50,0
Arsênio	mg/L As	SM 3120	1,0
Cádmio	mg/L Cd	SM 3120	0,5
Chumbo	mg/L Pb	SM 3120	1,0
Cor Verdadeira	UH	SM 2120C	300,0
Cobalto	mg/L Co	SM 3120	1,0
Cobre	mg/L Cu	SM 3500CuB	1,0
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	SM 3500CrB	0,5
Cromo Total	mg/L Cr	SM 3500CrB	3,0
DBO ₅	mg/LO ₂	SM 5210B	-
DQO	mg/LO ₂	SM 5220D	-
DBO/DQO	-	-	<4
Estanho	mg/L Sn	SM 3120	30,0
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	SM 5530D	100,0
Ferro	mg/L Fe	SM 3500FeB	30,0
Fosfato	mg/L P	SM 4500PC	15,0
Merúrio	mg/L Hg	SM 3112B	0,002
Níquel	mg/L Ni	SM 3120	1,0
pH	-	SM 4500H ⁺ B	6,0 – 9,0
Óleos e Graxas	mg/L	SM 5520D	75,0
Prata	mg/L Ag	SM 3120	0,01
Selênio	mg/L Se	SM 3120	1,0
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	SM 2540C	20.000
Sólidos Totais (Suspensos)	mg/L	SM 2540D	300,0
Sólidos Sedimentáveis	mL/L.h	SM 2540F	5,0
Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	SM 4500 SO ₄ ²⁻ E	500,0
Sulfeto	mg/L S	SM 4500 S ²⁻ D	10,0
Turbidez	UT	SM 2130B	-
Vanádio	mg/L Vn	SM 3120B	1,0
Zinco	mg/L Zn	SM 3500ZnB	3,0

A fim de caracterizar o efluente final, a coleta das amostras do efluente tratado para realização das análises compreendeu o período de 16 de novembro de 2006 a 31 de janeiro de 2007, totalizando seis campanhas nos dias: 16/11 (A1), 22/11 (A2), 29/11

(A3), 07/12 (A4), 13/12 (A5) e 31/01 (A6)¹ para cada um dos parâmetros citados na Tabela 6. Para a realização das análises foram seguidas às diretrizes gerais de APHA *et al.* (2005).

3.1.3 Monitoramento da ETE

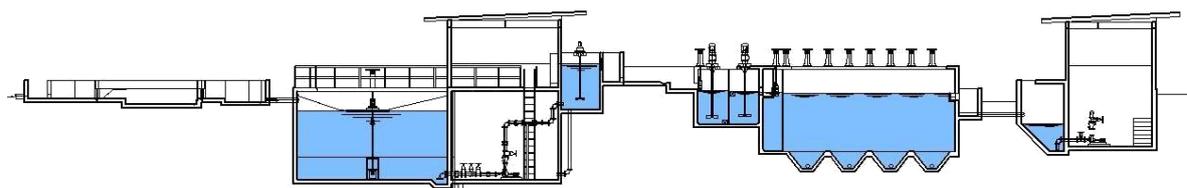
O monitoramento da ETE foi elaborado visando à regularidade do efluente final dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente, e para realização dos testes de reúso. A determinação dos pontos de coleta foi assumida conforme importância da área para manutenção da regularidade do efluente final em relação aos parâmetros adotados, que foram determinados pela fácil detecção *in loco*, e baixo custo para a empresa.

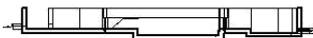
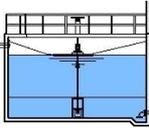
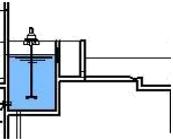
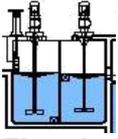
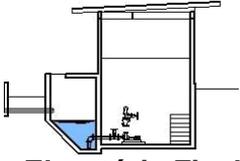
As análises dos parâmetros requisitados seguiram a metodologia de APHA (2005) para cor, turbidez, sólidos sedimentáveis, pH e temperatura. Para cada unidade de tratamento da ETE, o Quadro 3 demonstra as análises e a frequência em que foram realizadas no monitoramento para 24 horas de funcionamento da ETE. A lavanderia quando em baixa produção poderia não produzir efluente durante determinadas horas ou dias, e nestes períodos o número de análises não corresponde ao explicitado na figura abaixo, que se refere a 24 horas de funcionamento. A vazão do efluente e o tempo de secagem dos resíduos sólidos também foram monitorados, entretanto não serão aqui explicitados por não ser o foco desta pesquisa.

O pH foi medido através de um pHmetro digital MERCK e a temperatura determinada com termômetro de filamento de mercúrio. Os sólidos sedimentáveis foram determinados pelo método volumétrico, através de um cone graduado de 1 litro e o resultado expresso em ml/L. Foram realizadas as determinações de sólidos para o efluente tratado e quarto floculador para verificação dos sólidos, e para controle de dosagem do coagulante e polímero. Na determinação da cor e turbidez utilizou-se o método espectrofotométrico. A vazão de tratamento foi regulada por válvulas e a medição realizada através da calha Parshall.

¹ A1 a A6 referem-se às campanhas de análises de 1 a 6 realizadas nas datas expostas.

Quadro 3. Corte longitudinal simplificado da ETE com locais de coleta e monitoramento.



Unidade	Monitoramento	Frequência diária
 UTP	pH Temperatura Cor Turbidez	48 24 4 4
 Equalização 1 e 2	pH Temperatura Cor Turbidez	48 24 4 4
 Câmara de ajuste	pH	48
 4º Floculador	pH Sólidos Sedimentáveis Cor Turbidez	48 48 4 4
 Elevatória Final	pH Sólidos Sedimentáveis Temperatura Cor Turbidez	48 48 24 4 4

3.2 Fase II - Metodologia para reúso

3.2.1 Testes piloto

No intuito de avaliar as lavagens em denim realizadas na Capricórnio S/A, foram analisadas as receitas base e os processos utilizados pelos técnicos têxteis para desenvolver novas variações. De acordo com as características dos processos determinados foi atribuído um fator de complexidade aos processos, para que os testes fossem iniciados por aqueles de menor fator.

O fator de complexidade atribuído levou em consideração os riscos de interferência e os fatores desconhecidos para aplicação de água de reúso nos processos. Tal fator foi pontuado de acordo com uma escala, onde “0” não se aplica e a escala inicia-se por “1”, sendo “7” o fator de maior complexidade. A contagem desta escala reflete a dificuldade na funcionalidade dos processos, de acordo com os técnicos da empresa, ligados a sua realização e aos insumos empregados, para a obtenção de peças sem qualquer interferência nos padrões requeridos à produção, utilizando os mesmos produtos e equipe de desenvolvimento.

3.2.1.1 Etapa 1- Bandeiras

Esta etapa tem por objetivo avaliar em cada processo a possibilidade de utilização da água de reúso, aferindo isoladamente os processos de um mesmo fator para identificar possíveis interferências na qualidade final do produto. O número de diferentes fatores existentes em uma receita determina o número de sequências de substituições ou variações testadas.

O objetivo de avaliar os fatores individualmente é identificar variações de nuances significativas nos processos. Apesar de algumas alterações não invalidarem a comercialização das peças, essas variações poderiam significar riscos a produção em larga escala. Processos como tingimento, que utilizam baixo volume de água apresentam grande risco a lavagem mesmo utilizando água de produção. Caso houvesse a necessidade de retirada deste processo dos testes isto não implicaria em uma redução expressiva da porcentagem de reúso, entretanto reduziria significativamente os riscos, caso este demonstrasse variantes de nuance representativos.

Para uma avaliação comparativa, em cada lavagem, foi gerada uma bandeira para ser usada como modelo, totalmente processada com água da produção. Os testes de reúso foram iniciados substituindo os processos de menor complexidade, seguindo a ordem estabelecida anteriormente pelo fator atribuído a cada processo. Nos testes, a primeira bandeira, ou teste “A” é a bandeira-padrão que é utilizada como comparativo. Os demais testes, bandeiras - B, C, D etc. – são determinadas pelo número de processos e fatores, como demonstra a Figura 21:

Bandeira A	Bandeira B	Bandeira C	Bandeira D	Bandeira E
Fator 2				
Fator 1				
Fator 5				
Fator 1				
Fator 5				
Fator 1				
Fator 7				

Figura 21. Exemplo das variações produzidas nos testes de reúso.

Ao fim de cada processo com água de reúso, a máquina era aberta e as peças submetidas a uma pré-avaliação pelos técnicos têxteis buscando identificar problemas e possíveis diferenciações quanto à qualidade do processamento. Os testes nas bandeiras totalmente processados com água de reúso foram feitos em triplicata.

Após a finalização dos testes para cada lavagem a sequência de bandeiras passou por uma avaliação comparativa com a bandeira que servia de modelo para a receita (bandeira-padrão). Esta avaliação comparativa foi baseada no método de comparação de diferentes maquinadas realizada pela empresa, que não deveriam destoar entre si, seguindo as mesmas características.

A análise das peças simulou o controle de qualidade da empresa, que através de uma análise visual e tátil, realizada por técnicos têxteis, valida ou não a comercialização das peças, e as classifica conforme a qualidade. Os seguintes aspectos foram considerados na comparação com a peça piloto: aparência, cor, odor e suavidade ao toque.

O efluente tratado foi encaminhado para máquinas piloto do tipo tambor horizontal de 10 Kg para determinar os processos passíveis de reuso. Todas as lavagens testadas envolveram jeans Capricórnio.

Os testes compreenderam pelo menos uma variação para cada tipo de receita base determinadas na caracterização das lavagens. As variações de lavagem testadas são descritas abaixo seguidas de seus processos na ordem estabelecida na receita para o processamento:

- Soft Wash – desengomagem, enxágue e amaciamento.
- Stone Wash – desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, lavagem, enxágue e amaciamento.
- Destroyed Wash – desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, neutralização e amaciamento.
- Dirty Wash 1– desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, lavagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento.
- Dirty Wash 2– desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue alvejamento, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento.

3.2.1.2 Etapa 2- Peças confeccionadas

Nesta etapa as variações testadas foram realizadas em escala piloto, com peças confeccionadas de estoque que não seriam comercializadas, para avaliar se os resultados obtidos em bandeiras se repetiriam em peças. Os testes seguiram a mesma metodologia dos testes em bandeira. A receita base para o Soft Wash não

foi considerada nestes testes por seus processos estarem contidos nas demais lavagens. As demais variações de receitas foram testadas.

3.2.2 Testes em escala real

3.2.2.1 Projeto

Para a realização dos testes, foram instalados dois reservatórios, que totalizam 8 m³ a uma altura de 3,5 metros, com o objetivo de se obter uma pressão satisfatória nas máquinas. As máquinas foram adaptadas com uma entrada de 100 mm, ligada à tubulação anterior, para que pudessem ser abastecidas com água de produção e água de reúso.

A tubulação de reúso foi pintada em azul para ser diferenciada da tubulação branca existente. Uma bomba centrífuga foi instalada na elevatória final da ETE, para ser acionada manualmente quando necessário água de reúso nas máquinas, enviando água para os reservatórios. Durante o bombeamento e realização dos testes uma bóia conectada a bomba foi instalada com o objetivo de evitar a redução de nível nos reservatórios e perda de pressão.

Cada repetição dos testes nesta etapa empregou uma média de 70 Kg de peças jeans por máquina processada, sendo chamada pelos operadores de “maquinada”. As máquinas utilizadas nesta fase são semelhantes às pilotos (Figura 22) utilizadas anteriormente, e as capacidades destas variam de 100 Kg a 250kg de peças (Figura 23).



Figura 22. Máquina piloto.



Figura 23. Tipo de máquina utilizada para reúso.

No início da pesquisa, os operadores da lavanderia foram instruídos sobre a importância do tratamento dos efluentes da empresa e do seu reúso. Realizaram visitas técnicas a ETE e ao laboratório, acompanhando o descarte dos efluentes, o sistema de tratamento, o controle e monitoramento, e a proposta de reúso pretendida. O treinamento buscou agregar as opiniões dos funcionários e realizar a consequente integração ao projeto, para que houvesse o sentimento de participação e responsabilidade conjunta.

3.2.2.2 Testes preliminares

Considerando que os testes seriam realizados com peças confeccionadas, qualquer alteração geraria a necessidade de reprocesso das peças, com aumento de custo na produção, multas por atraso na entrega, e possível perda da venda por incapacidade de reprocesso ou cancelamento do pedido por não cumprimento de prazos. Com os riscos extremamente elevados nesta fase, foi necessário o desenvolvimento de um teste preliminar.

Os testes preliminares objetivaram avaliar se a bandeira-reúso produzida nos testes em escala piloto pode ser utilizada como parâmetro para a produção em escala real. As bandeiras deveriam retratar as lavagens em escala real.

O maior número de peças, peso e o maior volume de água poderiam gerar efeitos diferentes dos evidenciados em escala piloto. Lavagens processadas pela primeira vez na lavanderia em escala produtiva, além de aplicadas em bandeiras, passavam por um primeiro processamento inferior a 35 kg para possíveis ajustes de receita, não arriscando todo o gradeamento (equivalente a 70 kg de denim).

Esta etapa simulou o controle de novas receitas que apresentavam sequência diferente de processos e concentrações de produtos que eram usualmente processadas aplicando em escala real as lavagens selecionadas. As peças foram avaliadas conforme metodologia aplicada nos testes piloto e considerou os mesmos parâmetros. As peças foram comparadas a bandeira-reúso produzida nos testes em escala piloto.

Os testes com água de reúso foram realizados nas lavagens Dirty Wash selecionadas nos testes piloto e testadas nas peças confeccionadas em escala real

com aproximadamente 35 kg de peças. Através das análises entre as peças e as bandeiras, seriam identificadas as possíveis alterações na lavagem ou divergências na qualidade da peça de uma forma geral, considerando também qualquer interferência nas costuras ou no denim.

3.2.2.3 Testes em produção

Esta etapa tem por objetivo determinar em escala real os processos passíveis de reúso. A programação das lavagens foi iniciada em março de 2007 com o objetivo iniciar a interação dos setores. O planejamento mensal da lavanderia com as receitas das lavagens a serem processadas e o número de maquinadas foi elaborado e atualizado diariamente pelo laboratório para o planejamento dos testes e maior controle do efluente final.

Como os testes em escala piloto foram realizados em receitas base com poucas variações e repetições, os testes em escala real foram antecidos pela realização de uma bandeira-reúso visando avaliar a possibilidade de reúso para a receita gerada.

No momento da produção das bandeiras-padrão foram produzidas paralelamente, pelo designer têxtil, as bandeiras-reúso, que foram utilizadas para avaliar a possibilidade do processo em escala real, através de análises comparativas visuais entre bandeiras, seguindo a metodologia dos testes piloto de reúso.

As receitas provenientes dos pedidos de lavagens foram selecionadas para fazer parte deste estudo conforme disponibilidade do designe têxtil para processamento das bandeiras e avaliação. Primeiramente avaliou-se a bandeira-reúso e esta foi comparada a bandeira-padrão. Com a avaliação e posterior aprovação da lavagem na bandeira, a receita era liberada para o teste em escala real. O pedido proveniente da receita liberada poderia ou não ser totalmente processado com água da ETE, a depender da disponibilidade das máquinas de reúso.

As máquinas adaptadas foram utilizadas para atender a demanda da empresa e poderiam não estar disponíveis no momento necessário para o processamento. Por se tratar de testes, não foi considerada a adaptação imediata de todas as máquinas para evitar custos adicionais a esta pesquisa.

Ao fim de cada processo com água de reúso, as peças foram submetidas a uma pré-avaliação dos técnicos têxteis buscando identificar peças com problemas e possíveis diferenciações quanto à qualidade. Após as lavagens, as peças foram avaliadas conforme metodologia aplicada aos testes piloto e, em seguida, entraram no fluxo produtivo da empresa juntamente com as processadas com água da produção, para passar pela avaliação de qualidade final.

Esta etapa da pesquisa ocorreu de Agosto de 2007 a Maio de 2008. Foram realizadas 556 repetições, entre lavagens completas e etapas de lavagens, equivalentes a aproximadamente 38 toneladas de jeans processados. Nesta etapa, buscou-se abranger o maior número de receitas e repetições possíveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fase I

4.1.1 Caracterização dos Efluentes Líquidos

Os resultados obtidos para todas as análises realizadas com o efluente tratado se encontraram abaixo dos valores estabelecidos pela Instrução Normativa N° 1 / 2004 do IDEMA (Tabela 7). Apenas turbidez, não requerido pelo órgão ambiental, foi incluído nas análises por ser um dos fatores essenciais para os testes de reúso e considerado em estudos como parâmetro de importância relevante no controle da qualidade da água para uso na indústria têxtil.

Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas das campanhas realizadas.

Parâmetro	Unidade	Ref.	Resultados					
			A1	A2	A3	A4	A5	A6
Amônia	mg/L N	50	0,61	0,32	0,51	0,71	2,01	1,9
Arsênio	mg/L As	1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cádmio	mg/L Cd	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg/L Pb	1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cor 420 nm	UH	300	62	11	14	16	28	17
Cobalto	mg/L Co	1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cobre	mg/L Cu	1	0,05	0,3	0,23	0,18	0,21	0,19
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,5	0,01	0,03	<0,02	0,04	0,02	0,03
Cromo Total	mg/L Cr	3	0,05	0,16	0,11	0,12	0,11	0,14
DBO ₅	mg/LO ₂	<600	62	66,7	64,5	32,5	33,2	70,5
DQO	mg/LO ₂	-	140,1	121,3	117,2	59,1	62,3	128,1
DBO ₅ /DQO	-	<4	2,25	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Estanho	mg/L Sn	30	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	100	0,14	0,03	0,03	0,04	0,07	0,04
Ferro	mg/L Fe	30	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	0,03
Fosfato	mg/L P	15	0,06	0,13	0,09	0,08	0,09	0,08
Mercúrio	mg/L Hg	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel	mg/L Ni	1	<0,01	0,19	0,16	0,13	0,12	0,13
pH	-	6,0 – 9,0	7,68	6,9	7,11	7,21	6,48	7,29
Óleos e Graxas	mg/L	75	13	29,5	27	12,5	6,8	5,6
Prata	mg/L Ag	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Selênio	mg/L Se	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
STD	mg/L	20.000	1.526	1.215	1.119	988,4	1.438	2527
SST	mg/L	300	89	83	30	28	34	31
SS	mL/L.h	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	500	79	86,4	74,1	81	86	89
Sulfeto	mg/L S	10	<0,01	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,02
Turbidez	UT	-	6	0,52	0,81	0,72	0,61	0,71
Vanádio	mg/L Vn	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zinco	mg/L Zn	3	0,32	0,39	0,27	<0,01	0,08	0,31

A=Análise; Ref.: Referências - IDEMA.

Segue na Tabela 8 os resultados passíveis de detecção para as seis campanhas realizadas. A caracterização é apresentada em termos de média, mínimo, máximo e desvio padrão.

Tabela 8. Tratamento estatístico descritivo dos dados passíveis de detecção.

Parâmetros	Unidade	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Amônia	mg/L N	1,09	0,32	2,01	0,72
Cor 420 nm	UH	17	11	28	5,78
Cobre	mg/L Cu	0,22	0,18	0,30	0,04
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,03	0,02	0,04	0,01
Cromo Total	mg/L Cr	0,13	0,11	0,16	0,02
DBO5	mg/LO ₂	53	32	70	16
DQO	mg/LO ₂	97	59	128	30
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,04	0,03	0,07	0,01
Ferro	mg/L Fe	0,02	0,01	0,03	0,01
Fosfato	mg/L P	0,09	0,08	0,13	0,02
Níquel	mg/L Ni	0,15	0,12	0,19	0,03
pH	-	7	6,4	7,2	0,29
Óleos e Graxas	mg/L	16	6	29	10
SDT	mg/L	1457	988	2527	554
SST	mg/L	41	28	83	20
Sulfato	mg/L SO ₄ ²⁻	83	74	89	5
Turbidez	UT	0,6	0,5	0,8	0,10
Zinco	mg/L Zn	0,32	0,27	0,39	0,05

Observa-se que o limite de detecção para a determinação de alguns parâmetros não foi suficiente para a sua análise. Nota-se ainda que para maioria destes, mesmo na caracterização do efluente bruto realizada pela empresa não foi possível sua detecção.

De acordo com os resultados obtidos para o efluente tratado, a ETE apresentou um desempenho significativamente satisfatório, atendendo aos padrões de lançamento preconizados pela Instrução Normativa nº 1, de 03/11/2004 do IDEMA, sendo permitido o lançamento do efluente final na ETE do SITEL.

Segundo Araújo e Castro (1984), entre as exigências mais comuns para o uso na indústria têxtil têm-se: ausência de sólidos em suspensão, o que foi atendido conforme os resultados apresentados. Entre as exigências, está a neutralidade do pH, sendo o mais próximo de 7, que também foi atendido, sendo a média igual a 7.

A ausência de substâncias que afetam as operações de acabamento, como ferro, e outros metais influenciam na uniformidade dos acabamentos. Conforme as análises alguns metais estão presentes, contudo em baixas concentrações, não representando riscos a lavanderia.

A ausência de substâncias que provocam a formação de espuma e cheiros desagradáveis são igualmente importantes a qualidade do produto final. O efluente gerado apresenta formação de espumas e caso armazenado por mais de 24 horas, cheiro intenso, entretanto a produção de efluentes para reúso é inferior à demanda total da produção, o que não permite o armazenamento por mais de 4 horas.

Se comparado os resultados com os valores limites expostos como diretrizes de qualidade para indústria têxtil, apenas pH, Ferro e Sulfato se enquadram nos limites apresentados, os demais parâmetros ultrapassam as diretrizes e apontam, de acordo com as referências, para a impossibilidade de uso direto. Entretanto, a maioria dos estudos avaliam o tingimento e beneficiamento de tecidos, que exigem uma qualidade maior para o uso da água, o que não ocorre neste caso, onde os tecidos já tingidos passam por acabamentos, sobretingimentos ou redução de cor, o que permite uma maior flexibilidade nas concentrações destes parâmetros.

4.1.2 Monitoramento da ETE

O estudo dos dados do monitoramento foi realizado no período dos testes de reúso, de agosto de 2007 a maio de 2008. A Tabela 9 apresenta o tratamento estatístico descritivo realizado sobre os dados do monitoramento, e é fundamental na definição da qualidade do efluente utilizado para reúso.

Tabela 9. Tratamento estatístico descritivo do monitoramento.

Parâmetro	Unidade	N	Mediana	MA	Mínimo	Máximo	DP	CV
T. Entrada	°C	284	32	32	28	35	0,98	2,9%
T. Saída	°C	284	30	29	24,90	32	0,65	2%
SS 4º Floc.	mg/L	284	30	33	10	80	10	29%
SS Saída	mg/L	284	0,0	0,04	0,0	0,55	0,07	164%
pH entrada	-	214	7,1	7,1	4,92	9,8	0,97	13%
pH Eq. 1	-	214	6,9	7,0	5,18	9,6	0,83	11%
pH Eq. 2	-	214	6,9	7,0	4,98	9,7	0,86	12%
pH online	-	214	8,6	8,5	7,45	8,7	0,15	1,8%
pH Calha	-	284	8,6	8,6	8,3	11,3	0,22	2,6%
pH 4º Floc.	-	214	7,3	7,3	6,5	8,6	0,32	4,4%
pH Saída	-	284	7,1	7,2	6,4	9,3	0,24	3%
Cor Eq. 1	UH	167	103	118	7	611	84	70%
Cor Eq. 2	UH	167	103	116	8	449	77	67%
Cor saída	UH	167	50	57	2	222	35	62%
Turbidez Eq. 1	UT	167	149	167	13	466	89	53%
Turbidez Eq. 2	UT	167	140	152	15	445	70	46%
Turbidez saída	UT	167	37	40	1,8	164	24	60%

MA – Média Aritmética; DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação; N – Nº médias em 24h. SS – Sólidos Sedimentáveis; T – Temperatura; Floc – Floculador; Eq – Equalização.

O início do monitoramento em setembro de 2007 para determinados pontos de controle da ETE, que estavam sendo avaliados, e problemas com alguns equipamento gerou um menor número de dados para determinados parâmetros.

Os dados representam a média aritmética de um dia de monitoramento de acordo com a frequência diária de cada parâmetro. A quantidade de análises para cada dado está relacionado ao tempo de funcionamento da ETE. Para pH e SS, parâmetros analisados a cada 30 minutos, e para um tempo de funcionamento de 24 horas da ETE, o dado gerado representa uma média de 48 resultados.

Para uma boa coagulação, testes de tratabilidade indicaram que para o produto de melhor custo-benefício testado, um policloreto de alumínio formulado com descolorante (ECOFLOC - Manchester), o pH ótimo no ponto de aplicação é de 8,6.

O produto utilizado por apresentar caráter ácido, reduzia o pH do efluente da calha para as dosagens aplicadas em aproximadamente 1,4 pontos, aproximando o pH do efluente final a 7. O uso deste coagulante e o controle do pH neste ponto evitou custo adicionais para neutralizar o efluente final utilizado nos testes de reúso e para a disposição final, e ainda reduziu os pontos de controle e monitoramento.

O monitoramento do pH do floculador 4 foi determinante para antever o efluente final, considerando que o pH deste ponto variava em média a 0,2 pontos acima do pH da saída (Figura 24). Em casos onde o pH do efluente do quarto floculador variou em aproximadamente 0,7 pontos acima ou abaixo de 7, uma pequena descarga de fundo era realizada nos decantadores, evitando que a água com pH fora desta margem fosse enviada para os testes. O tempo para que o volume dos efluentes nos decantadores levou para chegar ao nível de ser encaminhados a disposição final ou aos testes de reúso foi, na maioria das vezes, suficiente para os ajustes necessários.

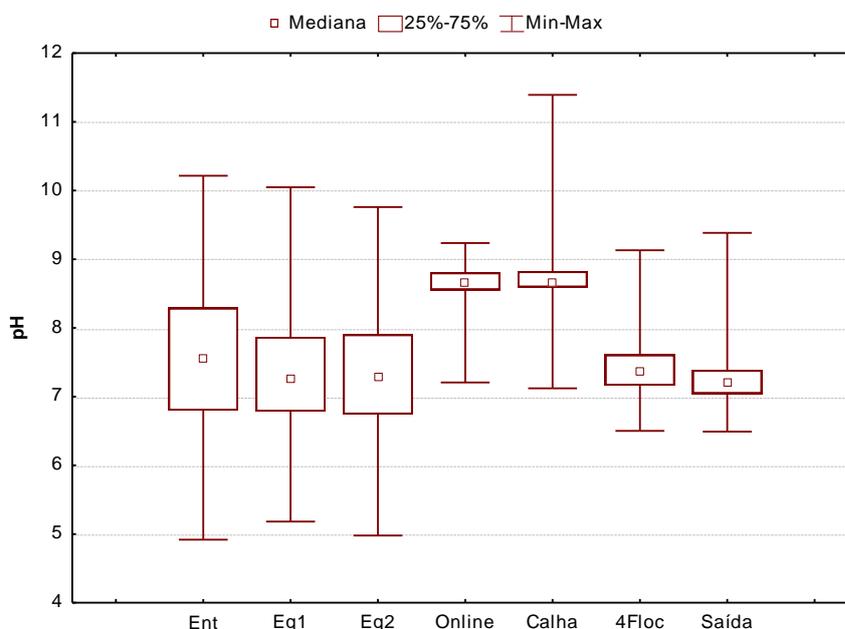
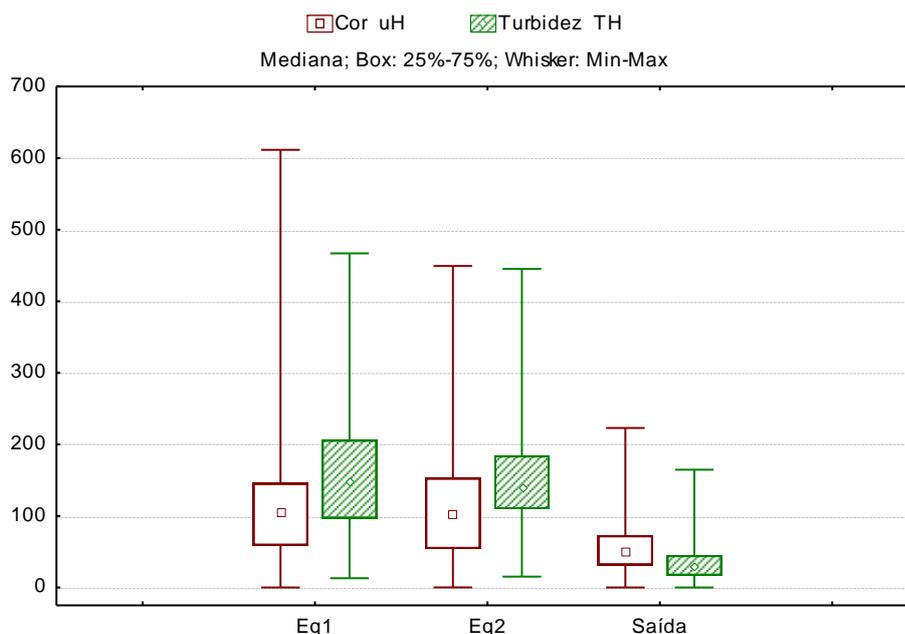


Figura 24. Variação do pH nos principais pontos de controle.
Ent.: Entrada; Eq.: Equalização; 4Floc.: Floculador 4

O efluente final se adequou aos limites estabelecidos para cor, e apresentou média de 57,55 uH. Os efluentes equalizados apresentaram média inferior ao limite estabelecido para disposição final. Para turbidez, o efluente final apresentou uma boa regularidade, com média de 40,1 UNT (Figura 25). O efluente final apresentou baixa concentração de cor e turbidez e permaneceu regular, o que foi determinante para os testes.



**Figura 25. Variação de cor e turbidez.
Eq.: Equalização.**

O monitoramento e controle para operação da ETE garantiu ao efluente final regularidade para os parâmetros realizados. Os parâmetros sofreram redução em relação às concentrações iniciais e o pH apresentou resultados neutros a saída do tratamento.

A aparência dos efluentes na equalização era alterada pelas características dos processos que tivessem maior volume. Processos em jeans variavam de azul opaco a escuro na maioria dos casos (Figura 26). Os processos em PT apresentaram diversas tonalidades devido às variações de corantes aplicados nos tecidos (Figura 27).



Figura 26. Efluente de lavagens em denim.



Figura 27. Variação de efluente conforme processo.

O melhora do aspecto visual dos efluentes após o tratamento físico-químico aplicado é evidente (Figura 28). A eficiencia de floculação constatada no quarto floculador foi essencial para o ajuste de dosagem do coagulante e polímero (Figura 29).

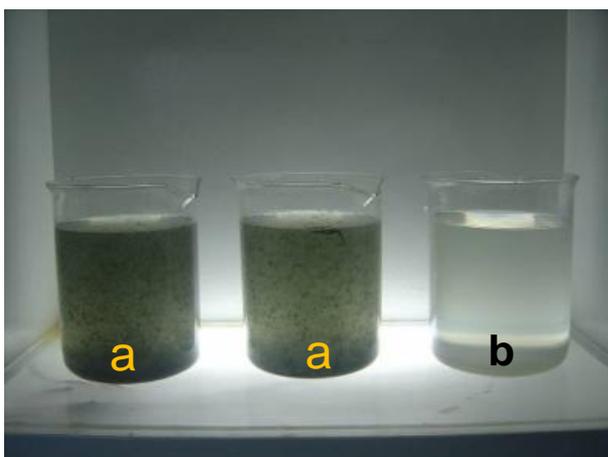


Figura 28. Efluentes do 4 floculador (a) e final (b).

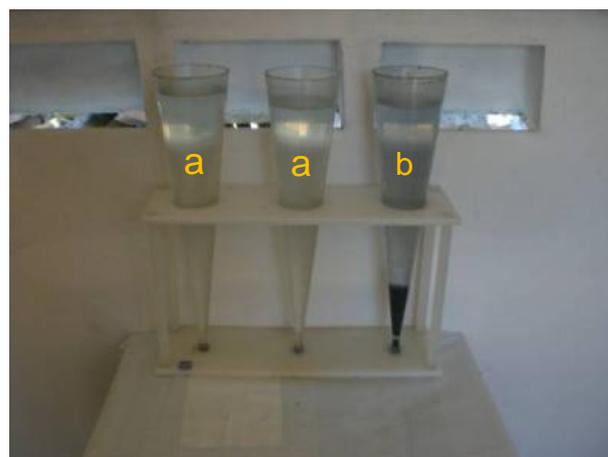


Figura 29. Monitoramento dos SS - Efluente final (a) e 4 floculador (b).

A descarga de fundo dos decantadores foi realizada diariamente. Em dias onde a vazão de descarte de efluentes era alta em processos com jeans que geram mais sólidos, a descarga de fundo foi realizada duas vezes ao dia para evitar carreamento de flocos do decantador para a elevatória final.

4.2 Fase II

4.2.1 Testes piloto

Os fatores de complexidade foram atribuídos aos processos de acordo com a dificuldade na funcionalidade dos processos para desenvolvimento das peças pelos técnicos têxteis, considerando as dificuldades encontradas na produção para realização por esgotamento.

Os enxágues por terem apenas como objetivo a limpeza do substrato têxtil foi considerado o menos complexo, seguido pela limpeza, que utiliza apenas detergentes. Os processos que utilizam oxidantes e seus auxiliares foram considerados fator 3, pois a matéria orgânica afeta a uniformidade do processo, especialmente para cores mais claras. Os processos com enzimas, desengomagem e estonagem foram considerados fatores 4 e 5, sendo o último mais sensível por interferir mais intensamente nas fibras, e por apresentar diferenças na estonagem com pequenas variações no processo. O tingimento é sem dúvida o processo mais sensível a variações e a interferências, sendo considerado fator 6, ficando atrás apenas do amaciamento, que apenas por ser o último processo foi considerado como ultimo fator seguindo a indicações de alguns testes preliminares, que apresentaram odor nas peças beneficiadas (Quadro 4).

Quadro 4. Fatores determinados aos processos.

	PROCESSOS	FATOR
Esgotamento	Enxágue	1
	Limpeza	2
	Desengomagem	4
	Estonagem	5
	Alvejamento	3
	Redução	3
	Acidulação	3
	Desbotamento	3
	Neutralização	3
	Cationização	6
	Tingimento	6
	Amaciamento	7

Como o volume utilizado nas lavagens em escala piloto é consideravelmente baixo em relação à escala real, não foi considerada a possibilidade de adaptação das máquinas de teste (Figura 30). O efluente foi coletado na saída da ETE e armazenado em tambores de 100 a 250 kg que foram dispostos ao lado das máquinas no momento dos testes.



Figura 30. Máquina de testes piloto de 10 kg.

4.2.1.1 Bandeiras

Os testes foram realizados em dias de baixa produção, e não necessariamente em dias sequenciados, sendo comum a realização de apenas um teste ao dia, e com intervalos de até uma semana entre testes.

A primeira sequência de testes foi realizada no Soft Wash, lavagem com menor número de fatores. Foram realizadas quatro sequências, sendo a primeira a bandeira-padrão (A) e a última a bandeira-reúso (D). As bandeiras produzidas foram avaliadas e não sofreram variações em relação à bandeira-padrão. Para a bandeira-reúso, o teste foi repetido, já que a primeira bandeira processada não apresentou a suavidade esperada e odor não característico da lavagem.

A lavagem seguinte realizada foi a Stone Wash, que se diferencia da anterior pelo acréscimo de um fator, resultante da estonagem. Em testes preliminares a água de reúso prejudicava a estonagem, não evidenciando o processo. Contudo, nos testes atuais, as bandeiras não apresentaram variações em relação à bandeira-padrão. As

características da estonagem se mantiveram sem alterações. Com relação à bandeira-reúso (D), a primeira apresentou um leve odor não característico da lavagem.

A água de reúso utilizada nos processos era armazenada em recipientes de 100 litros ao lado das máquinas piloto até o processamento das bandeiras, e em alguns casos, o aumento de produção ou imprevisto na lavanderia atrasavam os testes por várias horas. Percebeu-se que quando armazenada, a água de reúso proporcionava as peças um odor desagradável e perda da qualidade no amaciamento.

Em relação às alterações no Soft Wash, por ser uma lavagem com baixo volume de água utilizada e curto tempo de processamento, acredita-se que apesar das orientações para uma nova coleta a cada teste, foi utilizada a mesma água a todas as repetições, o que pode ter levado ao resultado insatisfatório para a bandeira D.

A segunda repetição para a bandeira-reúso tanto no Soft Wash, quanto no Stone Wash não apresentaram alterações. Com a diminuição da qualidade das bandeiras, os técnicos foram instruídos a utilizar a água de reúso após as primeiras horas de coleta, uma vez que os processos mais longos poderiam ultrapassar às 4 horas de processamento.

Para o Destroyed Wash as cinco repetições foram avaliadas e comparadas à bandeira-padrão e não apresentaram qualquer alteração. Nos testes iniciais da primeira variação em Dirty Wash a principal preocupação com a qualidade da peça se deu em relação aos riscos do uso de água de reúso no tingimento e no seu processo auxiliar. Interferências nestes processos podem gerar alterações significativas capazes de inutilizar todo o processamento sem possibilidades de reprocesso e perda da maquinada quando se trata de produção em escala real. As primeiras lavagens testadas introduzia água de reúso em processos contidos no Dirty Wash, todavia não havia testes sobre a interferência dos banhos no tingimento.

Testes preliminares anteriores demonstraram interferências consideráveis em processamentos que incluía corantes. Entretanto, a execução do monitoramento garantia características mais estáveis ao efluente final o que estimulou os testes incluindo lavagens com tingimento, que usualmente apresentam uma maior

quantidade de processos e conseqüentemente uma maior demanda por água na produção.

As bandeiras produzidas não sofreram alterações em suas características e foram aprovadas pelos técnicos têxteis. No entanto por se tratar da lavagem de maior risco para a produção, outra variação de Dirty Wash foi testada para confirmar os resultados.

A segunda variação do Dirty Wash acrescentou um alvejamento prévio ao tingimento. As cinco bandeiras não apresentaram divergência em relação à bandeira-padrão. Apesar do sucesso dos testes principalmente em lavagens com elevado número de processos nas receitas e fatores de maior complexidade, testes em escala real ainda representariam um risco aos produtos.

Com o funcionamento da lavanderia nos três turnos, os testes foram realizados de acordo com a disponibilidade dos técnicos e operadores de máquina, o que impossibilitou o acompanhamento de todos os testes realizados.

O acompanhamento de vários dos testes no turno noturno, de início às 22 horas e término às 6 horas da manhã do dia seguinte, foi essencial para conscientização dos técnicos e operadores da importância da realização do processamento também neste turno. Entretanto, as avaliações das bandeiras apenas foram realizadas nos turnos diurnos, período de trabalho do designer têxtil responsável pela lavanderia, e pelas avaliações de todas as lavagens da empresa.

Os testes realizados de acordo com os fatores demonstraram que há variações de nuances, principalmente na estonagem e no tingimento. Apesar das diferenças encontradas estas não foram significativas para reprovar as peças no controle de qualidade. Entretanto, este pode ser um indicativo para novos testes e possibilidade de uso de água de produção quando se trata de um efluente com parâmetros não regulares.

4.2.1.2 Peças confeccionadas

A possibilidade de resultados divergentes das bandeiras em relação a peças confeccionadas desencadeou novos testes em escala piloto com peças

confeccionadas. Os testes foram repetidos para o Stone Wash, Destroyed Wash e Dirty Wash. A lavagem Soft Wash por apresentar poucos fatores e estar contida nas demais lavagens não foi considerada nesta etapa.

Para o Stone Wash, quatro variações mais uma peça modelo foi gerada, pela inserção de um novo fator gerou uma nova variação, pelo processo limpeza, também chamado lavagem. As peças não sofreram alterações. Em relação ao Destroyed Wash as bandeiras processadas não sofreram alterações e foram consideradas passíveis de reuso para esta etapa.

Para o Dirty Wash variação 1, também foi inserido um novo fator através da limpeza. Foram geradas seis bandeiras com variações dos fatores e comparadas à bandeira-padrão. As bandeiras não apresentaram variações. Os testes com a segunda variação do Dirty Wash também foram satisfatórios e não apresentaram divergências.

4.2.2 Testes em escala real

4.2.2.1 Projeto

Os reservatórios instalados alcançaram pressão suficiente para os processos nas máquinas, permitindo o enchimento dos volumes utilizados nos processos dentro do tempo esperado (Figura 31). As tubulações instaladas seguiram o padrão utilizado na empresa e não apresentaram vazamentos, ou corrosões. Os reservatórios receberam tubulações para descargas de fundo e limpeza, e boias com dispositivos elétricos que acionavam a bomba de reuso para manter o nível mínimo para pressão satisfatória nas máquinas.



Figura 31. Reservatórios da água de reúso.

Com relação à adaptação da máquina para reúso (Figura 32), utilizada inicialmente apenas para os testes preliminares e avaliação, percebeu-se que sem a utilização do sistema, a água contida nos tubos em alguns casos apresentou odor característico, o que poderia prejudicar os processos, principalmente etapas com corantes.

Antes do início de cada lavagem, com a máquina vazia, houve o descarte dos primeiros litros contidos nas tubulações, que passou a ser um procedimento essencial, já que a água na tubulação poderia estar armazenada por dias. Todavia, este procedimento não ocasionou impedimento ou interferência na realização dos testes de reúso em escala real.

Após a fase de ajustamento do sistema de reúso, outras duas máquinas foram adaptadas para que se pudesse ter um maior número de repetições. Estas máquinas foram instaladas com um sistema de descarga que permitia a liberação dos primeiros litros de água antes de cada lavagem, ou até mesmo antes de algum processo se necessário, sem necessidade de esvaziar as máquinas (Figura 33). Os custos para o projeto de reúso, que inclui tubulações e conexões foi de aproximadamente R\$1.500.



Figura 32. Primeira adaptação da máquina.



Figura 33. Readaptação das máquinas.

A troca de água diária dos tanques de armazenamento evitou odores e interrupções frequentes para limpeza. Durante o período dos testes os reservatórios foram lavados por duas vezes, e o acúmulo de resíduos foi mínimo.

4.2.2.2 Testes Preliminares

Os resultados obtidos nas lavagens em escala real foram satisfatórios para as duas lavagens Dirty Wash testadas em escala piloto. As peças não sofreram alterações para os parâmetros avaliados, e as bandeiras-reúso retrataram de forma aceitável a lavagem em escala real.

4.2.2.3 Testes em produção

As receitas apresentavam todos os detalhes do processamento, além do número de maquinadas a serem realizadas e se utilizariam água da reúso. As receitas desenvolvidas, as possíveis datas e horários, o número de maquinadas a serem processadas e as receitas foram repassadas ao laboratório para um planejamento do envio de água aos reservatórios de reúso e um maior controle da qualidade dos efluentes.

A programação incluiu todas as lavagens realizadas na lavanderia, contendo processos em denim não testados e processos em tecidos planos (PT). A inclusão de todas as lavagens na programação auxiliou na previsão de volume de efluente

gerado e características dos efluentes, essencial, sobretudo para os dias com processamento com água de reúso.

As lavagens e etapas de lavagens testadas estão expostas no **APÊNDICE 2**. As lavagens intercaladas por processos secos apresentam nas etapas de produção os processos subsequentes. O número de repetições é exposto por dia de processamento, e agrupados quando pertencentes à mesma receita. O volume e porcentagem de reúso para cada receita pode ser visualizado no apêndice citado.

Inicialmente, entre 13 de agosto e 12 de outubro de 2007, para as primeiras 14 variações de lavagens testadas, aquelas sem pós-receitas foram processadas com água de produção no último enxágue e no amaciamento, ou apenas neste último para evitar riscos de reprocesso. As lavagens sem pós-receita foram totalmente processadas com água de reúso (Quadro 5). As lavagens testadas não sofreram alterações na qualidade e a partir destes todos os testes subsequentes utilizaram 100% de água de reúso independentemente da presença ou não de sub-receitas.

Quadro 5. Testes em escala real – preliminar.

Teste	Lavagem	Etapas de Reúso	Pós-receita	Vol. (m³)	Reúso (%)
1	Dirty Wash	desengomagem, enxágue e amaciamento.	Jet - Dirty Wash	128,1	100
2	Amaciado	desengomagem, enxágue e amaciamento*	-	10,5	76
3	Stone ash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento*.	-	83,6	88,6
4	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem e enxágue.	Used	14	100
5	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem e enxágue.	Used	32	100
6	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue.	Used Puído	50,4	100
7	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento*.	Used Puído	22,5	88,9
8	Dirty Wash D	desengomagem, enxágue, alvejamento, enxágue, tingimento, enxágue, fixação, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento*.	Used Pinado	111,6	94,6
9	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue* e amaciamento*.	-	174,6	84,5
10	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue.	Used Esmeril Pinado	248	100
11	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento.	-	53,9	100
12	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue.	Used Tanque	64,4	100
13	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue.	Used Esmeril	119,6	100
14	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue e amaciamento*.	-	54,5	95,4

* indica a utilização de água de produção na etapa assinalada.

Todas as variações de receitas testadas foram agrupadas em um fluxograma para permitir a visualização destas (Figura 34). Nesta figura, cada sequência pode ser lida verticalmente e seguir qualquer das variações demonstradas pelas setas.

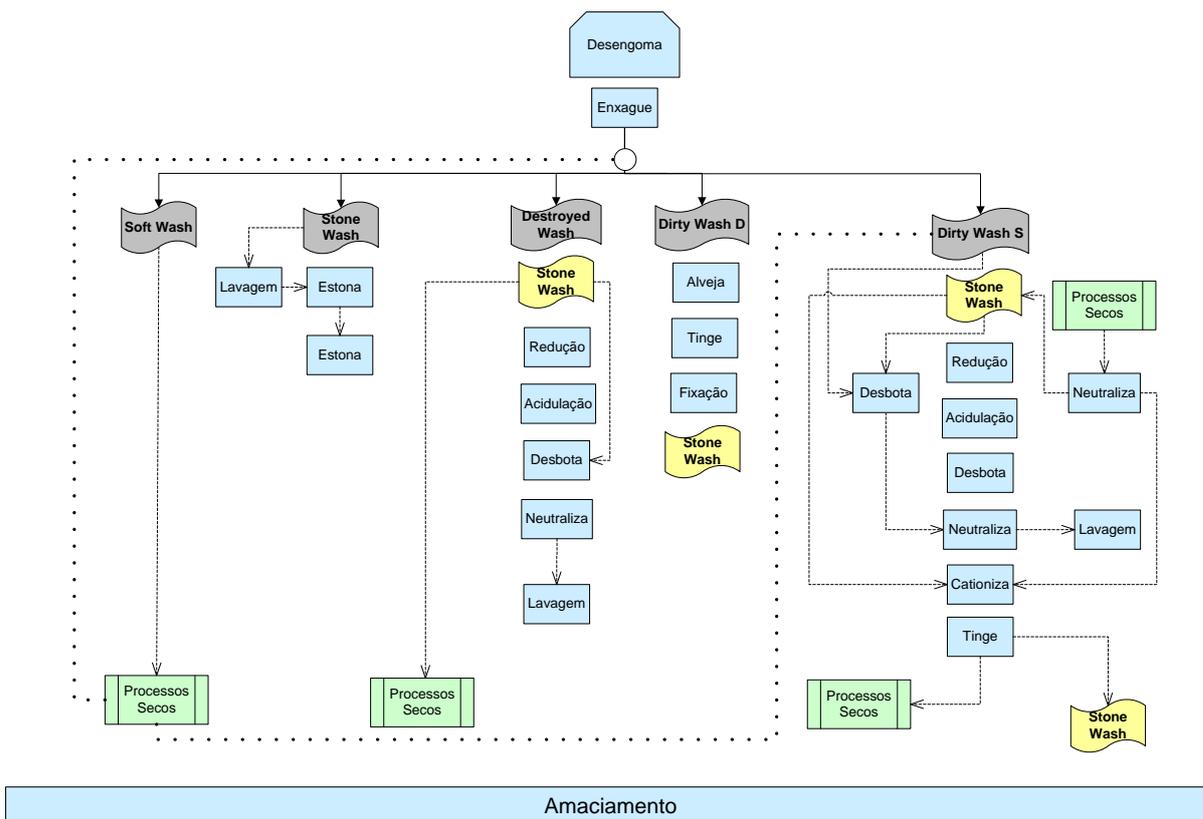


Figura 34. Fluxograma simplificado das lavagens e processos.

Com problemas na bomba centrífuga que recalrava o efluente final aos tanques de armazenamento, os testes de reúso foram interrompidos em janeiro e parcialmente em fevereiro.

Foram processadas nesta lavanderia durante o período dos testes 965 máquinas, destas, 573 foram processadas totalmente, ou parcialmente, com água da ETE, sendo aproximadamente 60% da produção no período (Figura 35). Desconsiderando os meses de janeiro e fevereiro, intervalo em que a bomba de recalque apresentou problemas, a porcentagem de máquinas processadas mensalmente com água de reúso passa de 36% para 45%.

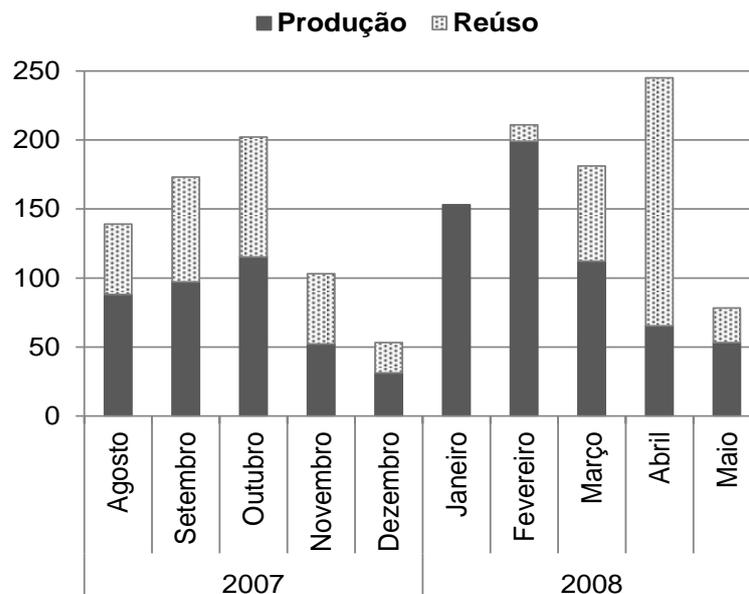


Figura 35. Receitas processadas com água de produção e de reúso.

O volume de água utilizado nos testes foi de 3.298 m³, destes 3.248 m³ foram de água de reúso. A porcentagem de reúso para todos os testes realizados foi de 98,5%. Vale ressaltar que esta porcentagem inclui os testes iniciais em escala real que desconsideraram o último enxágue e o amaciamento, e foram equivalentes a 11,5% dos testes. Após este período a porcentagem de reúso para os demais testes foi de 100%.

Foram realizadas 556 repetições, entre lavagens completas e etapas de lavagens, referentes a 47 diferentes receitas. Todos os testes corresponderam à bandeira-reúso aprovada. Foram produzidas 38 Toneladas de jeans, equivalente a aproximadamente 65000 peças, enquadradas com qualidade máxima e comercializadas, sendo aprovadas igualmente pela avaliação do contratante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efluente final demonstrou regularidade suficiente para atender a Instrução Normativa do IDEMA para o lançamento do efluente final do SITEL do DIN, e para os testes de reúso. Os parâmetros pH, cor, turbidez e sólidos sedimentáveis, utilizados neste estudo como variáveis de controle de qualidade de águas passíveis de reúso, não apresentaram grandes variações, o que foi essencial para o início dos testes.

De acordo o monitoramento realizado, os demais parâmetros utilizados na caracterização podem ser suprimidos, na medida em que estes se mostraram satisfatórios para o controle da qualidade dos efluentes para disposição final e reúso na lavanderia. Corroborando com os testes piloto, os testes em escala real comprovaram a possibilidade de reúso no beneficiamento de denim em todas as lavagens e processos, incluindo aqueles com corantes, em escala produtiva na lavanderia em estudo. Os métodos de controle e avaliação não interferiram no fluxograma da empresa e garantiram a segurança dos testes e qualidade do produto final.

A utilização em escala produtiva do efluente tratado, sustentado pelo monitoramento e metodologia de controle e avaliação sugerida neste estudo mostra-se válida na produção têxtil, por não conferir qualquer tipo de impacto negativo à qualidade das peças produzidas nas condições apresentadas, para os processos testados.

Não foram constatadas manchas, descoloração, deficiência do processo ou qualquer outro efeito indesejável nas peças testadas com o efluente tratado. Os testes comprovaram a viabilidade técnica para o reúso em escala produtiva sem a necessidade de tratamentos complementares. A ETE foi operada, durante o período dos testes, para obtenção dos parâmetros de lançamento no SITEL e visando a possibilidade de reúso. Durante os testes de reúso, a dosagem dos produtos se manteve dentro da média utilizada, e não houve aumento nos custos do tratamento.

Acredita-se que a metodologia aplicada apesar de desenvolvida a um caso particular, possa ser extrapolada as demais lavanderias para determinação da

possibilidade de reúso no beneficiamento de jeans com as adaptações necessárias a cada empresa.

O percentual de reúso com água da ETEI sem pós-tratamentos e diluições foi de 100% para todos os processos e repetições realizadas após a etapa inicial de ajuste dos testes. Foram realizadas 556 repetições, sendo todas as peças, aproximadamente 38 toneladas de jeans, enquadradas com qualidade máxima. Testes preliminares indicaram a possibilidade de reúso para lavagens em tecidos planos PT. Apesar da incipiência dos testes elaborados, a qualidade das peças em PT testadas com água de reúso apontam porcentagens de reúso acima de 50%.

Como recomendações para complementação desta pesquisa e aprimoramento para trabalhos futuros, têm-se: testes em escala piloto e real para avaliar a metodologia utilizada neste trabalho; estudo completo de viabilidade técnica aliada a viabilidade econômica aplicada a produção; monitoramento microbiológico do efluente tratado; avaliação do uso de filtros de areia após tratamento físico-químico como forma de polimento do efluente tratado visando reduzir os riscos do reúso; testes de reúso em processos de lavagens em tecidos PT.

REFERÊNCIAS

AL-KDASI, Adel et al. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes – a review. **Global Nest: the International Journal**. v. 6, n. 3, p. 222-230, feb. 2005.

ALMEIDA, Edna; et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**. v. 27, n. 5, p. 818-824, set./out. 2004.

AMORIM, Hildebrando Rebouças de. **Síntese dos processos de beneficiamento de tecidos**. Rio de Janeiro, SENAI/DN, SENAI/CETIQT, CNPq, IBICT, PADCT, TIB, 1996. 35 p. (Série Estudos Têxteis, 01-D).

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. v.2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984. In: MELO, A. R. Otimização do reúso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil. 2005. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

BARREDO-DAMAS, S. et al. Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of textile wastewater. **Desalination**, v. 182, p. 267-274, apr. 2005.

BELTRAME, L.T.C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161 p. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BERNAM, Débora; COSTA, Shirley; HABIB, Roseane Luz. **150 anos da indústria têxtil brasileira**. 1. ed. Rio de Janeiro: SENAI-CETIQT: Texto & Arte, 2000. 185 p. il.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Curtumes. In: _____. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. p. 233-278.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em 02 de nov de 2010

CAPRICÓRNIO. **Relatório de monitoramento - Efluentes industriais**. São Gonçalo do Amarante – RN. 2007.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. Brasília: Senado Federal - Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. 585 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências**. Resolução n. 54, de 28 de novembro de 2005.

DOS SANTOS, A. B. **Reductive decolourisation of dyes by thermophilic anaerobic granular sludge**. Wageningen: Wageningen University, 2005. v. 1. 176 p.

FREITAS, Kátia Regina de. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 2002. 172 p. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

GUERRA FILHO, D. **Águas Residuárias: uma Alternativa Racional de Reúso**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, ano 1, nº. 1, jul. 2006. Disponível em: <http://www.unifoa.edu.br/pesquisa/caderno/edicao/01/17.pdf>

HASSEMER, Maria Eliza Nagel; SENS, Maurício Luiz. **Tratamento do Efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação**. Engenharia sanitária e ambiental. Rio de Janeiro, v. 7, n.1 e 2, p. 30-36, abr./jun. 2002.

HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. **Conservação e reúso de água – Manual de orientações para o setor industrial – Volume I**. Organização: FIESP/CIESP. São

Paulo, 2004.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C.; RODRIGUES, L. D. B.; DA SILVA, M. C. C. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006, 29 p.

HEWSON, M. J. C. **The requirements for waste water treatment in the textile industry**. Ecotextile'98: Sustainable development. Proceedings of the Conference. Bolton, n.7-8, p. 43-49, 1998.

IDEMA. **Requisitos e padrões para recebimento de efluentes no sistema de esgotamento de efluentes líquidos do Distrito Industrial de Natal – DIN**. Instrução Normativa nº 001, de 03/11/2004. Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente – IDEMA. 2004.

IMHOFF. K R. **Manual de tratamento de águas residuárias/ Karl e Klaus R. Imhoff**. Tradução da 26. ed. Alemã. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998. 301p.

ITABORAHY, Marco Antônio; SILVA, Hermam Vargas. Indústrias de confecção no município de cianorte-pr e a necessidade de implantação de programas de gestão ambiental. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, v. 3, n.1, p. 27-34, jan./jun. 2006.

KAMMRADT, Patrícia Bastos. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada**. 2004. 107 p. (Dissertação de Mestrado). Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2004.

KUNZ, Airton; et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**. São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002.

LEME, Francílio Paes. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1990.

LENHARD, Daiana Cristina. Foto-oxidação catalítica aplicada ao tratamento de efluentes para obtenção de água para reúso na indústria têxtil. **Holos environment**, v.10, n.1, p. 27. 2010. ISSN: 1519-8634.

LU, Xujie et al. Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. **Desalination**, v. 258, p. 229-232, aug. 2010.

MATSUI, M. et al. **Evaluation of the genotoxicity of stevioside and steviol using six in vitro and one in vivo mutagenicity assays**. *Mutagenesis*, Oxford, v. 11, n. 6, p. 573-579, 1996.

MEDEIROS, M. E. C. **Perfil ambiental das indústrias têxteis do Rio Grande do Norte**. 2000. 151 p. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Termociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MELO, Aline Resmini. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. 2005. 219 p. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MESEGUER, C.; CABEZA, R.; COLL, M.; CRESPI, M. **O filtro percolador biológico – Um tratamento secundário para as águas residuárias industriais**. *Química Têxtil*. São Paulo: ABQCT, v. 51, p. 20-26, 1998.

NAJAM, Syed Asim. **The Study of Denim Washing**. 2002. 76 f. Project (Bachelor Of Textile Science) - Curso de Faculty Of Textile Sciences, Faculty Of Textile Sciences, Indus Institute Of Higher Education, Karachi, 2009. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/32212852/Denim-Washing-thesis#>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

NOGUEIRA, Raquel F. P.; JARDIM, Wilson F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 69-72, jul. 1998.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 2. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 1996. 277 p.

PERES, C.S.; ABRAHÃO, A.J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis. **Revista Química Têxtil**, V.21, p. 22–39, 1998.

RIBEIRO, Marília Cleto Meirelles. **Avaliação da possibilidade de reúso de efluentes têxteis após tratamento complementar por processos oxidativos**

avançados. 2009. 78 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Departamento de Escola de Engenharia da UFMG, UFMG, Belo Horizonte, 2009.

RYHINER, G.; BIROU, B.; GROS, H. The use of submerged structured packings in biofilm reactors for wastewater treatment. **Water Science and Technology.** v. 26, n. 3-4, p. 723-31, 1992.

SALGADO, Bruno César Barroso et al. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Eng. Sanit. Ambient.** [online], v. 14, n.1, p. 1-8, 2009. ISSN 1413-4152.

SANTOS, Ester Oliveira. **Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial.** 2006. 136 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFPE, Recife, 2006.

SENAI. CETIQT. **Denim; história, moda e tecnologia.** Estudo 01-A. Rio de Janeiro: SENAI-CETIQT, 1994. 63 p. il. (Série Tecnologia Têxtil).

SILVA, A. M. F. C. **Caracterização do efluente de uma indústria têxtil, visando possíveis usos.** 2004. 192 p. Dissertação (Mestrado em engenharia sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias). 2. ed. v. 1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005. 452 p.

TWARDOKUS, Rolf Guenter. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil.** 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Water and industry - needs, uses and demands.** World Water Forum. 3, 2003, Kyoto, Shiga e Osaka, mar. 2003.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Clean Water Needs Survey: Small Community Wastewater Needs.** 1999. 6 p. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=200044DI.txt>>. Acesso em Agosto de 2010.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse.** Washington, 2004. p. 17.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **In-plant Control of Pollution: Upgrading Textile Operations to Reduce Pollution.** Washington, 1974. p. 117-118.

VIANA, Fernando Luiz Emerenciano. **A indústria têxtil e de confecções no nordeste:** características, desafios e oportunidades. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2005. 66p. (Série documentos do ETENE, 06).

WHO – World Health Organization. **Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.** 2.ed. London: F & FN Spon, 1996. 651 p.

WPCF - Water Pollution Control Federation. **Water Reuse Manual of Practice.** 2. ed. Water Pollution Control Federation, Alexandria, Virginia, 1989. In: USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse.** Washington, 2004.

ZANELA, Geovanni et al. Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-Fenton e avaliação da potencialidade de reuso. **Química Nova**, v. 33, n. 5. 2010. ISSN 0100-4042.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Testes de reúso: lavagens, etapas, repetições e volume.

Série	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
1	13/08/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágüe e amaciamento.	Jet - Dirty Wash	0	2100	10	21	21	100,0
	14/08/2007				0	2100	10	21	21	100,0
	16/08/2007				0	2100	8	16,8	16,8	100,0
	31/08/2007				0	2100	6	12,6	12,6	100,0
	04/09/2007				0	2100	6	12,6	12,6	100,0
	18/09/2007				0	2100	7	14,7	14,7	100,0
	19/09/2007				0	2100	7	14,7	14,7	100,0
	20/09/2007				0	2100	7	14,7	14,7	100,0
2	29/08/2007	Soft Wash	desengomagem, enxágüe e amaciamento*	-	500	2100	5	8	10,5	76,2
3	03/09/2007	Stone Wash	desengomagem, enxágüe, estonagem, enxágüe, estonagem, enxágüe e amaciamento*	-	500	4400	3	11,7	13,2	88,6
	05/09/2007				500	4400	6	23,4	26,4	88,6
	10/09/2007				500	4400	5	19,5	22	88,6
	11/09/2007				500	4400	5	19,5	22	88,6
4	14/09/2007	Destroyed Wash	desengomagem, enxágüe, estonagem e enxágüe	Used	0	2800	5	14	14	100,0
5	25/09/2007	Stone Wash	desengomagem, enxágüe, estonagem, enxágüe, estonagem e enxágüe.	Used	0	4000	2	8	8	100,0
	26/09/2007				0	4000	6	24	24	100,0
6	01/10/2007	Stone Wash	desengomagem, enxágüe, estonagem e enxágüe.	Used - Puído	0	2800	2	5,6	5,6	100,0
	02/10/2007				0	2800	3	8,4	8,4	100,0
	04/10/2007				0	2800	5	14	14	100,0
	06/10/2007				0	2800	4	11,2	11,2	100,0
	09/10/2007				0	2800	4	11,2	11,2	100,0
7	12/10/2007	Stone Wash	desengomagem, enxágüe, estonagem, enxágüe, estonagem, enxágüe e amaciamento*	-	500	4500	5	20	22,5	88,9

APENDICE A. Continuação...

	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
8	22/08/2007	Dirty Wash D	desengomagem, enxágue, alvejamento, enxágue, tingimento, enxágue, fixação, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento*	Used - Pinado	500	9300	3	26,4	27,9	94,6
	23/08/2007				500	9300	2	17,6	18,6	94,6
	27/08/2007				500	9300	3	26,4	27,9	94,6
	28/08/2007				500	9300	4	35,2	37,2	94,6
9	27/09/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue* e amaciamento*	-	1500	9700	5	41	48,5	84,5
	28/09/2007				1500	9700	6	49,2	58,2	84,5
	01/10/2007				1500	9700	7	57,4	67,9	84,5
10	22/10/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Esmeril - Pinado	0	12400	5	62	62	100,0
	23/10/2007				0	12400	5	62	62	100,0
	24/10/2007				0	12400	5	62	62	100,0
	27/10/2007				0	12400	3	37,2	37,2	100,0
	29/10/2007				0	12400	2	24,8	24,8	100,0
11	04/12/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	-	0	7700	3	23,1	23,1	100,0
	05/12/2007				0	7700	4	30,8	30,8	100,0
12	05/12/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Tanque	0	9200	5	46	46	100,0
	10/12/2007				0	9200	2	18,4	18,4	100,0
13	12/11/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Esmeril	0	9200	5	46	46	100,0
	13/11/2007				0	9200	8	73,6	73,6	100,0
14	13/09/2007	Destroyed	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue e amaciamento*	-	500	10900	3	31,2	32,7	95,4
	14/09/2007				500	10900	2	20,8	21,8	95,4

APENDICE A. Continuação...

	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
15	10/10/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem e enxágue	Pinado - Used - Dirty Wash	0	2800	4	11,2	11,2	100,0
	11/10/2007				0	2800	4	11,2	11,2	100,0
	12/10/2007				0	2800	5	14	14	100,0
	15/10/2007				0	2800	4	11,2	11,2	100,0
16	25/10/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem e enxágue	Used - Dirty Wash	0	4000	6	24	24	100,0
	26/10/2007				0	4000	6	24	24	100,0
	27/10/2007				0	4000	3	12	12	100,0
17	03/11/2007	Destroyed	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem e enxágue	Used	0	4000	6	24	24	100,0
	05/11/2007				0	4000	8	32	32	100,0
	06/11/2007				0	4000	8	32	32	100,0
	07/11/2007				0	4000	6	24	24	100,0
18	07/11/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação e enxágue	Esmeril - Dirty Wash	0	6000	5	30	30	100,0
	08/11/2007				0	6000	5	30	30	100,0
19	03/12/2007	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue e amaciamento	-	0	10900	3	32,7	32,7	100,0
	04/12/2007				0	10900	4	43,6	43,6	100,0
20	16/10/2007	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização e enxágue	Used - Dirty Wash	0	9200	3	27,6	27,6	100,0
	17/10/2007				0	9200	5	46	46	100,0
21	28/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue e amaciamento.	Jet - Dirty Wash - Used - Puído	0	2100	10	21	21	100,0
	29/04/2008				0	2100	12	25,2	25,2	100,0
22	19/03/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem e enxágue	Jet - Used - Esmeril - Dirty wash	0	4000	7	28	28	100,0
	20/03/2008				0	4000	8	32	32	100,0
23	14/04/2008	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem + pedra e enxágue	Lavagem, enxágue e amaciamento - Lixa	0	2800	2	5,6	5,6	100,0

APENDICE A. Continuação...

	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
24	22/04/2008	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem e enxágue.	Used - Lixado - Puído - Amaciado	0	2800	3	8,4	8,4	100,0
25	24/04/2008	Stone Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento	Lixado	0	3300	4	13,2	13,2	100,0
26	29/04/2008	Stone Wash	lavagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento	-	0	5300	3	15,9	15,9	100,0
27	11/02/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Puído	0	9200	2	18,4	18,4	100,0
	0				9200	8	73,6	73,6	100,0	
	0				9200	6	55,2	55,2	100,0	
	0				9200	2	18,4	18,4	100,0	
28	04/03/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue, estonagem, enxágue e amaciamento	-	0	9700	1	9,7	9,7	100,0
	0				9700	4	38,8	38,8	100,0	
29	06/03/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	Used - Tanque	0	2700	5	13,5	13,5	100,0
30	12/03/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	Used	0	5300	4	21,2	21,2	100,0
31	24/03/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	Jet - Used - Puído	0	5300	5	26,5	26,5	100,0
	0				5300	7	37,1	37,1	100,0	
32	26/03/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem e enxágue	Used - Pinado - Tanque - Dirty Wash	0	3100	1	3,1	3,1	100,0

APENDICE A. Continuação...

	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
33	08/04/2008	Dirty Wash	cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Pinado - Tanque - Dirty Wash	0	3400	1	3,4	3,4	100,0
34	31/03/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used	0	9200	3	27,6	27,6	100,0
35	03/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação e enxágue	Used - Esmeril - Dirty Wash	0	6000	13	78	78	100,0
	04/04/2008				0	6000	10	60	60	100,0
36	07/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	-	0	7700	4	30,8	30,8	100,0
37	07/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	-	0	6500	3	19,5	19,5	100,0
38	08/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem e enxágue	Used - Dirty Wash	0	4000	5	20	20	100,0
	09/04/2008				0	4000	6	24	24	100,0
39	11/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, lavagem, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue.	Used - Esmeril	0	7200	6	43,2	43,2	100,0
	12/04/2008				0	7200	6	43,2	43,2	100,0
	14/04/2008				0	7200	9	64,8	64,8	100,0
	15/04/2008				0	7200	9	64,8	64,8	100,0
40	16/04/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, estonagem, enxágue, alvejamento, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Puído	0	8800	6	52,8	52,8	100,0
	17/04/2008				0	8800	8	70,4	70,4	100,0
	18/04/2008				0	8800	9	79,2	79,2	100,0
	19/04/2008				0	8800	4	35,2	35,2	100,0
	22/04/2008				0	8800	5	44	44	100,0
	23/04/2008				0	8800	4	35,2	35,2	100,0

APENDICE A. Continuação...

	Data	Lavagem	Etapas de Reúso	Etapas da Produção	Poço	Volume Total (L)	Nº Máq.	Reúso (m³)	Total (m³)	Reúso (%)
41	29/04/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	Esmeril	0	5300	5	26,5	26,5	100,0
	30/04/2008				0	5300	5	26,5	26,5	100,0
42	05/05/2008	Dirty Wash	neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento, enxágue e amaciamento	Jet - Used - Puído	0	5300	5	26,5	26,5	100,0
43	06/05/2008	Dirty Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, cationização, enxágue, tingimento e enxágue	Used - Esmeril	0	9200	3	27,6	27,6	100,0
	07/05/2008				0	9200	8	73,6	73,6	100,0
	09/05/2008				0	9200	8	73,6	73,6	100,0
44	04/03/2008	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, redução, enxágue, acidulação, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, lavagem, enxágue e amaciamento	Used	0	11300	6	67,8	67,8	100,0
45	05/03/2008	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem e enxágue	Pedra - Used	0	2800	5	14	14	100,0
	07/03/2008				0	2800	3	8,4	8,4	100,0
	08/03/2008				0	2800	2	5,6	5,6	100,0
46	24/04/2008	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem + pedra e enxágue	Lixado - Tanque - Puído - Amaciado	0	3000	3	9	9	100,0
47	25/04/2008	Destroyed Wash	desengomagem, enxágue, estonagem, enxágue, desbotamento, enxágue, neutralização, enxágue, lavagem, enxágue e amaciamento	-	0	8100	4	32,4	32,4	100,0
	30/04/2008				0	8100	6	48,6	48,6	100,0

Nota: Nas etapas de reúso processos marcados com (*) foram processados com água da produção.

