



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS E
RESIDUÁRIAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL

BONÁDIA WILMA RODRIGUES BATISTA

CAMPINA GRANDE

JULHO / 2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CAMPUS II

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS E
RESIDUÁRIAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL**

BONÁDIA WILMA RODRIGUES BATISTA

CAMPINA GRANDE – PB

2000

BONÁDIA WILMA RODRIGUES BATISTA

**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS E
RESIDUÁRIAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS
SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA**

ORIENTADORES: Prof^ª Dr^ª. ANNEMARIE KÖNIG

Prof^ª. Dr^ª BEATRIZ SUSANA OVRUSKI. CEBALLOS

CAMPINA GRANDE – PB.

2000



B333c

Batista, Bonádia Wilma Rodrigues.

Caracterização das águas utilizadas e residuárias do processo de reciclagem de papel / Bonádia Wilma Rodrigues Batista. - Campina Grande, 2000.

106 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.

"Orientação : Profa. Dra. Annemarie Konig, Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos".

Referências.

1. Esgoto Industrial. 2. Água Utilizada - Indústria. 3. Reciclagem de Papel - Indústria. 4. Águas Residuárias. 5. Efluentes - Poluição. 6. Dissertação - Engenharia Civil. I. Konig, Annemarie. II. Ceballos, Beatriz Suzana Ovruski de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

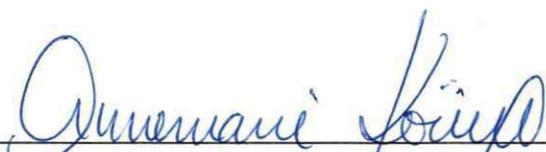
CDU 628.3.034.2(043)

BONÁDIA WILMA RODRIGUES BATISTA

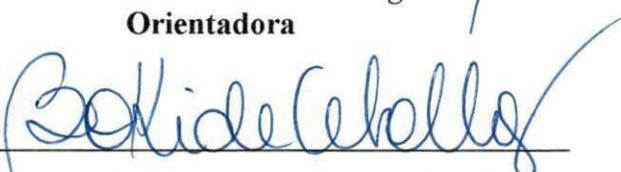
**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS E
RESIDUÁRIAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:

COMISSÃO EXAMINADORA



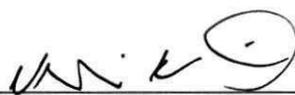
Profª Drª. Annemarie König
Orientadora



Profª Drª. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Orientadora



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Examinador Interno



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite
Examinador Externo (UEPB)

CAMPINA GRANDE – PB

2000

Dedico este trabalho:

A Deus, autor da vida e o principal responsável por mais esta vitória.

Aos meus pais, pela dedicação, apoio, amor e por se doarem de tal maneira que muitas vezes renunciaram aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu.

“Se clamares por entendimento e por inteligência
alçares a tua voz,
se como a prata a buscares e como a tesouros
escondidos a procurares,
então entenderás o temor do Senhor, e acharás o
conhecimento de Deus.

Porque o senhor dá a sabedoria: da sua boca vem o
conhecimento e o entendimento.

Ele reserva a verdadeira sabedoria para os retos:
escudo é para os que caminham na sinceridade.”

Provérbio 2:3 a 7.

“Grandes coisas fez o Senhor por nós e por isso
estamos alegres.”

Salmos 126:3

AGRADECIMENTOS

Ao onipotente e eterno Deus, e ao Senhor e Salvador da minha vida - Jesus Cristo, que é fonte de toda sabedoria, que dá a paz que excede todo e qualquer entendimento, e que sobre sua imensa graça tornou tudo possível para que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, José Batista Filho e Maria das Neves Rodrigues Batista, pelo exemplo de vida, oração, amor e estímulo em todos os momentos

Aos meus irmãos Boanerges R. Batista e Bersange R. Batista, que estiveram sempre ao meu lado dando força e incentivo.

A Annemarie König e Beatriz Susana Ovruski. Ceballos, pela orientação durante a realização deste trabalho, pela dedicação e apoio, que muitas vezes foram comparados ao de uma mãe.

Ao professor Rui Oliveira, pelas contribuições dadas sempre que foi solicitado.

A IPELSA S/A – Indústria de Papel e Celulose da Paraíba, por abrir suas portas para a realização desta pesquisa.

Aos funcionários da IPELSA, em particular Gastão Justus e Elder Araújo, que me ajudaram tanto na parte prática como também na parte teórica, e a Isomário Lisboa que sempre esteve disposto a colaborar nos trabalhos de coleta, principalmente nos perfis de 24 horas.

A minha “turminha” tão amada: Biba, Christiano, Gó, Joelma (Dedé), Josy, e Keilinha, pela contribuição, cada um de uma forma especial, pela amizade e carinho.

A minha fiel amiga-irmã Mônica (Bola) e toda a sua família, que sempre estiveram presente e nunca esqueceram de mim em suas orações.

Agradecimentos

Aos amigos de Engenharia Química e Materiais, pelo incentivo e momentos alegres, principalmente a Zora, Múcio e Wilma.

Aos amigos do mestrado Malba, Ofélia, Barbará, Nilana, Marcelo, Jean, Izulamar, Bemvindo e Erly, pela amizade e ajuda.

A Nivson, que nunca mediu esforços sempre que precisei de sua ajuda, pela sua grande colaboração e amizade, que foram fundamentais para o bom andamento da fase experimental e até na elaboração da dissertação.

Aos funcionários da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental, nas pessoas de Valmária, Cristina e Alves.

A todos os alunos do Pibic, em especial Alysson, Janailton e Petrócio, pela ajuda no laboratório.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Enfim a todos que contribuíram de forma direta e indiretamente na colaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xvii
Resumo	xxi
Abstract.....	xxii
Capítulo 1 - Introdução e Objetivos.....	001
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	003
2.1 - História do papel.....	003
2.2 - Matérias-primas utilizadas na fabricação de papel.....	005
2.2.1 - Matérias-primas fibrosas.....	005
2.2.2 - Matérias-primas não-fibrosas.....	006
2.3 - Composição química dos materiais lignocelulósicos	007
2.4 - Fontes de poluição e problemas ambientais causadas pela indústria de celulose e papel.....	009
2.5 - Processos de fabricação do papel a partir da madeira	010
2.6 - Despejos passíveis de reutilização em indústrias de fabricação do papel a partir da madeira.....	012
2.7 - Tratamento de efluentes.....	012
2.7.1 - Pré- tratamento	013
2.7.2 - Sedimentação secundário	013
2.7.3 - Tratamento biológico.....	014
2.8 - Reciclagem.....	016
2.9 - Reciclagem de papéis	017
2.10 - Terminologia e classificação das aparas.....	017
2.11 - Processo de fabricação de papel com a utilização de aparas e papéis velhos.....	018
2.11.1 - Desagregadores	018
2.11.2 - Peneiração e limpeza	020
2.11.3 - Fracionamento.....	020
2.11.4 - Refinação	021

2.11.5 - Máquina de papel.....	021
2.11.6 - Secagem de papel	023
2.11.7 - Acabamento e estoque	024
2.12 – Efluentes do processo de reciclagem de papel	024
Capítulo 3 - Material e Métodos	026
3.1 - Descrição da empresa	026
3.2 - Matéria-prima.....	026
3.3 - Descrição do processo de reciclagem de aparas de papel na IPELSA	026
3.4 - Metodologia de amostragem	029
3.4.1 - Pontos de amostragem	029
3.4.2 - Período e frequência de amostragem.....	032
3.4.3 - Procedimento da coleta.....	032
3.5 - Parâmetros analisados e métodos analíticos	032
3.6 – Análises estatísticas	034
Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados	035
4.1 - Monitoramento	035
4.1.1 - Variação espaço temporal.....	035
4.1.1.1 - Temperatura.....	035
4.1.1.2 - pH	039
4.1.1.3 – Condutividade elétrica.....	041
4.1.1.4 – Turbidez.....	042
4.1.1.5 – Alcalinidade.....	044
4.1.1.6 – Dureza	044
4.1.1.7 – Cloretos.....	047
4.1.1.8 – Sulfatos.....	048
4.1.1.9 – Sólidos totais e suas frações	049
4.1.1.10 – Sólidos suspensos e suas frações.....	053
4.1.1.11 – Sólidos sedimentáveis	057
4.1.1.12 – Demanda bioquímica de oxigênio.....	059
4.1.1.13 - Demanda química de oxigênio	061
4.1.1.14 – Cálcio e magnésio	063

Sumário

4.1.1.15 – Carbonato e bicarbonato.....	065
4.1.1.16 – Sódio e potássio	067
4.1.2 – Estudo das correlações (SPSS).....	069
4.2 –Estudo do ciclo diário	073
4.2.1 – Variação espaço temporal	073
4.2.2 - Análise das cargas poluídoras geradas pelo processo e lançadas no riacho de Bodocongó.....	090
4.2.3 – Estudo das correlações (SPSS).....	093
Capítulo 5 – Discussão.....	096
Conclusão.....	101
Referência Bibliográfica.....	103

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Figura 2.1 - Estrutura molecular da celulose	008
Figura 2.2 – Fluxograma das operações de preparação da madeira antes da polpação.....	011
Figura 2.3 - Sistema básico de circulação de massa em uma máquina Fourdrinier.....	025
Figura 2.4 - Sistema de água branca.....	025
Figura 2.5 – Prensagem com rolo de sucção.....	025

Capítulo 3 – Material e Métodos

Figura 3.1 - Fluxograma do processo de reciclagem de aparas de papel na IPELSA S/A, Campina Grande – PB	027
Figura 3.2 - Localização dos tanques da mesa plana para recuperação dos efluentes durante a formação da folha de papel - IPELSA S/A, Campina Grande – PB	030
Figura 3.3 - Sistema de drenagem no feltro - IPELSA S/A, Campina Grande -PB.....	031

Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados

Figura 4.1 - Variação de temperatura, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	038
Figura 4.2 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da temperatura entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	038
Figura 4.3 - Variação de pH, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)	040
Figura 4.4 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do pH entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	040
Figura 4.5 - Variação da condutividade elétrica, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)...	041

Figura 4.6 - Variação de turbidez, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 043

Figura 4.7 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da turbidez entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 043

Figura 4.8 - Variação da alcalinidade, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 045

Figura 4.9 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da alcalinidade entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 045

Figura 4.10 – Variação de dureza, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 046

Figura 4.11 – Variação de cloretos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 047

Figura 4.12 - Variação de sulfato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 048

Figura 4.13 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do sulfato entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 048

Figura 4.14 – Variação de sólidos totais, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 051

Figura 4.15 – Variação dos sólidos totais fixos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).... 051

Figura 4.16 – Variação dos sólidos totais voláteis, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)... 051

Figura 4.17 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos totais entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 052

Figura 4.18 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos totais fixos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 052

Figura 4.19 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos totais voláteis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 052

Figura 4.20 – Variação dos sólidos suspensos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 055

Figura 4.21 – Variação dos sólidos suspensos fixos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)... 055

Figura 4.22 – Variação dos sólidos suspensos voláteis, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 ((efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)... 055

Figura 4.23 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos suspensos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 056

Figura 4.24 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos suspensos fixos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 056

Figura 4.25 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos suspensos voláteis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 056

Figura 4.26 – Variação dos sólidos sedimentáveis, nos pontos P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB) 058

Figura 4.27 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos sedimentáveis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 058

Figura 4.28 – Variação da DBO₅, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB)..... 060

Figura 4.29 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da DBO ₅ entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	060
Figura 4.30 – Variação da DQO, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	062
Figura 4.31 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da DQO entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	062
Figura 4.32 – Variação de cálcio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	064
Figura 4.33 – Variação de magnésio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	064
Figura 4.34 – Variação de carbonato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	066
Figura 4.35 – Variação de bicarbonato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	066
Figura 4.36 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do carbonato entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	066
Figura 4.37 – Variação do sódio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	068
Figura 4.38 – Variação do potássio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).....	068
Figura 4.39 – Variação espaço-temporal da temperatura nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB)	074
Figura 4.40 – Variação espaço-temporal do pH nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB)	075

Figura 4.41 – Variação espaço-temporal da condutividade elétrica nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).....	076
Figura 4.42 – Variação espaço-temporal da turbidez nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB)	077
Figura 4.43 – Variação espaço-temporal das concentrações da DBO ₅ nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).....	078
Figura 4.44 – Variação espaço-temporal das concentrações da demanda química de oxigênio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB)	079
Figura 4.45 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).....	081
Figura 4.46 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais fixos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB) .	081
Figura 4.47 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais volátil nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB) .	081
Figura 4.48 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos totais nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB) .	082
Figura 4.49 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos fixos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB) .	082
Figura 4.50 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos voláteis nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).....	082

- Figura 4.51 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos sedimentáveis nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) . 083
- Figura 4.52 – Variação espaço-temporal das concentrações de dureza nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB)..... 085
- Figura 4.53 – Variação espaço-temporal das concentrações de cloretos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 085
- Figura 4.54 – Variação espaço-temporal das concentrações de alcalinidade nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 085
- Figura 4.55 – Variação espaço-temporal das concentrações de sulfato nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB)..... 086
- Figura 4.56 – Variação espaço-temporal das concentrações de sódio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB)..... 088
- Figura 4.57 – Variação espaço-temporal das concentrações de potássio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 088
- Figura 4.58 – Variação espaço-temporal das concentrações de magnésio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 088
- Figura 4.59 – Variação espaço-temporal das concentrações de cálcio, nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB)..... 089
- Figura 4.60 – Variação espaço-temporal das concentrações de bicarbonato nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 089
- Figura 4.61 – Variação espaço-temporal das concentrações de carbonato nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 **(a)** e 30/06 – 01/07/99 **(b)**, na IPELSA (Campina Grande – PB) 089

Figura 4.62 – Flutuações (mínimo e máximo) da vazão do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	091
Figura 4.63 – Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de DBO ₅ do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	091
Figura 4.64 – Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de DQO do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	091
Figura 4.65 – Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de sólidos totais do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	092
Figura 4.66 – Flutuações (mínimo e máximo) da carga de sólidos suspensos do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	092
Figura 4.67 – Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de sólidos sedimentáveis do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.....	092

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Tabela 2.1 - Composição química das madeiras	008
Tabela 2.2 - Terminologia e classificação das aparas comumente utilizadas	019

Capítulo 3 – Material e Métodos

Tabela 3.1 - Parâmetros hidráulicos, físico-químicos e procedimentos analíticos utilizados na caracterização das águas utilizadas e residuárias produzidas pela IPELSA S/A - Campina Grande (PB)	033
--	-----

Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados

Tabela 4.1 - Estatística descritiva dos pontos P1 (água do açude de Bodocongó), P2 (saída do engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados durante jan-jul/99 na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).	036
Tabela 4.2 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de temperatura nos quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	038
Tabela 4.3 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de pH em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	039
Tabela 4.4 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de condutividade elétrica em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	041
Tabela 4.5 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de turbidez em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	043
Tabela 4.6 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de alcalinidade em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	045

Tabela 4.7 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de dureza em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 046

Tabela 4.8 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos cloretos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 047

Tabela 4.9 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sulfatos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).. 048

Tabela 4.10 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 050

Tabela 4.11 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais fixos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 050

Tabela 4.12 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais voláteis em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 050

Tabela 4.13 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos totais em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 054

Tabela 4.14 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos totais fixos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 054

Tabela 4.15 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos totais voláteis em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 054

Tabela 4.16 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos sedimentáveis em três pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)..... 057

Tabela 4.17 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de DBO₅ em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB) 059

Tabela 4.18 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de DQO em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	062
Tabela 4.19 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de cálcio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	063
Tabela 4.20 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de magnésio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	063
Tabela 4.21 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de carbonato em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	065
Tabela 4.22 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de bicarbonato em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	065
Tabela 4.23 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de sódio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	067
Tabela 4.24 - Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de potássio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB)	067
Tabela 4.25 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos monitorados no ponto P1 (açude Bodocongó), do processo de reciclagem de papel da IPELSA (Campina Grande – PB)	071
Tabela 4.26 - Matriz conjunto de correlação entre os parâmetros físico-químicos monitorados nos pontos P2, P3 e P4 do processo de reciclagem de papel da IPELSA (Campina Grande – PB)	072
Tabela 4.27 - Matriz de correlação da vazão e das cargas orgânicas e sólidas no ponto P4 (efluente final), no 1º perfil (22-23/04/99), na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	094
Tabela 4.28 - Matriz de correlação da vazão e das cargas orgânicas e sólidas no ponto P4 (efluente final), no 2º perfil (30/06 e 01/07/99), na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).....	095

RESUMO

A utilização de grandes quantidades de água pelo setor papelero vem causando preocupação, pois além da geração de elevados volumes de efluentes líquidos, estes apresentam concentrações elevadas de material orgânico, que podem prejudicar o corpo aquático receptor. O objetivo deste trabalho foi a caracterização da água utilizada e dos efluentes gerados por uma indústria de reciclagem de papel (IPELSA S/A), localizada em Campina Grande no estado da Paraíba através de parâmetros hidráulicos (vazão) e físico-químicos (temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, DBO₅, DQO, sólidos sedimentáveis, totais e suspensos com suas frações fixa e volátil, alcalinidade, dureza, cloretos, sulfato, sódio, potássio, magnésio, cálcio, carbonato e bicarbonato. A altura da lâmina líquida (para o cálculo da vazão) e a temperatura eram medidas no momento da coleta. As demais análises eram realizadas no Laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AES - DEC - CCT - UFPB - CAMPUS II, Campina Grande - PB). As análises compreenderam um estudo espaço-temporal (monitoramento) e dois experimentos no ciclo diário (perfil). O primeiro foi realizado durante 7 meses (jan-jul/99), com amostras coletadas entre 13 e 15 horas, com frequência mensal. A avaliação dos resultados dessa etapa foi feita através da estatística descritiva, análise de variância (ANOVA: fator único) com o método GT - 2 e análise de correlação múltipla (SPSS for Windows). O estudo do ciclo diário foi realizado durante um dia de funcionamento da empresa, com início às 08 horas de um dia e término às 06 horas do dia seguinte, com coleta de amostras a cada 2 horas. O objetivo desse estudo foi observar o comportamento das águas residuárias lançadas num corpo receptor e avaliar o poder poluidor desse efluente. O monitoramento evidenciou que a água utilizada no processo, proveniente do açude de Bodocongó, foi muito modificada, particularmente com relação à DBO₅, DQO e Sólidos Totais, Suspensos e Sedimentáveis. A incorporação das microfibras, que atravessaram a mesa plana durante a etapa de formação da folha, introduziram no efluente final uma elevada carga de material orgânico e sólidos elevando a turbidez, a DBO₅ e a DQO até valores de 560 uT, 943 mg/L e 3.145 mg/L, respectivamente, perenizando, na época de estiagem, o corpo receptor, riacho de Bodocongó, com uma vazão entre 33,7 e 95,9 m³/h. Foram observadas correlações positivas e significativas entre diversos parâmetros que quantificam a matéria orgânica, como DQO e DBO ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,557$), DQO e ST ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,558$), DQO e SST ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,722$), turbidez e DBO₅ ($\alpha = 0,05$ e $r = 0,547$), demonstrando que estas microfibras foram a principal causa das alterações observadas no efluente em relação à água utilizada no processo. Os estudos do ciclo diário mostraram uma ampla variação da maioria dos parâmetros analisados, não sendo possível observar entre os dois experimentos uma coincidência entre os horários de vazão máxima e mínima bem como das concentrações dos parâmetros analisados, resultando no lançamento no riacho de Bodocongó, de cargas orgânicas (DBO₅, DQO) e de sólidos (ST, SS e SSed) bastante variadas ao longo de um dia de funcionamento da empresa.

ABSTRACT

The use of large amounts of water by the paper industry is causing concern, because the generation of high volumes of liquid effluents, with significant concentrations of organic material, which can harm the receiving water body. In this work the water flow was monitored together with physical and chemical parameters in samples from the water used and the effluents generated in a recycling paper industry (IPELSA S/A), located in Campina Grande – Paraíba State – Northeast of Brazil. The work comprised a monitoring program and daily cycles profiles with measurements of hydraulic (flow) and physical-chemical parameters (temperature, pH, turbidity, electric conductivity, BOD₅, COD, total, settleable and suspended solids and its fixed and volatile fractions, alkalinity, hardness, chloride, sulfate, sodium, potassium, magnesium, calcium, carbonate and bicarbonate). The height of the liquid in a V notch (for flow calculation) and the temperature were measured during sample collection. The other analyses were carried out in the laboratory of the Sanitary and Environmental Engineering Area (AESÁ - DEC -CCT - UFPB - CAMPUS II, Campina Grande - PB). The monitoring was accomplished in 7 months (jan-jul/99), with monthly samples collected between 13 and 15 hours. Results were evaluated through descriptive statistics, variance analysis (ANOVA: one way) with GT-2 method and multiple correlation analysis (SPSS for Windows 8.0). The daily cycle studies comprised a one day factory operation starting at 08 a.m. and ending 06 a.m. next day, with sample collection every 2 hours, aiming the study of the final effluent behavior and to evaluate the pollution power discharged in the receiving body. The monitoring showed that the water used in the process, coming from the Bodocongó dam, was highly modified, particularly to parameters such as BOD₅, COD and total, suspended and settleable solids. The incorporation of microfibers, originated during the paper sheet formation, introduced in the final effluent a high load of organic and solid material raising turbidity, BOD₅ and COD to 560 Tu, 943 mg/L and 3.145 mg/L, respectively, and introducing a flow between 33,7 and 95,9 m³/h. Positive and significant correlations were observed among several parameters particularly those related to organic matter, such as COD and BOD₅ ($\alpha = 0,01$ and $r = 0,557$), COD and TS ($\alpha = 0,01$ and $r = 0,558$), COD and TSS ($\alpha = 0,01$ and $r = 0,722$), turbidity and BOD₅ ($\alpha = 0,05$ and $r = 0,547$), demonstrating that microfibers were the main cause of the observed alterations in the effluent in relation to water used in the process. The studies of daily cycles showed a wide variation in most of the parameters, not being possible to observe among the two experiments, coincidence among maximum and minimum flow values as well as in the concentrations of the analyzed parameters, resulting the release in the Bodocongó stream of high organic loads (BOD₅, COD) and solids loads (TS, SS and SS_{Set}).

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No âmbito mundial, os recursos hídricos vem recebendo a interferência do homem, seja de forma dispersa, com a aplicação de defensivos agrícolas no solo, seja de forma concentrada, com a geração e aplicação de esgotos domésticos e industriais, contribuindo na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade (von SPERLING, 1.996). No decorrer da história, a população humana aumenta e se espalha rapidamente, e os resíduos gerados como subprodutos de suas atividades transcendem a capacidade de depuração do meio ambiente, que passa a não mais incorporar estes elementos em seus ciclos (FIGUEIREDO, 1.994)

Com o progresso em todos os setores produtivos e de serviços, a utilização de papel se tornou cada vez maior, de tal forma que desenvolvimento de novos usos e produtos a partir do papel foi responsável pelo rápido crescimento desta atividade industrial (GURNHAN, 1.985). Para suprir a crescente demanda do mercado, foram realizados estudos sobre novos tipos de matérias-primas para a fabricação do papel, novos processos, bem como adaptações dos processos antigos.

A reciclagem de aparas de papéis usados foi uma dessas adaptações, por contribuir para a conservação dos recursos: (1) naturais, visto que 1 tonelada de aparas corresponde em torno de 2 a 4 m³ de madeira utilizada; (2) energética, pois o uso de aparas reduz consumo de energia em até 65% em relação a uma indústria integrada; e (3) ambiental, pela redução do acúmulo de papel no meio ambiente (IPT, 1.988). No entanto esta atividade industrial ainda libera, sob a forma efluente líquidos elevadas cargas de material orgânico, o que constitui não só um desperdício de água e de matéria prima, mas principalmente uma poluição dos cursos d'água receptores, conferindo cor e turbidez, e favorecem a formação de bancos de lodo, que expressam o assoreamento dos rios e prejudicam a todos os seres que lá vivem e deles dependem.

Este trabalho objetivou a caracterização dos aspectos hidráulicos e físico-químicos da água utilizada e dos efluentes líquidos gerados no processo de reciclagem de aparas de papel de uma indústria situada em Campina Grande (PB) e avaliação da carga poluidora descarregada no corpo receptor, riacho de Bodocongó. Durante um período de 7 meses (jan-jul/99) foram realizados o monitoramento sistemático e dois experimentos no ciclo diário para avaliar o comportamento dessas águas. Os resultados foram analisados através de estatística descritiva, correlações múltiplas (*SPSS for windows*) e da análise de variância (ANOVA: fator único).

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - HISTÓRIA DO PAPEL

Desde os tempos mais antigos e com a finalidade de representar objetos inanimados ou em movimento, o homem vem desenhando nas superfícies dos mais variados materiais. Nesta atividade, tão intimamente ligada ao raciocínio, utilizou, inicialmente, as superfícies de materiais que a natureza oferecia praticamente prontos para seu uso, como: paredes rochosas, pedras, ossos, folhas de plantas, entre outras (BANDEIRA, 1.996).

Com o desenvolvimento da inteligência humana, as representações gráficas foram se tornando cada vez mais complexas, passando a significar idéias. Isto fez com que o homem desenvolvesse e utilizasse utensílios por ele criados, como o barro cozido, os tecidos de fibras diversas, os papiros, os pergaminhos e finalmente o papel (IPT, 1.988).

Os espécimes mais antigos de papiro, preparados à base de tiras extraídas dos caules de uma planta da família das ciperáceas, muito abundante nas margens do rio Nilo, foram encontrados em túmulos egípcios, cuja origem remonta ao ano 3.000 a.C. Uma das técnicas usadas pelos egípcios para a preparação do papiro resumia-se em cortar as hastes do papiro em lâminas e prensá-las para formar folhas. Sabe-se, porém que o uso do papiro continuou até o século IX da era Cristã (LIBBY, 1.977).

Os pergaminhos de origem animal, na sua forma mais rudimentar, datam do ano 2.000 a.C. e somente por volta do século II a.C., apareceram em forma de películas mais delgadas e mais finamente acabadas (IPT, 1.988).

A maioria dos historiadores atribui a Ts'AI Lum, ministro das obras públicas do imperador Ho-Ti, em 105 d.C na China, a primazia de ter feito o papel por meio de polpação de redes de pesca e de trapos, e mais tarde usando fibras vegetais (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1.999). O processo consistia em um cozimento forte das fibras, que posteriormente eram batidas e esmagadas. A pasta, obtida pela dispersão das fibras, era depurada e a folha, formada sobre uma peneira feita de juncos delgados unidos entre si por seda ou crina, era fixada em uma armação de madeira. Conseguia-se formar a folha

celulósica, mediante o despejo de uma certa quantidade de material de dispersão sobre o molde. Procedia-se à secagem da folha, comprimindo-a sobre uma placa de material poroso ou deixando-a pendurada ao ar (IPT, 1.988).

A fabricação do papel difundiu-se lentamente, porque os chineses tentaram manter o segredo dentro de suas fronteiras. Aparentemente conseguiram tal propósito, até o ano de 751 d.C., quando alguns árabes capturaram chineses que conheciam a arte de fazer o papel, com isto tornaram possível a quebra do monopólio (IPT, 1.988).

Embora o papel estivesse sendo introduzido na Europa, o pergaminho era o material dominante para o registro de documentos permanentes. Em 1.231, o Imperador da Sicília determinou que todos os documentos fossem elaborados em pergaminho, uma vez que “eles deveriam testemunhar para os tempos futuros e não correrem riscos de serem destruídos com o tempo” (ABTCP, 1.998)

No fim do século XVI, os holandeses inventaram uma máquina que permitia diminuir o tempo para desfazer trapos. Outra inovação na arte de se fazer manualmente as folhas de papel foi o emprego de telas de arame em substituição dos moldes, inicialmente formados por varetas e, mais tarde, por fios retos.

Em 1.719, o francês Réaumur sugeriu o uso de madeira como matéria-prima para a fabricação de papel, pois com a propagação das indústrias durante a Revolução Industrial, aumentou seu consumo, pela difusão e alteração de normas de contabilidade e controle escrito. Por sua vez, o incremento dos meios de comunicação, através das notícias pelos jornais, livros escolares e obras literárias, contribuiu para o desenvolvimento do setor.

Com o aumento do consumo de papel, requisitava-se também processos mais eficientes. Observando-se, ao lado do surgimento de novos materiais, a concepção e a criação de equipamentos e dentre estes destaca-se a mesa formadora da folha de papel (IPT, 1.988).

Em 1.799, o francês Louis Nicolás Robert inventou uma máquina que possibilitava a formação de uma folha de papel com comprimento infinito. Este, por dificuldades financeiras e técnicas, não conseguiu levar adiante o seu projeto e foi obrigado a vender sua patente a dois franceses, os irmãos Fourdrinier. Em 1803, a invenção da máquina de papel, que ficou conhecida como "Fourdrinier", provou ser a melhor opção para a produção de grandes quantidades de papel com uma qualidade mais estável (LIBBY, 1.977).

Em 1.807, foi descrito um método barato, seguro e simples de colagem, o sistema com alúmen ou cola de breu, que talvez tenha sido o fator de maior aumento na longevidade do papel. O procedimento consiste da adição da cola de breu à massa celulósica com agitação e

depois o sulfato de alumínio.

Até 1.821, a folha formada e consolidada, mas ainda úmida, era removida da seção formadora para ser seca. A partir dessa data, a máquina de fazer papel incorpora as seções de prensagem e secagem da folha contra cilindros aquecidos a vapor, processo este conservado até hoje. Na mesma época, o alemão Jlig substituiu a colagem por cola animal pela adição de breu na moagem (colagem ácida), que proporciona brilho ao papel.

Por volta de 1.850, a indústria elegeu a madeira como a principal fonte de matéria-prima celulósica e neste mesmo período surgiram e desenvolveram-se os processos soda, sulfito e Kraft de polpação (IPT, 1988).

Em 1.870 apareceram os primeiros comentários sobre a perda das propriedades físicas e químicas dos papéis ácidos com o passar do tempo (ABTCP, 1.998). Em vista disto, no ano 1.901 a empresa S.D. Warren fez um lote experimental de um papel utilizando carbonato de cálcio como aditivo não fibroso. Embora comprovadamente um papel de maior alvura, o desenvolvimento de papéis alcalinos só seria alcançado 50 anos depois quando a cola sintética foi introduzida em substituição a cola de breu. Era então criado o processo de colagem alcalina, substituto técnico, porém não econômico, do sistema ácido, uma vez que o custo do carbonato de cálcio era maior do que o do caulim, aditivo inorgânico tradicionalmente utilizado na colagem ácida.

Com a disponibilidade de matérias-primas, os custos de operação foram reduzidos e desenvolveu-se, nas próprias fábricas de papel, o processo de produção de carbonato de cálcio, com economias significativas. Atualmente, a maioria das empresas fabricam papéis alcalinos devido às suas vantagens, como por exemplo, brancura, opacidade, maior resistência físico-mecânica, melhor resposta à impressão e pelas fibras alcalinas serem mais resistentes aos processos de reciclagem (ABTCP, 1.998).

2.2 - MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL.

2.2.1 - Matérias-primas fibrosas

As matérias-primas utilizadas na fabricação de pasta celulósica e de papel podem ser classificadas em vegetais, animais, minerais e artificiais, porém predominam as de origem vegetal.

Na seleção de matérias-primas de origem vegetal, são considerados os seguintes

fatores:

- disponibilidade em grande quantidade ao longo de todo ano;
- possibilidade de uma exploração econômica;
- ser facilmente renovável;
- fornecer as características desejadas ao produto final.

Atualmente, a matéria-prima de maior importância econômica é originada das fibras de madeira, de árvores do grupo das dicotiledôneas (Angiospermae) e das coníferas (Gymnospermae). Essas madeiras são também, conhecidas por folhosas (porosas, duras ou "hardwood") e resinosas (não-porosas, moles ou "softwood").

As fibras vegetais, do ponto de vista papelero, são, geralmente, classificadas em fibras longas e fibras curtas. As longas variam de um comprimento médio de 2 a 5 mm e possuem maior resistência à fratura, enquanto que as curtas variam, entre 0,5 e 1,5 mm (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1.999). A maior parte das fibras é proveniente do tronco das árvores - parte lenhosa, mas elas também podem ser obtidas das folhas, como o caso do sisal, e das fibras que revestem a semente do algodoeiro. Para fins especiais são ainda utilizadas isoladamente ou em conjunto com as de origem vegetal, fibras de origem mineral, animal e sintética (IPT,1.988).

Na indústria de celulose e papel, as espécies mais utilizadas são: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. robusta*, sendo que as espécies *E. deanei*, *E. dunil* e *E. cloeziana*, têm potencialidade para tal finalidade. Quanto ao pinus, as espécies mais usadas para a fabricação de pasta celulósica são: *Pinus elliottii*, *P. taeda* e *P. caribaea*. No Brasil, a madeira mais utilizada como matéria-prima provém de várias espécies arbóreas de eucaliptos (*Eucalyptus spp*) e pinus (*Pinus spp*) (IPT,1.988).

2.2.2 - Matérias-primas não-fibrosas

Uma folha de papel contendo exclusivamente fibras celulósicas não possui as características desejadas e adequadas para o uso normal. Uma folha produzida exclusivamente de fibras de celulose é porosa, com superfície pouco lisa e pouco resistente; quando umedecida, as propriedades mecânicas decaem e a opacidade é insatisfatória. Para conseguir a versatilidade que caracteriza os papéis existentes no mercado, a indústria papelera tornou-se uma grande consumidora de produtos químicos, que são adicionados para fornecer ou melhorar algumas propriedades do papel, para eliminar ou controlar certos problemas de operação, como por exemplo a formação de espumas no sistema de água branca da máquina

de papel. Alguns destes produtos são:

- agentes de colagem interna, empregados em forma de emulsão-graxa, sabão produzido pela saponificação de uma resina (breu com álcali), cuja finalidade é melhorar a resistência à penetração da água no papel (ABTCP, 1.983);
- adesivos para melhorar as propriedades mecânicas do papel em condições secas e úmidas;
- flocculantes de fibras;
- cargas ou material de enchimento, que são substâncias inorgânicas como o caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio e outros produtos minerais, que tornam a folha mais lisa e menos transparente, melhorando também o índice de alvura do papel (ABTCP, 1.998);
- corantes e agentes branqueadores fluorescentes, para incrementar a alvura do papel (ABTCP, 1.998);
- sulfato de alumínio - utilizado para o controle do pH e para precipitar a cola sobre as fibras, auxiliando a fixar os corantes e as cargas (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).
- auxiliares de retenção e drenagem;
- microbicidas;
- inibidores de corrosão,
- conservadores de telas,
- substâncias como amido cozido ou resinas (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

2.3-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS LIGNO-CELULÓSICOS

Os materiais ligno-celulósicos são compostos basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e constituintes menores (IPT, 1.988).

A celulose (Figura 2.1), principal componente da parede celular da fibra, é um polissacarídeo constituído por unidades do monossacarídeo β -D-glucose, que se ligam entre si através dos carbonos 1 e 4, dando origem a um polímero linear. Insolúvel em água, solventes orgânicos neutros e soluções de álcalis e ácidos diluídos, a celulose se dissolve em ácidos minerais concentrados, alguns hidróxidos e algumas soluções salinas. Dentre os poucos organismos que podem decompor a celulose e, a partir dela, produzir substâncias facilmente metabolizáveis, acham-se algumas bactérias e microrganismos do solo (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1.999).

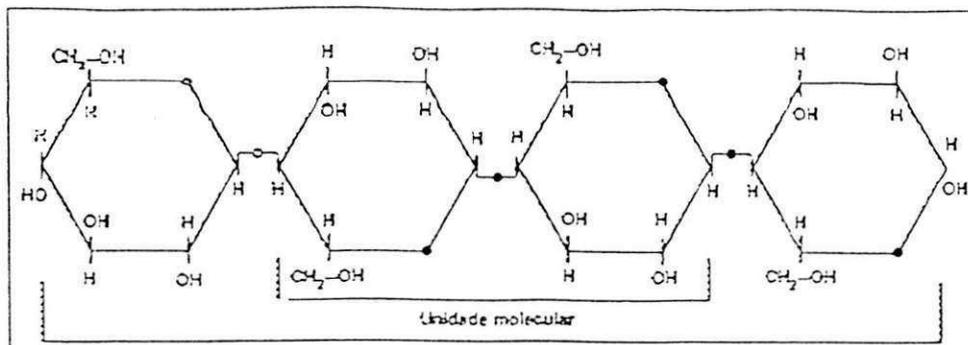


Figura 2.1 – Estrutura molecular da celulose (BRAILE &CAVALCANTE, 1.993)

Industrialmente, a celulose é extraída da madeira de árvores como o pinho e o abeto (plantas de grande porte) ou de plantas herbáceas com grande quantidade de celulose no talo, como a cana-de-açúcar, diversas gramíneas e juncos (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1.999). As hemiceluloses também são polissacarídeos, porém diferem da celulose por serem constituídas de vários tipos de unidades de açúcar (β -D-xilose, β -D-manose, β -D-glucose, α -D-arabinose, α -D-galactose, ácido β -D-glucourônico, ácido β -D-galactourônico e ácido α -D-4-O-metilglucourônico), além de serem polímeros ramificados e de cadeias mais curtas. A lignina é um polímero amorfo, de composição química complexa, que tem anéis aromáticos, onde os átomos de carbono se alteram em ligações duplas e simples que se ligam a grupos hidroxila (OH⁻) e metoxil (CH₃O⁻). É a substância que une as fibras da celulose, conferindo firmeza e rigidez (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1.999).

Os constituintes menores incluem os mais diversos compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que nenhuma espécie de planta contém todos os compostos. Estes são frequentemente responsáveis por determinadas características da planta, como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, sabor e propriedades abrasivas.

A Tabela 2.1 mostra a composição química aproximada das madeiras utilizadas na fabricação de pasta celulósica.

Tabela 2.1 - Composição química das madeiras

COMPONENTE	PRESENÇA (%)
Celulose	≈ 50
Hemicelulose	≈ 20
Lignina	15 a 35
Constituinte menores	até ≈10

Fonte: (IPT, 1988)

2.4 - FONTES DE POLUIÇÃO E PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADAS PELA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Poluição é um termo genérico usado para designar a queda do ritmo vital e natural em uma ou mais áreas da biosfera. Esta, constituída por todos os ecossistemas terrestres e aquáticos, tem suas matrizes nos componentes terra, água e ar. O estado em que se encontram essas matrizes determina a qualidade ambiental. Os três compartimentos estão estreitamente relacionadas entre si, de modo que os desequilíbrios ocorridos em uma delas costumam refletir-se, de um modo ou de outro sobre as outras duas. Em geral, os padrões usados para determinar a qualidade dessas matrizes são definidos e estão associados às concentrações de substâncias que possam trazer riscos iminentes ao homem, à fauna e/ou a flora de determinada área. Em muitos casos, tais substâncias só causavam danos, isto é, só se tornavam poluentes quando ultrapassavam certos níveis de concentração no ambiente (SCARLATO & PONTIN, 1.992).

A indústria papelreira está sujeita a pressões devido aos danos que causa ao meio ambiente. Estas pressões forçaram a indústria a desenvolver tecnologias próprias de fabricação e tratamento de seus efluentes, para torná-los menos impactantes (GUAGLIANOMI *et al.*, 1.994)

A produção de papel está associada a uma variedade de problemas ambientais, caracterizados pela geração de grandes quantidades de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, provenientes das várias etapas do processo de produção, que são lançados, tratados ou não, no meio ambiente (TEIXEIRA & MESQUITA, 1.991). Os grandes volumes de efluentes líquidos, devem-se ao grande volume de água utilizada no processo (NOLASCO *et al.*, 1.997).

Os materiais fibrosos utilizados na indústria de papel e celulose consistem de menos de 50% de celulose. O restante é constituído de lignina, hemicelulose, enchimento mineral, produtos de extração, sais orgânicos e inorgânicos. Parte destas substâncias, de modo geral, não é recuperada ou reciclada e portanto é descarregada no corpo d'água receptor ou na atmosfera (EVARISTO, 1.993).

Os problemas de poluição ambiental associados à produção de papel são:

- poluição do ar devido à conversão da madeira em polpa de papel;
- poluição dos cursos d'água devido às grandes quantidades de água que após o seu uso, são lançadas no meio ambiente produzindo severa Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- desflorestamento devido ao aumento crescente do consumo de papel;

- poluição do solo, visto que os resíduos de papel são despejados de forma não controlada no ambiente (IPT, 1988).

Para resolver estes problemas alguns procedimentos estão sendo utilizados, como a recuperação de produtos químicos, a implantação de sistemas de tratamento de efluentes líquidos, o manejo controlado de áreas reflorestadas e a reciclagem do papel

2.5 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL A PARTIR DA MADEIRA

A madeira é recebida na fábrica em forma de cavacos e toras, mas antes de ser processada, passa por uma série de operações (Figura 2.2) que têm por objetivo fornecer a madeira na forma e pureza desejadas, em quantidade suficiente e constante. Logo a madeira é submetida a forças de cisalhamento para romper as ligações entre as fibras, que recebem tratamento (polpação), que pode ser químico ou quimiomecânico. São adicionados sulfatos, hidróxido de sódio, sulfeto de sódio, carbonato de cálcio, tiosulfato de sódio, entre outros produtos, para a obtenção da pasta celulósica. Dependendo do método de preparação (processo mecânico ou químico) e da utilização final, as pastas são submetidas a diversas etapas de processamento. Operações de lavagem, peneiramento e estocagem são necessárias para todos os tipos de pasta, enquanto que a limpeza é somente utilizada quando a aparência e grau de pureza são importantes. A pasta celulósica recebe outro tratamento físico-químico (branqueamento) que tem por finalidade melhorar as propriedades relacionadas com a alvura, limpeza e pureza. A partir deste momento, a pasta entra na seção de preparação da massa, a qual consiste de várias etapas, que são:

- desagregação – forma uma suspensão de fibras e água com consistência adequada;
- refinação – o objetivo principal é a separação das fibras uma das outras;
- depuração – consiste na limpeza da massa, com a retirada de areia, nós de madeira, partículas metálicas e outros materiais estranhos. A qualidade do papel depende fortemente do grau de limpeza da massa;
- colagem interna – são adicionados produtos químicos para se depositarem sobre as fibras com o propósito de controlar a penetração de líquidos no papel ou papelão depois da sua fabricação e acabamento;
- adição de pigmentos e corantes – tem a finalidade de definir a cor do papel e melhorar a brancura dos papéis brancos;

A etapa seguinte é a formação da folha de papel, que ocorre na máquina de papel e consiste das seções de formação, prensagem, secagem, enrolamento e corte.

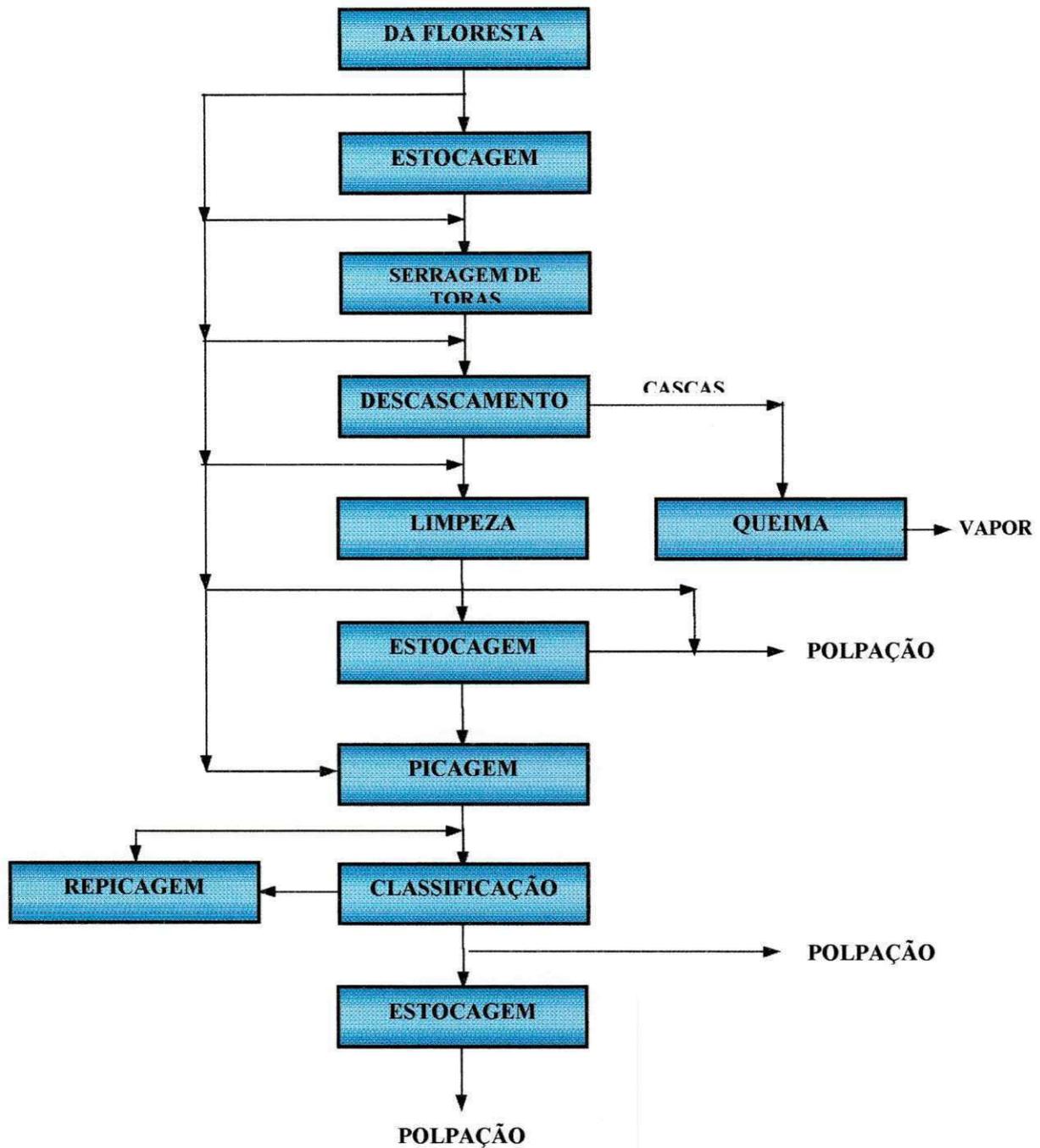


Figura 2.2 – Fluxograma das operações de preparação da madeira antes da polpação (IPT, 1.988)

2.6 – DESPEJOS PASSÍVEIS DE REUTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PAPEL A PARTIR DA MADEIRA.

Considerando toda a água utilizada nas indústrias de celulose e papel, a quantidade de efluentes gerados será muito grande se não houver reutilização. Dados de empresas integradas, indicam que a reutilização da água varia de 260 a 320% do consumo efetivo.

Os principais despejos passíveis de reutilização são:

- águas de refrigeração;
- águas dos filtros lavadores;
- águas do engrossador de massa;
- filtrado dos lavadores da seção de alvejamento;
- água de lavagem das peneiras;
- água dos canais de toras e dos descascadores.

Os principais problemas com a reutilização dos despejos são:

- formação de lodo, que dificulta a drenagem, causa perda na produção, entope equipamentos e suja o papel;
- aumento da acidez, que causa corrosão, coloração, diminuição da resistência do papel e envelhecimento precoce;
- formação de sólidos dissolvidos, causando formação de espuma;
- deposição de piche e/ou cola da massa na linha d'água, nas telas, nos rolos e nos feltros;
- aparecimento de partículas coloidais, que prejudicam a drenagem e as características da folha;
- aumento da temperatura que pode ou não ser benéfico, dependendo da fase do processamento (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

2.7 – TRATAMENTO DE EFLUENTES

Atualmente vêm sendo desenvolvidas tecnologias que objetivam diminuir o consumo de água na fabricação e implementar o reuso das águas servidas após algum tratamento (PIRES *et al.*, 1.999). Os efluentes líquidos das fábricas de papel e celulose normalmente contêm pequenas partículas procedentes da preparação da massa, de natureza fibrosa e finamente divididas, de substâncias de acabamento e de materiais de enchimento ou carga,

que intencionalmente ou inadvertidamente são descarregadas do processamento da celulose e do papel (EVARISTO, 1.993). Estes efluentes podem produzir alguns efeitos negativos no corpo receptor, como:

- formação de bancos de lodo;
- depleção de oxigênio pela oxidação biológica dessas substâncias;
- produção de maus odores;
- efeitos nocivos à vida aquática pela toxidez de algumas substâncias ou ausência de oxigênio;
- produção de espumas, cor e turbidez (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

Para remover os poluentes e melhorar a qualidade dos efluentes finais para lançamento em corpos receptores ou para sua reutilização no processo, são considerados os seguintes tipos de tratamentos:

- pré-tratamento;
- tratamento primário;
- tratamento secundário;
- tratamento terciário.

2.7.1 - Pré-tratamento

Consiste na desarenação (remoção de materiais pesados, de cinzas inorgânicas, de areia e pedregulhos). A remoção destes sólidos é feita freqüentemente por grades de barras, mas pode ser usado também peneiras rotativas, vibratórias com auto limpeza, de tambor e hidráulicas. A desaeração (retirada do ar), constitui um outro processo de pré-tratamento e torna-se necessária para prevenir a flotação de fibras no clarificador, principalmente quando a água branca é tratada isoladamente ou quando são usados coagulantes (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

Além das unidades de remoção dos sólidos grosseiros, é incluído também uma unidade para a medição de vazão, que pode utilizar uma calha Parshall ou adotar vertedouros (triangulares ou retangulares) ou ainda mecanismos para a medição em tubulações fechadas (von SPERLING, 1.996).

2.7.2 - Sedimentação Primária

Esse processo é muito aceito por ser viável economicamente e menos sensível às

variações de vazão. A sedimentação é feita em bacias de sedimentação no terreno ou em decantadores mecanizados. Os decantadores mais usados são os circulares, embora os retangulares sejam também empregados. Frequentemente, são previstos tanques de homogeneização entre as unidades de tratamento primário e secundário, a fim de controlar as variações de vazão dos efluentes da indústria. Esses tanques, habitualmente, são de tamanho suficiente para servirem de tanques de acumulação no caso de transtorno na fabricação, ou quando dificuldades de operação na estação de tratamento limitarem as quantidades de despejos que podem ser tratadas.

O lodo dos decantadores dos efluentes das fábricas de celulose e papel pode ser adensado no decantador primário, até o ponto em que possa ser mecanicamente desaguado. Alguns problemas que podem prejudicar esse adensamento são:

- capacidade insuficiente de armazenagem;
- bomba incapaz de trabalhar com o lodo adensado.

O lodo das unidades de decantação primária normalmente não necessita de adensamento adicional antes da secagem que pode ser feita por meio de filtro rotativo a vácuo, centrífuga e filtro-prensa. O método mais econômico para a secagem do lodo do decantador primário é o leito de secagem, quando existe área suficiente e de topografia favorável.

2.7.3 - Tratamento biológico

A indústria de celulose e papel está em expansão, sendo visível a preocupação do setor em reduzir as cargas poluidoras liberadas para os corpos receptores (VIEIRA, 1.990). Muitas indústrias implantaram tratamento biológico para as águas residuárias, devido à sua capacidade de remover grande quantidade de toxinas (RATNIEKS & GAYLARDE, 1.996), além de proporcionar uma redução da quantidade de água utilizada no processo. Estudos feitos em uma indústria de papel na Finlândia no período de 1989 a 1997 verificaram uma redução, em torno de 50%, da carga de DQO dos efluentes de indústria de celulose e papel, que tinham em seus sistemas tratamentos biológicos (KUKKONEM *et al.*, 1.999)

Os tratamentos biológicos mais utilizados pelas indústrias de celulose e papel são: lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados e filtros biológicos.

Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são empregadas tanto para reduzir a carga de DBO como

para regularizar as descargas no corpo receptor, visto que tem a capacidade de absorver as variações quantitativas e qualitativas ao longo de um dia de produção, ou seja, esses tipos de lagoas são flexíveis e com grande capacidade de absorverem choques hidráulicos e de cargas orgânicas e tóxicas afluentes (RAMEH *et al.*, 1.989). O tempo de retenção nas lagoas de estabilização varia de 10 a 30 dias. A eficiência de remoção de DBO é função da carga aplicada ao sistema. Podendo ser obtidas remoções superiores a 180 kg DBO/h.d. empregando lagoas múltiplas em série, muito rasas, no entanto quando se aplica uma carga maior que 76 kg DBO/h.d, surge a presença de maus odores (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

Lagoas aeradas

As lagoas aeradas necessitam de muito menos espaço que as lagoas de estabilização. Tipicamente, a necessidade de terra é de $2 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, quando comparados aos $40 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, geralmente empregados nas lagoas sem aeradores.

São projetadas como um sistema de mistura completa. O nível de 0,5 mg/L de oxigênio dissolvido é suficiente para manter condições aeróbias.

A quantidade de lodo biológico produzido nas lagoas aeradas é menor que a proveniente dos processos biológicos de alta taxa. Normalmente, são encontrados valores de 0,1 a 0,2 kg de lodo por kg de DBO removida. Parte do lodo formado é consumido pela respiração endógena, parte sai com o efluente tratado e parte sedimenta na lagoa. A porção que não é destruída pela respiração endógena, contribui com 0,1 kg de DBO por kg de SS voláteis (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

Lodos ativados

O processo de lodos ativados convencional é o comumente adotado pela indústria papelreira. O sistema compreende uma decantação primária, aeração, decantação secundária e retorno do lodo biológico ao tanque de aeração. Esse processo se adapta, particularmente bem, ao tratamento de despejos de celulose, podendo fornecer reduções de DBO da ordem de 85% com um tempo de detenção de 4 a 6 h (RAMEH *et al.*, 1.989). Este sistema necessita de 1 a 2 kg de O_2/kg de DBO e produz 0,5 a 1,0 kg de excesso de lodo por kg de DBO removida.

O sistema de lodo ativado é geralmente adotado quando não existe área suficiente para a implantação de lagoas de estabilização. Embora os resultados sejam satisfatórios, o sistema apresenta certas desvantagens, tais como:

- investimento elevado;

- necessidade de controle operacional rigoroso, visto que é muito sensível a sobrecargas hidráulicas e orgânicas;
- problemas com intumescimento do lodo, que no lodo secundário tem como possíveis causas:
 - quantidade excessiva de bactérias filamentosas;
 - aeração excessiva;
 - aeração deficiente e septicidade;
 - conteúdo de sólidos muito elevado ou muito baixo;
 - deficiência de nitrogênio e fósforo (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

Filtros biológicos

Seu uso é muito restrito na indústria de celulose e papel, devido à preocupação com o entupimento do meio filtrante, alto custo de investimento e baixa redução de DBO. Os filtros biológicos reduzem em apenas 40 ou 50% a DBO quando trabalham com altas valores de vazão e carga (BRAILE & CAVALCANTE, 1.993).

2.8 – RECICLAGEM

Pode-se definir reciclagem como o reaproveitamento de um material, o qual pode ser usado várias vezes para fazer o mesmo produto ou um produto equivalente.

Hoje, quando a sociedade se preocupa em difundir a prática da reciclagem, essa técnica aparece para muitos como uma conquista recente da ciência e tecnologia. Porém, o conhecimento técnico e científico não parte nunca do ponto zero. Ele é histórico, significa que o mesmo é acumulativo. Há muitas décadas, já presenciava a prática seletiva do lixo. Indivíduos coletores, de forma primária, munidos de pequenos veículos, muitos deles de tração humana e animal, recolhiam junto ao lixo de residências e de fábricas, latas, papéis e vidros, que eram posteriormente vendidos para empresas voltadas para esse tipo de comércio (SCARLATO & PONTIN, 1.992).

No decorrer da história, com o aumento da população humana e sua rápida distribuição, os resíduos gerados como subprodutos transcendem a capacidade de depuração no meio ambiente, que passa a não mais incorporar estas substâncias em seus ciclos originais (FIGUEIREDO, 1.994). A reciclagem é considerada uma das mais adequadas opções para estes problemas, por razões ecológicas e também econômicas: diminui os acúmulos de detritos na natureza, poupa os recursos naturais e renováveis e diminui o gasto com energia.

2.9 - RECICLAGEM DE PAPÉIS

Reciclagem de papel é o aproveitamento das fibras celulósicas de papéis usados e de aparas para a produção de novos tipos de papéis. Qualquer tipo de papel pode ser reaproveitado.

O papel é o maior componente dos aterros sanitários em geral. Ele representa até 30% do total. Além de economizar árvores, o papel reciclado reduz a poluição das águas, quando é feito um tratamento dos efluentes, em até 35% e a do ar em 65%.

A quantidade de madeira economizada com a substituição de pastas celulósicas por aparas é de 2 a 4 m³ por cada tonelada de aparas recicladas. Isto equivale a dizer que uma tonelada de aparas, dependendo do tipo, corresponde a um rendimento lenhoso de uma área plantada de 100 a 350 m² (IPT, 1.988).

A qualidade do papel está relacionada com a extensão das fibras. As mais longas produzem papel com graduações mais elevadas, contudo todas tendem a romper-se com a reutilização e 20% das fibras se perdem nesse processo. Entretanto, muitos tipos de papel comuns podem ser reciclados, entre estes os sacos de compra e envelopes, caixas de papelão, material de escritório e papel de imprensa (REINFELD, 1.994).

O primeiro passo na reciclagem é a classificação do o papel de acordo com sua graduação. Esta baseia-se na qualidade do papel (seu tipo) e na quantidade de resíduos existentes no material, tais como cliques, grampos, revestimentos usados na fabricação e impressão originais e outros contaminantes. O papel limpo de fibras longas obtém melhores preços comparado aos papéis sujos, com pouco valor comercial (REINFELD, 1.994).

2.10 - TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DAS APARAS

Na indústria de reciclagem de papel, a matéria-prima é adquirida de aparistas que se encarregam de classificar e separar o papel. Para melhor entender o processo de reciclagem é preciso definir alguns termos de uso freqüente:

- *aparas*: nome comercial dado a resíduos ou produtos de papel, cartão e papelão coletados antes e após sua utilização, escolhidos, selecionados, enfardados e vendidos usualmente como matéria-prima para fábricas de reciclagem de papel;
- *impurezas*: são considerados todos os papéis, cartões e papelões inadequados a uma determinada finalidade, e ainda metal, corda, vidro, madeira, pedra, areia, cliques e elásticos;
- *materiais proibitivos*: são aqueles cuja presença, em quantidade maior que a permissível

segundo a especificação, tornam as aparas inadequadas para um tipo específico de papel. Dentre os materiais proibitivos, podem-se citar: papel vegetal ou glassine; papel e papelão encerados, parafinados, betumados, papel carbono; papel e papelão revestidos ou impregnados com substâncias impermeáveis à umidade; papel e papelão laminados, tratados ou revestidos com resinas sintéticas, betume, camada metálica ou filme plástico; fitas adesivas sintéticas, entre outros (IPT, 1.988)

As aparas atualmente comercializadas obedecem a uma terminologia e classificação como mostra a Tabela 2.2.

2.11 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL COM A UTILIZAÇÃO DE APARAS E PAPÉIS VELHOS.

Nas aparas e nos papéis velhos podem existir impurezas grosseiras e leves, e a presença de alguns materiais proibitivos. Estes devem ser eliminados, para que as fibras celulósicas possam ser aproveitadas na fabricação de um novo papel, sem prejudicar a sua qualidade.

Segundo o IPT (1.988), na reciclagem de aparas de papel estão envolvidos alguns procedimentos padrões para obtenção da pasta celulósica. Inicia-se com a desagregação das aparas, peneiração e limpeza, fracionamento e refino e conclui-se com a formação e secagem da folha de papel.

2.11.1 - Desagregadores

O processo de fabricação de papel, através da reciclagem, começa nos desagregadores ou “hidrapulper”, onde as aparas são colocadas num grande tanque com água para sua desagregação e retirada das impurezas pesadas, como arames, pregos, pedras, madeira, barbantes, etc.

Os desagregadores podem funcionar com e sem atrito. No primeiro a desagregação se dá através de forças de cisalhamento, impacto e forças de fricção, enquanto que no segundo este último tipo de força não é utilizado. Os dois tipos de desagregadores funcionam em sistemas de batelada ou de forma contínua. Para um mesmo tamanho, os desagregadores contínuos têm capacidade maior que os de batelada, pois não há perda de tempo no carregamento; a retirada contínua de fibras serve para classificar a massa, removendo o

Tabela 2.2 - Terminologia e classificação das aparas comumente utilizada.

TIPOS DE APARAS	TIPO DE PAPEL	T. M. U. (%)	T. M. I. (%)	T. M. P. (%)
Cartões Perfurados	cartões de material fibroso de alta qualidade usados na computação de dados	10	1	0
Branco I	papéis brancos sem impressão de espécie alguma e sem revestimento	10	0	0
Branco II	formulários contínuos de papel branco, sem papel carbono entre as folhas e sem revestimento carbonado	10	2	0
Branco III	papel de impressa e jornal ainda sem impressão	10	0	0
Branco IV	papéis brancos de escritório, manuscritos ou datilografados, cadernos usados sem capas, livros sem capa e impressos em preto	10	5	0
Branco V	papéis brancos, com porcentagem mínima de impressão ou com revestimento	12	25	0
Kraft I	papel kraft usado na fabricação de sacos multifoliados, sacos de papel refugados por defeitos de fabricação ou não utilizados	10	1	0
Kraft II	sacos multifoliados já utilizados, de papel tipo kraft, com fibras e cores diversas, sem escolha ou seleção	15	5	0
Kraft III	sacos multifoliados de papel kraft, principalmente de cimento, misturados, sem batimento, escolha ou seleção	15	17	13
Cartões de pasta mecânica (Aparas Paraná)	artefatos de papel, produzidos só com pasta mecânica	12	0	0
Jornais	jornais velhos, limpos e encalhes de redação	12	1	0
Cartolina I	cartolina e cartões, com ou sem revestimento, sem impressão de qualquer espécie, provenientes de cartolina e cartões fabricados exclusivamente com pasta celulósica	10	0	0
Cartolina II	cartolina e cartões, com ou sem revestimento, com impressões ou em cores variadas	12	10	0
Cartolina III	cartolina e cartões brancos plastificados, com ou sem impressão	12	3	7
Ondulado I	de caixas de papelão ondulado, fabricado com capas de alta resistência	15	3	0
Ondulado II	caixas, chapas de papelão ondulado, fabricado com capas de resistência menor que o ondulado I	15	5	0
Ondulado III	caixas ou refugos de papelão ondulado, fabricado com capas de baixa resistência e pontas de tubetes, podendo contar com até 20% de outros tipos de papel, que não sejam papelão ondulado	20	5	3
Revistas	revistas velhas, encalhadas ou com defeitos de impressão, impressas em papéis com ou sem revestimento	12	2	1
Misto I	papéis mistos usados, proveniente em sua maior parte de escritórios, gráficas, aparas coloridas, resíduos de papéis e cartões diversos, misturados e provenientes de artefatos de papel	12	5	1
Misto II	papéis mistos proveniente de escritórios, lojas comerciais e casas residenciais	15	10	3
Misto III	papéis mistos usados, de toda as procedências	20	15	5
Tipografia	recortes coloridos provenientes de gráficas e tipografias	10	1	0

Fonte: IPT, 1988.

T. M.U. – Teor máximo de umidade

T. M. I. – Teor máximo de impurezas

T. M. P. – Teor máximo de proibitivos

material desagregado e alguns pequenos aglomerados de fibras, enquanto que a parte não desagregada da massa permanece no equipamento. Os desagregadores em batelada são usados, geralmente, quando se requer elevada limpeza e isenção de impurezas.

Para que a eliminação das impurezas leves seja mais eficiente nos estágios posteriores, a desagregação deve proporcionar partículas relativamente grandes (IPT, 1.988).

2.11.2 - Peneiração e limpeza

Os métodos de peneiração e limpeza de papéis velhos dependem do tipo de fibra utilizado e do produto final. Papéis mistos podem ser tratados com poucos limpadores e peneiras, ficando satisfatoriamente limpos para servirem na manufatura de papelão sólido, mas não são adequados para produzir papéis finos. A quantidade de impurezas presentes e os requisitos do produto acabado determinam a escolha do equipamento. Nenhuma peneira ou limpador remove totalmente as impurezas, mas cada tipo elimina uma porcentagem do total destas. A ação combinada de diferentes unidades é necessária para atingir o grau de limpeza exigido. Para a remoção da maior parte deste material com o mínimo de perda das fibras, usam-se dois ou três estágios de peneiração fina. O material rejeitado na primeira peneira passa por um segundo estágio e o material aceito da segunda retorna ao fluxo principal antes da primeira. Os rejeitos da segunda podem ser desprezados, mas se contiverem fibras devem passar por uma terceira peneira (IPT, 1.988).

2.11.3 - Fracionamento

O fracionamento permite separar as fibras longas das fibras curtas, tornando possível especificar o uso de cada uma, como, por exemplo, a fabricação de papel capa com as fibras longas e a de papel miolo com as curtas. O fracionamento é geralmente realizado por peneiras pressurizadas ou ciclones separadores.

O fracionamento permite separar a massa em duas ou mais frações, que podem ser refinadas separadamente, até atingir os índices ótimos para cada fração, sendo depois recombinadas ou enviadas a diferentes setores de fabricação. Desta maneira, as características de cada fração são melhoradas, sem danificar as outras frações, pelo excesso de refino, além de reduzir apreciavelmente o consumo de energia. Esse tipo de processamento também está sendo aplicado para a eliminação de cargas, cuja única contribuição positiva se restringe a uma aumento relativo da opacidade da folha, enquanto a drenabilidade da massa e a resistência mecânica do papel são diminuídas (IPT, 1988).

2.11.4 – Refinação

A finalidade desta operação é promover uma homogeneização das fibras contidas na polpa, pois as aparas possuem diversos tipos de fibras com características estruturais distintas originárias de fibras curtas obtidas de espécies vegetais folhosas e de fibras longas obtidas de espécies vegetais como coníferas, fibras longas e extremamente finas obtidas de bambus. Todas elas sofrem processos químicos diferentes e como o objetivo é uma folha de papel homogênea, torna-se necessário esta operação (LIBBY, 1.977).

O trabalho realizado pelo refinador consiste de uma série de impactos efetuados nas fibras que são injetadas entre discos paralelos revestidos com lâminas de aço de extrema dureza. O resultado é uma maior absorção de água pelas paredes das fibras, favorecendo a ligação entre elas durante a formação da folha e produzindo um papel mais uniforme e mais resistente ao rasgo e à tração.

As fibras secundárias apresentam maior cristalinidade e menor número de poros na parede celular do que as fibras originais, devido, provavelmente, à alta temperatura de secagem a que foram submetidas durante a fabricação do papel, o qual diminui a probabilidade de ligações entre fibras durante a formação da folha.

2.11.5 - Máquina de papel (Fourdrinier)

As máquinas Fourdrinier modernas não mudaram muito, no seu desenvolvimento básico, daquelas do século XIX. Porém, a todas as máquinas foram acrescentados vários melhoramentos e acessórios que permitem aumentar a produção e a eficiência, além de reduzir os custos.

Um esquema de uma máquina Fourdrinier convencional é mostrado na Figura 2.3. Em geral, a seção da formação é composta de caixa de entrada, estrutura de tela, bailarino, rolo acionador, rolo cabeceira, rolos de retorno, chuveiros, esticadores, raspas, bandejas e reguladores. Existem ainda os elementos de desagüe, cujos componentes principais são: caixa de formação, roletes esgotadores, "hidrofoils", caixa de sucção e defletores. A caixa de entrada é alimentada por um conjunto de tubos múltiplos que recebem a massa, sob pressão, dos depuradores. A tela é suportada pelo rolo-cabeceira e, a partir daí, é apoiada nos "hidrofoils" e nos roletes esgotadores, os quais ajudam na retirada da água da massa. A tela passa, então, pelas caixas de sucção e pelo rolo da sucção. Este transmite o movimento à tela e, conseqüentemente, a rotação a todos os outros rolos e roletes. No contato com o rolo pegador, a folha úmida de papel é destacada da tela e levada para seção de prensas, onde parte

da água é retirada mecanicamente (IPT, 1.988).

Processo de formação da folha

As tarefas básicas a serem realizadas pela seção de formação de folha numa máquina de papel são:

- diluir a massa até uma consistência baixa que permita um alto grau de uniformidade na dispersão de fibras. A água de diluição pode ser fresca, porém, é comum o uso da água reciclada da própria seção de formação ou das águas brancas recuperadas ao longo de toda a máquina.
- distribuir a seção diluída de fibras na seção de formação, mantendo-as dispersas de forma homogênea .
- depositar individualmente, e de maneira uniforme, as fibras sobre a tela, ao mesmo tempo em que se inicia a drenagem da água através da tela
- compactar o material fibroso, a fim de se obter um contato íntimo entre as fibras.
- por meio de sucção, remover o máximo de água das fibras, antes que a folha formada seja transferida para a seção de prensagem.

Sistema de circulação de massa e água branca nas máquinas Fourdrinier

Um sistema básico da circulação de massa em uma máquina Fourdrinier é ilustrado na Figura 2.4. A massa, composta de fibras refinadas, cargas de aditivos e água, é colocada em um tanque de mistura para ser homogeneizada. Deste tanque, a massa, cuja consistência pode variar de 2 a 4%, é bombeada para um tanque pulmão. Com a consistência controlada, a massa passa por uma válvula que regula a alimentação da máquina. Com uma velocidade constante da tela, a vazão regula, por sua vez, a gramatura da folha (IPT, 1.988)

Quando a massa é lançada na tela da máquina, a água da drenagem (água branca) é, geralmente, colhida em bandejas colocadas abaixo da tela. Após a coleta, a água passa por equipamentos de recuperação de fibras, sendo usada para a diluição da massa. A água proveniente das caixas de sucção é coletada em recipiente diferente da água da tela, e utilizada, em geral, para a lavagem desta. Uma maior proporção de água branca volta a ser permanentemente usada, o que diminui a poluição hídrica e possibilita uma economia de matéria fibrosa e produtos químicos.

A Figura 2.4 apresenta um sistema de coleta de água branca, desde o rolo cabeceira até o rolo de sucção. A água branca é proveniente das fontes destacadas como segue:

- *água das bandejas*: é recolhida pelas bandejas que se encontram embaixo da tela, após o rolo cabeceira. Esta água é removida das telas pelos roletes e/ou "hidrofoils", sendo também chamada de água rica, devido à grande concentração de produtos químicos. Segue para um reservatório e deve voltar a circular o maior número de vezes possível, dentro do próprio circuito de massa.
- *água das caixas planas de sucção*: é captada por meio de vácuo. Contém menor quantidade de sólidos que a água das bandejas, pois a própria camada de fibras, neste ponto da tela, impede uma maior perda de sólidos.
- *água do rolo de sucção*: constitui um volume relativamente pequeno, com baixo teor de sólidos e é utilizada nos chuveiros de lavagem.

Remoção da água através de prensagem

Os objetivos da prensagem são: a remoção da quantidade máxima possível de água da folha de papel antes de submetê-la à secagem por calor, a redução do volume específico e a melhora da lisura da folha.

A prensagem é baseada na compressão mecânica da folha de papel e do feltro (tecido relativamente leve e altamente permeável, que é conhecido como tecido secador), entre dois rolos. A secagem é efetuada pela ação combinada da compressão mecânica e da sucção aplicada através de uma estrutura ranhurada ou perfurada. A água retirada passa pela trama do feltro e é aspirada para o rolo pelos seus orifícios (Figura 2.5)

A folha de papel e o feltro possuem estruturas fibrosas que sofrem compressão, no "nip", isto é, na linha de menor distância entre os rolos, e qualquer mudança da resistência ao escoamento do feltro afeta diretamente o desaguamento. As características do feltro não permanecem constantes, pois ele sofre compactações seguidas quando passa pela prensa, podendo se obstruído por materiais finos, resinas e outros agentes químicos presentes na massa. Para amenizar este problema, o feltro após a região de prensagem é lavado por chuveiros de alta pressão (ABCTP, 1.998)

2.11.6 - Secagem de papel

Em uma fábrica de papel, entende-se por secagem o processo de remoção de água por evaporação, aplicando-se calor. O modo convencional de secagem é a passagem da folha de papel sobre cilindros aquecidos a vapor. A folha é mantida em contato com a superfície dos cilindros, por meio de feltros secadores. Os cilindros, geralmente são feitos de ferro fundido e

estão dispostos em duas fileiras superpostas. A maneira de colocação e o número de cilindros são determinados pela gramatura da folha, umidade a ser removida, velocidade da máquina e pressão do vapor nas várias seções.

2.11.7 - Acabamento e estoque

Nesta fase do processo são usados equipamentos para cortar o papel, enrolar com as dimensões desejadas, empacotar e enfardar. Em seguida, os papéis já empacotados são armazenados para posterior comercialização (MACHADO, 1.995).

2.12 – EFLUENTES DOS PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL.

Os efluentes deste tipo de fábrica, têm origem na máquina de fabricação de papel, nos refinadores, nas caixas de regulagem de consistência (engrossadores) e nas peneiras depuradoras da massa. Esses despejos contêm fibras celulósicas finas, areias, plásticos, partículas metálicas, cola ou amido, cargas e corantes.

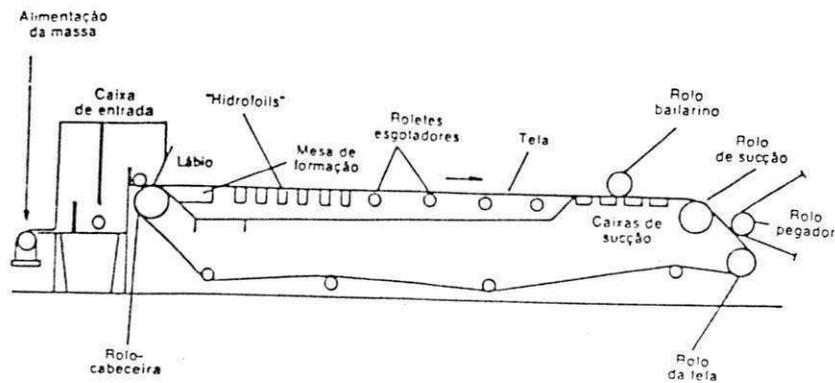


Figura 2.3 - Sistema básico de circulação de massa em uma máquina Fourdrinier (IPT, 1988).

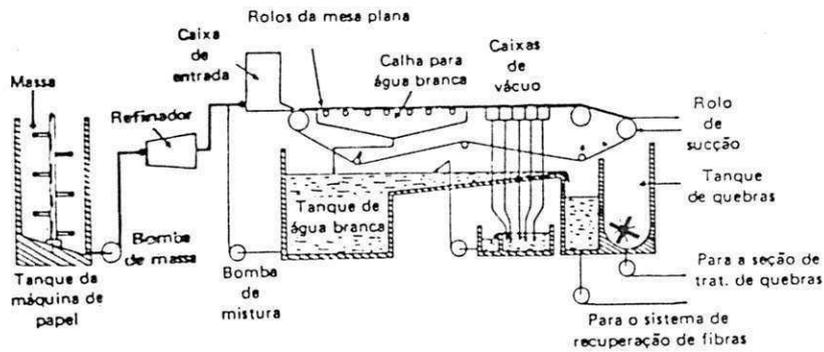


Figura 2.4- Sistema de água branca (IPT, 1988)

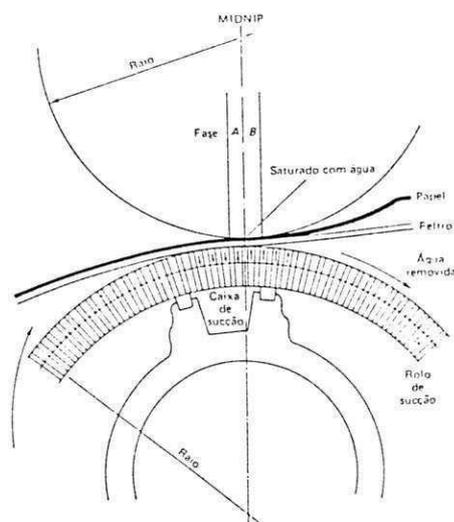


Figura 2.5 – Prensagem com rolo de sucção (IPT, 1988)

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A Indústria de Celulose e Papel da Paraíba S/A - IPELSA, está localizada no bairro de Bodocongó em Campina Grande, estado da Paraíba, região nordeste do Brasil. Fundada em 1960, iniciou seus trabalhos fabricando papel liso para embalagens. Este processo consistia em um cozimento do bagaço de cana-de-açúcar com soda cáustica, cal e água, até ocorrer o fibramento com posterior decantação para eliminar o licor negro. Com o tempo o processo foi ficando antieconômico devido a não recuperação dos produtos químicos contidos no licor. A empresa, diante desses problemas, decidiu utilizar aparas de papel como matéria-prima. Isto possibilitou uma diminuição dos custos, além de contribuir com a conservação dos recursos naturais e energéticos e com a redução do acúmulo de papel no meio ambiente.

3.2 - MATÉRIA-PRIMA

As matérias-primas utilizadas na fabricação de papel “tissue”, ou seja qualquer papel que tenha utilidade absorvente, como papel higiênico, são as aparas de papéis, podendo ser do tipo branco, para fabricação de papel branco ou do tipo mista, para papéis do tipo natural ou não brancos. As aparas são adquiridas de empresas especializadas na coleta, classificação e enfiamento destes materiais.

Ao chegarem na empresa as aparas são inspecionadas antes de serem aceitas, observando-se a presença de materiais indesejáveis, tais como: papel que contém carbono, papéis plásticos, papéis adesivos por conter cola, papéis parafinados, grampos, arames e areia.

3.3 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE APARAS DE PAPEL NA IPELSA

A Figura 3.1 mostra o fluxograma das diferentes etapas do processo de reciclagem de aparas de papel na IPELSA. As aparas entram na fábrica sob forma de fardos, que são

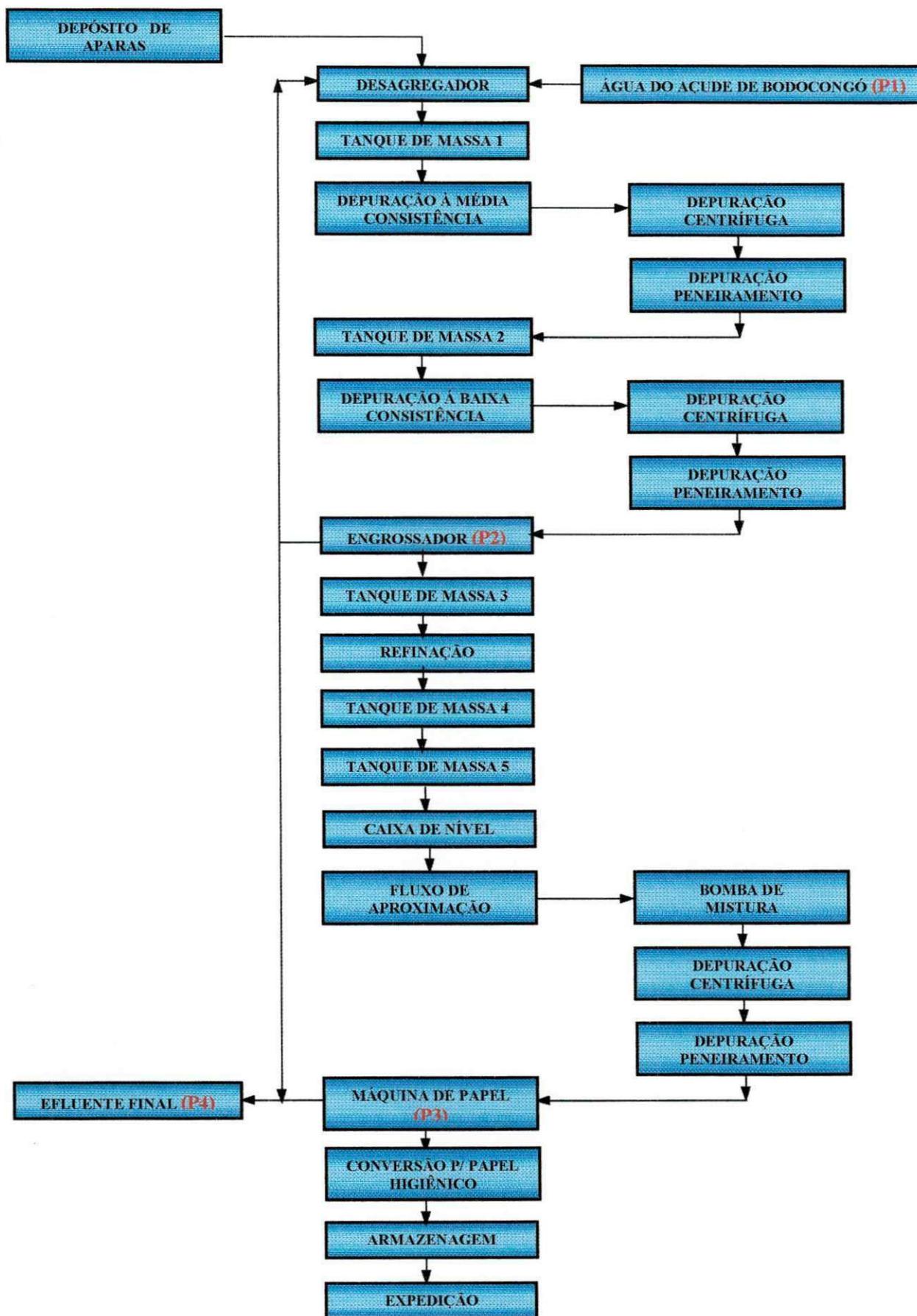


Figura 3.1 – Fluxograma do processo de reciclagem de papel utilizado na IPELSA S/A, Campina Grande (PB).

pesados no início da fabricação, para avaliar o rendimento no final do processo de reciclagem. Em seguida, os fardos, cada um com uma massa em torno de 300 kg de papel, são colocados no desagregador, numa proporção média de 1 m³ de água para 60 kg de aparas, ou seja, com uma consistência de 6,0% de sólidos. Esta proporção permite uma boa separação das fibras celulósicas. Antes de sair do desagregador, a polpa recebe uma quantidade adicional de água, com a finalidade de obter uma consistência entre 4,0 e 4,5% de sólidos, a qual facilita a separação das impurezas nas etapas seguintes. O desagregador deve preservar as impurezas contidas nas aparas no seu tamanho original, para facilitar, posteriormente, a retirada da polpa. Esta é bombeada para o tanque de massa 1, onde permanece em constante agitação, para manter a consistência homogênea.

A próxima etapa é o encaminhamento da polpa, através de uma bomba centrífuga, para os equipamentos de depuração de média consistência. Para obter um melhor rendimento do material, a depuração é normalmente realizada em duas fases, pois as aparas possuem impurezas com diferentes pesos específicos. De início retiram-se as impurezas de peso específico maior que a polpa, por exemplo: pedras, cliques, grampos, areia e peças metálicas. Para facilitar a retirada das impurezas de menor peso específico (plásticos, isopor, madeira, aglomerados de fibras e fibras sintéticas) adiciona-se água, até que a polpa atinja uma consistência entre 2,0 e 2,5% de sólidos. A polpa segue para o tanque de massa 2, quando se inicia a fase da depuração de baixa consistência, pois esta ainda contém algumas impurezas que passaram pela primeira depuração e que podem prejudicar a fabricação do papel.

A fase de depuração de baixa consistência possui duas etapas: a primeira para retirar as impurezas pesadas, como partículas muito pequenas de areia, pó de metais e vidro picado, e a segunda para retirar impurezas leves de pequeno tamanho, tais como plásticos, isopor e aglomerados de fibras.

Concluídas as etapas de depuração, a polpa é encaminhada ao engrossador para a retirada da água e, assim, aumentar sua consistência até aproximadamente 5% de sólidos. A água retirada nesta fase, é enviada para um tanque que recebe o excesso de água das etapas posteriores do processo. Esta é reencaminhada até o desagregador ou seja no início do processo indo compor uma nova batelada de material a ser reciclado.

A polpa após a sua passagem pelo engrossador é depositada no tanque de massa 4. Deste tanque, a massa é bombeada para os equipamentos de refinação, para promover uma melhor homogeneização das fibras. Após esta etapa, a polpa entra na caixa de nível para que o volume de material a ser transferido para o sistema de fabricação da folha de papel seja

sempre constante. Desta forma obtém uma folha com peso por metro quadrado constante. A partir deste momento a polpa é depositada sobre a tela da mesa plana, onde ficam depositadas as fibras, enquanto que a água é gradualmente retirada, primeiro por gravidade, depois por sucção através de uma bomba de vácuo. Toda a água é coletada por calhas e bandejas que estão localizadas sob a tela. Parte dela retorna ao processo e parte sai como efluente final. No fim do percurso de drenagem sobre a mesa plana, a folha de papel já formada, é transferida para o feltro, que a conduz para ser calandrada entre o cilindro secador e um rolo revestido com borracha, cujo objetivo é alisar o papel. O feltro também absorve parte da água que é retirada da folha no momento em que está ocorrendo a calandragem. A partir daqui, ocorre o processo de secagem térmica, por evaporação da água contida na folha. Ao sair do processo de secagem a folha de papel encontra uma lâmina de bronze encostada na superfície de um cilindro metálico. No choque, há formação de uma onda de enrugamento da folha que é chamada de crepagem. Neste enrugamento, há encolhimento da folha com um percentual variável, conforme a característica técnica do papel em fabricação. Em seguida o papel é enrolado em um cilindro metálico, com 2 m de largura, até atingir um diâmetro de 1 m com um peso de aproximadamente 300 kg. Este cilindro é pesado e armazenado, para ser utilizado conforme a necessidade. A partir deste momento, o papel que está enrolado nos cilindros metálicos é transferido para um tubo de papelão de 1,90 m de largura, até atingir um diâmetro de 10 cm. Estes são posteriormente cortados em cilindros menores com 10 cm de largura e de comprimento e com 40 m de papel. Estas são as dimensões de um rolo de papel higiênico. Os rolos são embalados, ou individualmente ou em fardos contendo 8, 16, 32 ou 64 rolos e armazenados no pátio da empresa para posterior comercialização.

3.4-METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

3.4.1 - Pontos de amostragem

Os pontos de coletas de amostras líquidas foram:

Ponto P1: água que era utilizada no processo

A água era proveniente do açude de Bodocongó - Campina Grande - PB. Esta era bombeada para o interior da empresa e a captação era realizada no início do processo, numa tubulação próxima ao desagregador.

Ponto P2: saída do engrossador.

Essa amostra era constituída por água e fibras originadas do transbordo dos dois engrossadores 1 e 2.

Engrossador 1

Este engrossador recebia a sobra de água e fibras, que tiveram origem no tanque de quebras da tela da mesa plana e no tanque de água branca sob a tela (Figura 3.1). A água que sobrou no tanque de água branca foi a água utilizada nos chuveiros de limpeza da malha da tela, no percurso de retorno da mesma até a caixa de entrada. O transbordo do tanque de água branca era encaminhado para o tanque de quebras, onde esta água diluía a massa ali depositada, que era originada nas quebras da folha durante o processo. Uma vez diluída esta solução era bombeada para o engrossador que ficava instalado sobre um tanque de massa. O engrossador separava a água das fibras, a água seguia por uma tubulação para o tanque de água recuperada, que posteriormente iria abastecer o início do processo no desagregador, e as fibras retornavam para o processo, no tanque de massa que fica sob o engrossador.

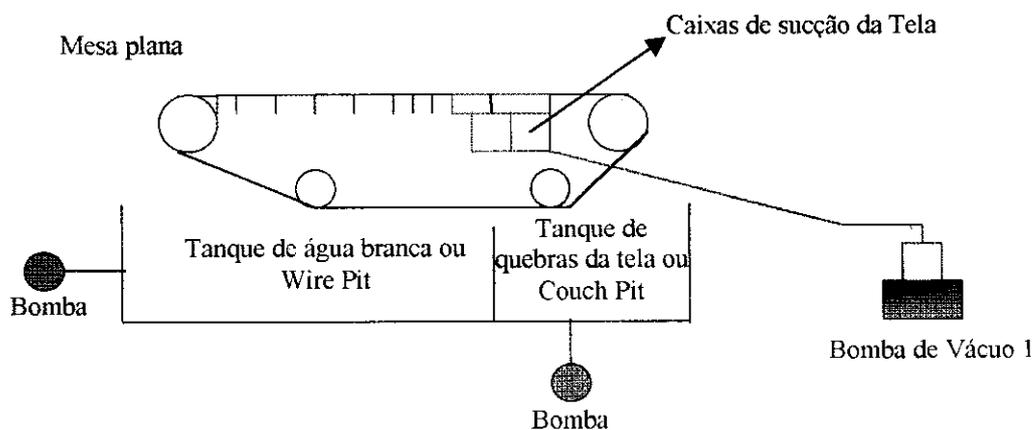


Figura 3.2 - Localização dos tanques da mesa plana para recuperação dos efluentes durante a formação da folha de papel - IPELSA S/A, Campina Grande-PB.

Engrossador 2

A finalidade do engrossador 2, era restaurar na polpa a consistência adequada ao processo de reciclagem, através da retirada da água, fazendo com que retornasse para 4,5% de sólidos. Este aumento de consistência era necessário para o melhor rendimento energético na fase seguinte. A polpa, ao sair do engrossador, era depositada no tanque 3 e a água retirada

Capítulo 3 – Material e Métodos

seguia por uma tubulação para o mesmo tanque em que foi depositada a água proveniente da saída do engrossador 1.

Ponto P3: água que sai da mesa plana ou máquina Fourdrinier.

A água que compõe o efluente do ponto P3 tinha origem em dois pontos distintos do processo:

- água de descarga da bomba de vácuo 1, que é drenada da mesa plana pelas caixas de sucção da tela (Figura 3.1).
- água de descarga da bomba de vácuo 2, que era drenada do feltro, pelas caixas de sucção de condicionamento do feltro (Figura 3.2).

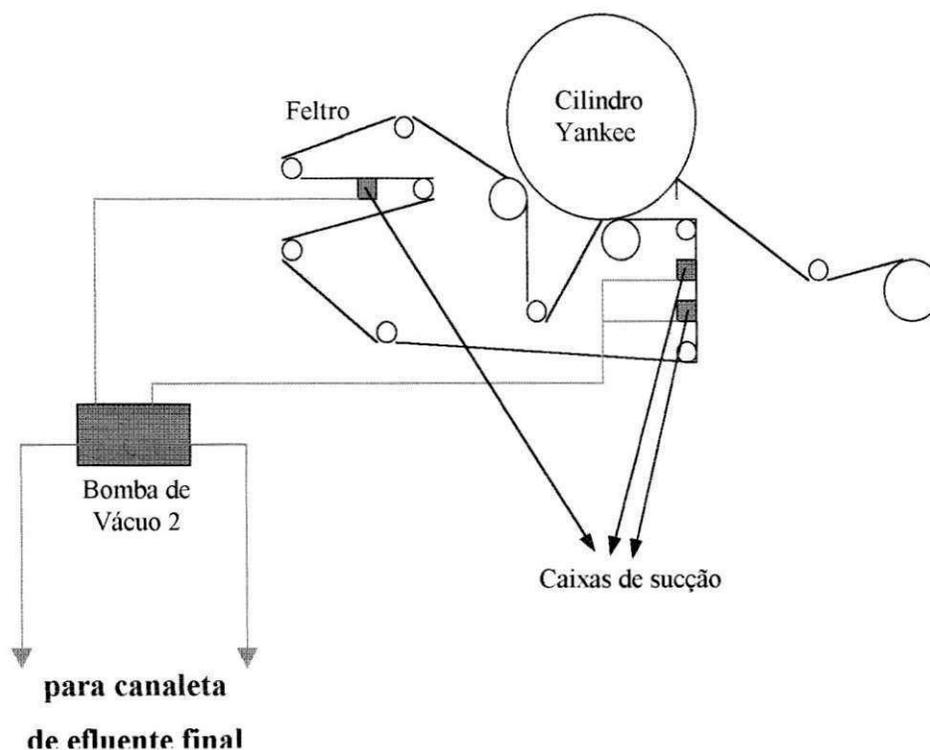


Figura 3.3 – Sistema de drenagem no feltro – IPELSA S/A, Campina Grande – PB.

Ponto P4: efluente final

Este ponto era constituído por parte do ponto P3 e o excesso do engrossador.

Como o processo de desagregação era por batelada, o volume de água que saía dos engrossadores para o tanque de água recuperada, e que era utilizada no desagregador, oscilava de nível, ocorrendo transbordo deste tanque. A água que transbordava seguia por uma canaleta até encontrar com a água do ponto P3.

3.4.2- Período e frequência de amostragem

O período de amostragem compreendeu 07 meses (jan-jul/99), com coletas mensais. Durante o período experimental, foram realizados dois tipos de experimentos: monitoramento sistemático e estudos no ciclo diário (perfis de 24 horas).

- **Monitoramento**

O monitoramento das amostras pontuais foi efetuado com frequência mensal, com coletas entre 13 e 15 horas.

- **Estudos no ciclo diário (Perfil)**

Os estudos no ciclo diário foram realizados nos dias 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99. A coleta das amostras nos quatro pontos foi feita a cada 2 horas, com início às 8h e término às 6h do dia seguinte.

3.4.3 - Procedimento da coleta

As amostras para análises dos parâmetros físico-químicos foram coletadas em recipientes plásticos com capacidade de 2,0 litros, limpos e devidamente identificados. No momento da coleta fazia-se a leitura da temperatura em todos os pontos. A medição da altura da lâmina líquida se efetuava num vertedouro triangular instalado no ponto P4 para posterior cálculo da vazão. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESA - DEC -CCT - UFPB - CAMPUS II, Campina Grande - PB).

3.5 - PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS ANALÍTICOS

A Tabela 3.1 mostra os parâmetros físico-químicos e hidráulicos analisados e os respectivos métodos analíticos empregados.

Tabela 3.1 - Parâmetros hidráulicos, físico-químicos e procedimentos analíticos utilizados na caracterização das águas utilizadas e residuárias produzidas pela IPELSA S/A - Campina Grande (PB).

PARÂMETRO (UNIDADE)	MÉTODO	REFERÊNCIA
Vazão (m ³ /h)	Altura da lâmina líquida	AZEVEDO NETTO (1991)
Temperatura (°C)	Termômetro filamento mercúrio	APHA <i>et al.</i> (1995)
PH	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Condutividade Elétrica (µmho/cm)	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Turbidez (uT)	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	Diluição em fracos padrões de DBO ₅	APHA <i>et al.</i> (1995)
DQO (mg O ₂ /L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio aplicada a pequenas amostras	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	Volumétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sólidos Totais e frações fixas e voláteis(mg/L)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sólidos Suspensos e frações fixas e voláteis (mg/L)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	Titulométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	Titulométrico EDTA	APHA <i>et al.</i> (1995)
Cloretos (mg/L)	Argentométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
APHA <i>et al.</i> (1995)	Turbidimétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Na ⁺⁺ e K ⁺ (mg/L)	Fotometria de chama	APHA <i>et al.</i> (1995)
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , CO ₃ ⁻ e HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Titulométrico	EMBRAPA (1979)

3.6 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados do monitoramento e dos estudos no ciclo diário foram submetidos às seguintes análises estatísticas:

- estatística descritiva, utilizando o EXCEL 97, que apresenta os valores médios, mínimos e máximos de cada conjunto de dados.

- análise de variância (ANOVA: fator único), que foi aplicada aos dados do monitoramento para comparação das médias de cada conjunto de dados. Para estas análises foram utilizados dois tipos de hipótese. A primeira foi a hipótese nula, que afirma que as populações são idênticas. A segunda foi a hipótese alternativa que afirma que nem todas as médias das populações são iguais, ou seja, que existe alguma diferença significativa entre as médias. O programa apresenta um fator estatístico F que comparado com o seu valor crítico $F_{\text{crítico}}$, indica a existência de uma correlação significativa ou não entre o conjunto de dados. Se o F apresentar um valor maior que o $F_{\text{crítico}}$, é indicação que existe uma correlação com um nível de significância de 0,05%.

- método GT-2 (SOKAL & ROHLF, 1981), com a determinação dos limites de confiança inferior (L_{inf}) e superior (L_{sup}) ao nível de 95%, que plotados em gráficos mostraram a ocorrência ou não de diferenças significativas entre as médias analisadas dos pontos.

- estudo de correlação: foi utilizado o software SPSS for Windows. Os dados foram organizados em matrizes do tipo $K(I \times J)$ e a correlação determinou a relação entre dois parâmetros, com níveis de significância de 0,01 e 0,05%.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Monitoramento.

Os dados do monitoramento, coletados durante o período experimental, foram analisados em 2 etapas:

- variação espaço temporal, com auxílio da estatística descritiva e análise de variância (ANOVA: fator único), com o método GT – 2 e
- correlação múltipla com o programa SPSS *for Windows* (NORUSIS, 1992)

4.1.1- Variação espaço temporal

As Figuras 4.1 a 4.38, ilustram a variação temporal dos parâmetros analisados nos quatro pontos monitorados durante o período. A Tabela 4.1 apresenta o valores médios e os intervalos descritivos desses pontos.

4.1.1.1 - Temperatura

No ponto P1 a temperatura da água do açude de Bodocongó variou entre 23,5 (abr-jun/99) e 27,5°C (fev/99) (Figura 4.1). Por se tratar de água superficial as temperaturas mais baixas ocorreram em função de uma diminuição da temperatura do ar. Nesses meses foi caracterizado uma época climática, onde ocorreram as maiores precipitações pluviométricas e as menores insolações, que são características da região Nordeste (CEBALLOS, 1995).

Quando essa água superficial entra no processo de reciclagem ela sofre modificações, visto que o ponto P2 apresentou um aumento na temperatura. Nesta etapa a água foi submetida a um aquecimento em torno de 2 a 4°C (Tabela 4.1). O ponto P2 é a junção das águas oriundas da mesa plana e da pasta celulósica após a depuração. Este aumento na temperatura ocorreu porque parte da água que sai da mesa plana recebe a aplicação de ar aquecido, necessário à secagem da folha de papel.

O ponto P3 apresentou uma elevada variação da temperatura, com valores entre 27 (abr/99) e 32 °C (mar/99). Isto ocorreu devido a injeção de ar quente necessário para a

Tabela 4.1 – Estatística descritiva dos pontos P1 (água do açude de Bodocongó), P2 (saída do engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados durante jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

		TEMP	pH	CE	TURB	ALC.	DUR.	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	ST	STF	STV	SST	SSF	SSV	S.Sed	DBO	DQO	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺
P1	MÉDIA	25,6	8,2	2454	6	304	503	521	162	1819	1317	502	52	28	24	0	31	109	106	72	19	300	354	51
	MÁX.	27,5	8,49	2940	6,8	315	675	644	208	2538	1453	1368	89	53	37	0	79	242	160	116	30	445	382	58
	MÍN.	23,5	7,83	2160	5	292	312	224	94	1552	1170	230	30	12	11	0	5,9	43	79	36	6	104	317	44
P2	MÉDIA	28	7,5	2723	436	606	805	700	219	5578	2489	3139	2812	988	1823	171	541	2635	147	135	0	610	372	57
	MÁX.	30,5	7,66	3140	680	920	1452	1292	245	9171	2949	6806	4604	1252	3480	450	742	6031	215	234	0	1147	401	73
	MÍN.	24	7,04	2300	240	390	450	292	170	2420	1566	854	1164	684	480	39	188	920	96	16	0	128	346	48
P3	MÉDIA	29,6	7,7	2591	526	670	751	626	211	3810	2263	1498	1834	1054	779	99	435	1574	175	113	0	640	366	58
	MÁX.	32	7,86	3030	840	995	1260	957	230	4860	2903	2417	2164	1324	1224	160	749	2636	384	198	0	1293	427	73
	MÍN.	27	7,56	2210	390	508	462	302	185	3169	1458	929	992	600	384	36	173	791	100	12	0	152	340	46
P4	MÉDIA	28,7	7,6	2616	422	664	714	650	214	4106	2340	1770	2110	1087	1023	164	391	1724	159	116	0	603	345	48
	MÁX.	32	7,88	3100	560	825	1080	1196	230	4736	2655	2363	3004	2196	1744	255	943	3145	362	220	0	1098	391	58
	MÍN.	25	7,37	2290	290	530	488	288	204	3361	2038	1094	1184	280	548	86	184	382	89	16	0	122	325	41

Temp – temperatura (°C)

pH – adimensional

CE – condutividade elétrica (µmho/cm)

Turb – turbidez (uT)

Alc. – alcalinidade (mgCaCO₃/L)

Dur.- dureza (mg/L)

Cl⁻ – cloretos (mg/L)

SO₄⁼ – sulfato (mg/L)

ST – sólidos totais (mg/L)

STF - sólidos totais fixos (mg/L)

STV - sólidos totais voláteis (mg/L)

SST - sólidos suspensos totais (mg/L)

SSF - sólidos suspensos fixos (mg/L)

SSV - sólidos suspensos voláteis (mg/L)

S.Sed - sólidos sedimentáveis (mL/L)

DBO₅ – demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)

DQO - demanda química de oxigênio (mg/L)

Mg⁺⁺ - magnésio (mg/L)

Ca⁺⁺ – cálcio (mg/L)

CO₃⁻ – carbonato (mg/L)

HCO₃⁻ – bicarbonato (mg/L)

Na⁺ – sódio (mg/L)

K⁺ - potássio (mg/L)

secagem da folha de papel. Porém, foi no efluente final (ponto P4) onde foi observado a maior variação da temperatura, com o mínimo de 25 °C (abr/99) e máximo de 32 °C (maio/99) mostrando um gradiente de 7 °C (Tabela 4.1).

As temperaturas das amostras de todos os pontos apresentaram um comportamento temporal similar (Figura 4.1), ou seja, as flutuações deste parâmetro, particularmente nos pontos P2, P3 e P4 foram semelhantes e acompanharam aquelas observadas no ponto P1.

Quando uma água residuária aquecida é lançada no meio ambiente, o aumento da temperatura no corpo receptor pode acarretar danos à biota e alterar a qualidade da água. Dentre os danos diretos citam-se a alteração da velocidade das reações químicas, alterações da densidade da água, do comportamento e, eventualmente, da sobrevivência de algumas espécies. Os efeitos indiretos decorrentes da elevação da temperatura podem apresentar sérias conseqüências, pois um aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases na água, particularmente do oxigênio dissolvido, além de estimular as atividades biológicas, proporcionando com isso um maior consumo de oxigênio no momento de menor concentração (IPT, 1988).

Embora tenha sido observado valores de temperatura de até 32 °C (pontos P3 e P4), este não representou uma poluição térmica para o corpo receptor, visto que temperaturas próximas de 30 °C são encontradas em águas residuárias (SILVA, 1982) e superficiais de regiões de clima tropical, em particular da região nordeste do Brasil (CEBALLOS *et al.*, 1997).

Através da análise de variância ANOVA fator único (Tabela 4.2), foi observado que existe uma diferença significativa entre as temperaturas médias dos pontos analisados. Com o auxílio do método GT-2 foram determinados os limites de confiança de 95%, os quais estão ilustrados na Figura 4.2. Através desta figura foi observado que não existiram diferenças significativas entre as médias de temperatura nos pontos P2, P3 e P4. Somente o ponto P1 é significativamente diferente (inferior) ao ponto P3. Com isso podemos afirmado que no processo de reciclagem não ocorreram grandes alterações das temperaturas da água utilizada no processo e dos efluentes gerados.

Tabela 4.2 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de temperatura nos quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	63,7411	3	21,247	4,856463	0,008848	3,0087861
Dentro dos grupos	105	24	4,375			
Total	168,741	27				

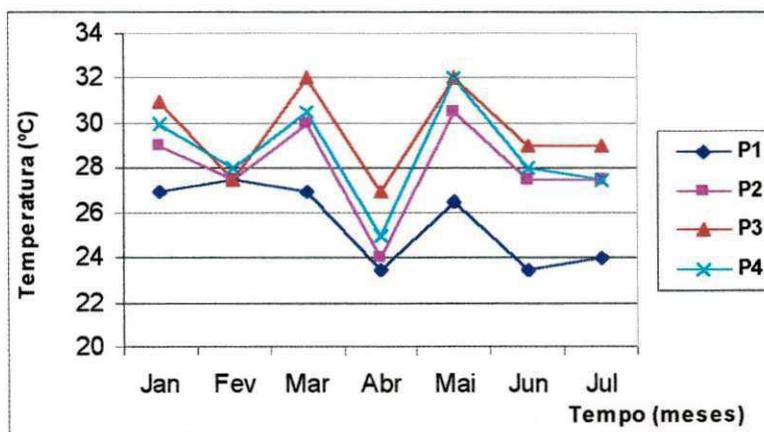


Figura 4.1 - Variação de temperatura, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

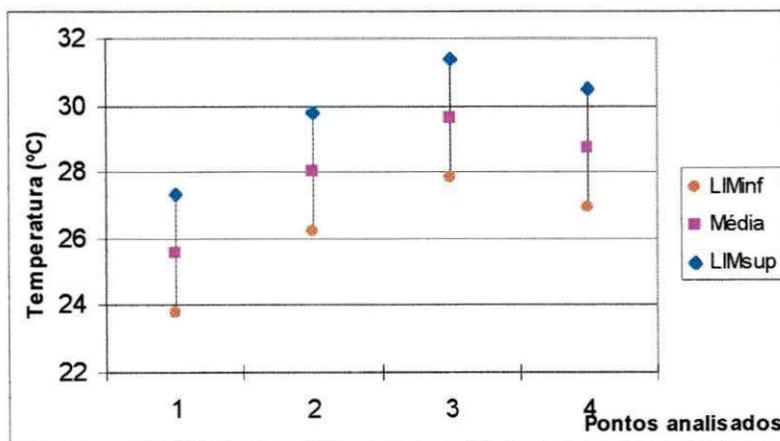


Figura 4.2 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da temperatura entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.2 - pH

Como mostra a Figura 4.3, o pH apresentou um comportamento semelhante nos diferentes pontos. Apesar desta uniformidade temporal, o pH diminuiu nos pontos P2, P3 e P4 em relação ao P1, associado ao tipo de matéria-prima (aparas) utilizada, pois os fardos de aparas podem conter papéis ácidos, fazendo decrescer o pH. No entanto, o efluente final ainda apresentou o pH levemente básico de 7,6 (Tabela 4.1). A acidez dos papéis é causada pela presença de produtos químicos que são adicionados durante a sua fabricação (ABTCP, 1998).

A água utilizada no processo (ponto P1) apresentou os maiores valores de pH, com média de 8,2 e valores mínimo e máximo de 7,83 (mai/99) e 8,49 (jan/99). Os demais pontos apresentaram valores médios em torno de 7,6 (Tabela 4.1).

Durante as etapas da reciclagem de papel, o pH apresentou valores pontuais ligeiramente menores que aqueles na água de entrada, como, por exemplo, o efluente final, cujos valores mínimo e máximo foram de 7,37 (abr/99) e 7,88 (fev/99). Considerando o pH como um parâmetro isolado, estes valores próximos ao neutro são aceitáveis para lançamentos em corpos receptores, pois não afetam a sobrevivência da biota (CONAMA, 20/86).

A Tabela 4.3 mostra o resumo estatístico da ANOVA fator único, destacando-se as diferenças significativas entre os pontos ($F > F_{\text{crítico}}$). A Figura 4.4 mostrou a existência de dois grupos: o primeiro constituído pelo ponto P1 e o segundo por P2, P3 e P4, indicando que o processo de reciclagem influencia no valor do pH.

Tabela 4.3 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do pH em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,17315	3	0,7244	19,2248	1E-06	3,008786
Dentro dos grupos	0,90431	24	0,0377			
Total	3,07747	27				

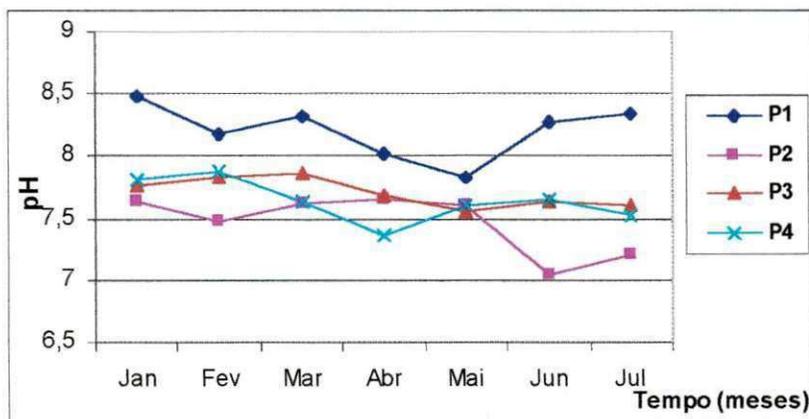


Figura 4.3 - Variação de pH, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

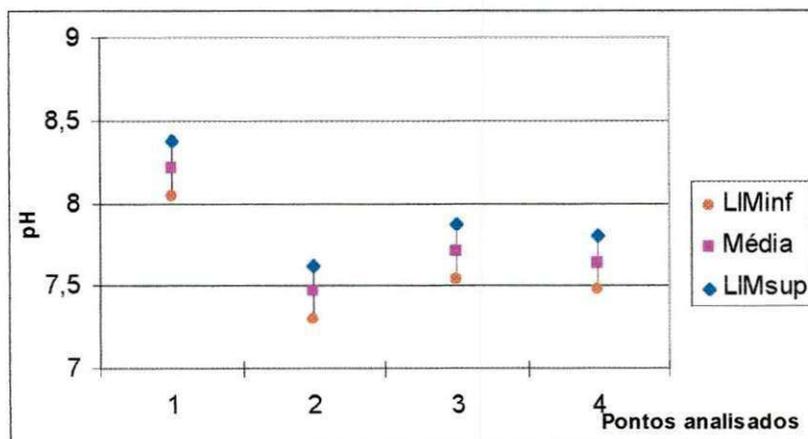


Figura 4.4 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do pH entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.3 - Condutividade Elétrica.

A condutividade elétrica foi elevada nos quatro pontos (Figura 4.5), em função da existência de expressivos teores de sais dissolvidos na água superficial que entra no processo (ponto P1). Neste, o valor médio da condutividade foi de 2.454 $\mu\text{mho/cm}$, mínimo de 2.160 $\mu\text{mho/cm}$ (jun/99) e máximo de 2.940 $\mu\text{mho/cm}$ (mar/99). Os maiores valores no ponto P1 foram encontrados nos meses fevereiro e março/99, que foram associados à evaporação das águas do açude de Bodocongó nesse período, provocando a concentração dos sais, resultando no aumento da condutividade elétrica (CEBALLOS *et al.*, 1997).

Os valores comportamento da condutividade elétrica nos pontos P2, P3 e P4 foram próximos, porém um pouco mais elevado do que aos encontrados no ponto P1. Este aumento foi mais acentuado entre os pontos P1 e P4, de 7% (jun/99) e 13% (jul/99), respectivamente, ocasionado pela presença de aditivos químicos nas aparas de papel, como por exemplo carbonato de cálcio, cujos íons são transferidos às águas residuárias no decorrer do processo de reciclagem.

A estatística F apresentou valor menor que $F_{\text{crítico}}$ (Tabela 4.4) indicando que não existiram diferenças significativas entre as médias dos pontos analisados, ou seja, durante o processo não ocorreu grandes modificações das concentrações dos sais dissolvidos, que interferissem na condutividade elétrica.

Tabela 4.4 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de condutividade elétrica em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	256350,1	3	85450,04	0,864155	0,473171	3,008786
Dentro dos grupos	2373187	24	98882,77			
Total	2629537	27				

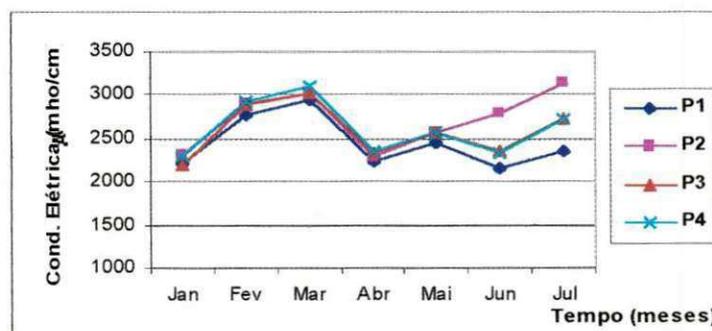


Figura 4.5 - Variação da condutividade elétrica, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.4 –Turbidez

A variação temporal da turbidez nos quatro pontos analisados é mostrada na Figura 4.6. No ponto P1 foi observado baixa turbidez, com valores mínimo e máximo de 5 uT (jul/99) e 7uT (fev/99), respectivamente. Quando esta água entrou no processo ocorreu um aumento significativo da turbidez, cujos valores médios foram, de até 73 vezes (6 – 436 uT) para o ponto P2 (fev/99), de 140 vezes (6 – 840 uT) para o ponto P3 (abr/99) e de 70 vezes para o P4 (6 – 422 uT) em relação ao P1 (Tabela 4.1). Esta elevação ocorreu devido à desagregação das aparas em pequenas fibras, que são menores que o diâmetro dos orifícios da tela da mesa plana e, por isso, atravessam-na no momento da drenagem, conferindo ao efluente uma elevada turbidez.

Quando efluentes turvos, são lançados em corpos receptores, diminuem a penetração da luz, impedindo a atividade fotossintética e com ela a produção de O₂, comprometendo a biota do corpo receptor, particularmente dos organismos autotróficos (ODUM, 1988).

A elevada flutuação de turbidez observada em P2, mínimo de 240 uT (fev/99) e máximo de 680 uT(jun/99), foi decorrente do tempo necessário para o processamento de cada batelada no desagregador e da turbidez da água que estava sendo enviada para o engrossador na hora da coleta da amostra, visto que o sobrenadante do engrossador ao ser enviado para o desagregador compõe o volume de cada batelada. Quando o tempo necessário para processar cada batelada no desagregador era maior que o tempo de enchimento do engrossador, ocorria um transbordo deste, aumentando a quantidade de fibras do ponto P2.

As águas do ponto P3 apresentaram grande variação da turbidez, com valor médio de 526 uT, mínimo de 390 uT (jul/99) e máximo de 840 uT (abr/99) (Tabela 4.1). Essa variabilidade foi associada às microfibras celulósicas que atravessam a tela da mesa plana na hora da drenagem gravitacional e da drenagem por sucção que ocorre nesta fase do processo.

No efluente final (ponto P4) ocorreu o menor gradiente (290 – jul/99 a 560 uT – abr/99), por se tratar de águas mais diluídas provenientes das diferentes etapas do processo, visto que o efluente final é a junção das águas oriundas do transbordo do engrossador e das águas de drenagem da mesa plana.

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 4.5, mostraram que entre os pontos analisados ocorreram diferenças significativas entre os valores médios de turbidez ($F > F_{\text{crítico}}$). A Figura 4.7 ilustra dois grupos, um formado pelo ponto P1 e o outro pelos pontos P2, P3 e P4, mostrando que, neste último, houve a interseção de seus limites de confiança podendo ser considerados estatisticamente iguais.

Tabela 4.5 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de turbidez em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1132356	3	377451,9	27,69969	5,75E-08	3,008786
Dentro dos grupos	327037,9	24	13626,58			
Total	1459394	27				

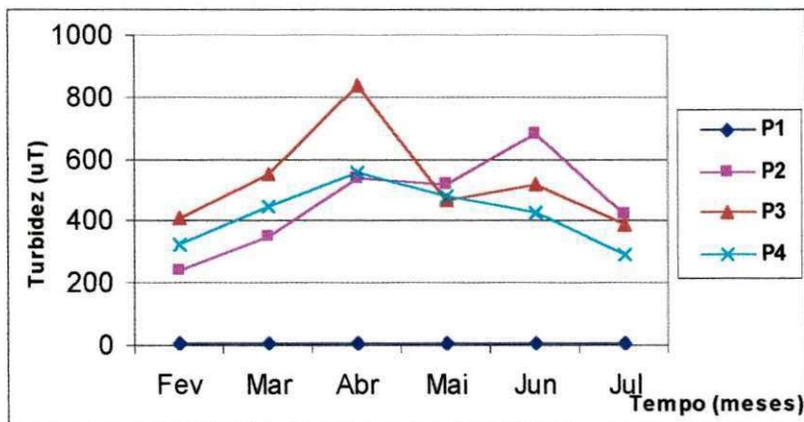


Figura 4.6 - Variação de turbidez, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

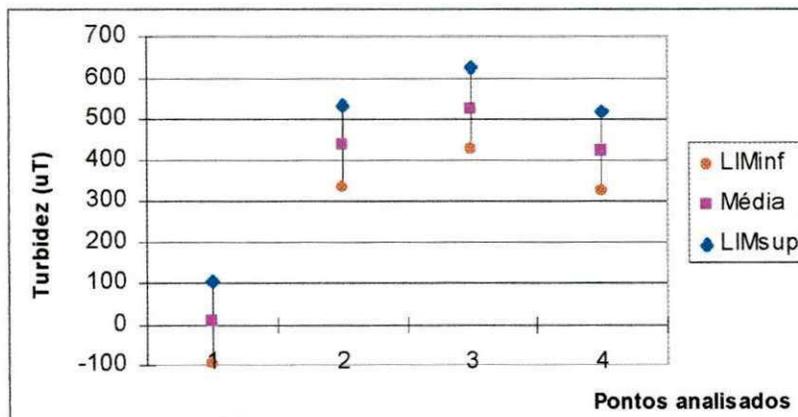


Figura 4.7 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da Turbidez entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.5 - Alcalinidade

Os valores da alcalinidade no ponto P1 (Figura 4.8) variaram pouco ao longo do período experimental, entre 292 mgCaCO₃/L (jan/99) e 315 mgCaCO₃/L (jun/99). Porém, nos demais pontos houve um aumento deste parâmetro evidenciando que a desagregação das aparas adicionou alcalinidade às águas. As aparas utilizadas pela empresa são mistas, ou seja, compostas tanto por papéis ácidos como por papéis alcalinos. Atualmente, vem sendo constatado que a utilização de papéis alcalinos está em ascensão, pelo fato destes papéis serem mais resistentes e não perderem suas propriedades, como por exemplo a alvura, com o passar do tempo (ABTCP, 1998). A elevação da alcalinidade nas amostras evidencia uma maior quantidade de papéis alcalinos nas aparas, resultando num acréscimo nas águas do processo de reciclagem, inclusive no efluente final.

No mês de jul/99, entre os pontos P1 e P4, houve um acréscimo de até 162% da alcalinidade (315 – 825 mgCaCO₃/L), que poderia ser relacionado com um percentual maior de papéis alcalinos contidos na matéria prima utilizada.

Através da Tabela 4.6 foi verificado que existe uma diferença significativa entre as concentrações médias nos pontos analisados. A Figura 4.9 mostra onde ocorre essa diferença. O ponto P1 forma um grupo e os pontos P2, P3 e P4 outro, confirmando que o processo influencia nas concentrações de alcalinidade.

4.1.1.6 - Dureza

A Figura 4.10 ilustra a variação temporal das concentrações de dureza nos 4 pontos analisados.

A dureza da água que abastece a indústria (ponto P1) foi muito elevada, com valor médio de 503 mgCaCO₃/L (Tabela 4.1), sendo considerada muito dura, pois excedeu o valor de 400 mgCaCO₃/L, conforme SAWYER *et al.* (1994).

Nos pontos P2, P3 e P4, a concentração foi mais elevada, porém seguiu o mesmo comportamento observado nas águas do açude de Bodocongó, com exceção de jul/99. O aumento pode ser atribuído a carga mineral, ou seja, as substâncias inorgânicas que têm por finalidade tornar a folha mais lisa e menos transparente, além de melhorar também o índice de alvura do papel. Dentre as substâncias definidas como cargas que são adicionadas em papéis alcalinos destaca-se o carbonato de cálcio, que vem nas aparas (ABTCP, 1998). A sua desagregação em meio aquoso libera o carbonato de cálcio contido nos papéis alcalinos, o qual confere uma maior dureza às águas residuárias.

Tabela 4.6 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de alcalinidade em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	634710,4	3	211570,1	12,31744	4,46E-05	3,008786
Dentro dos grupos	412235,4	24	17176,48			
Total	1046946	27				

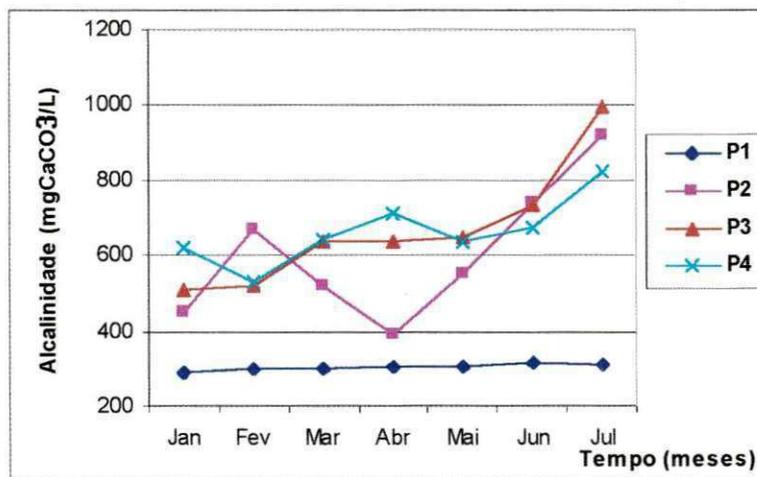


Figura 4.8 - Variação da Alcalinidade, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

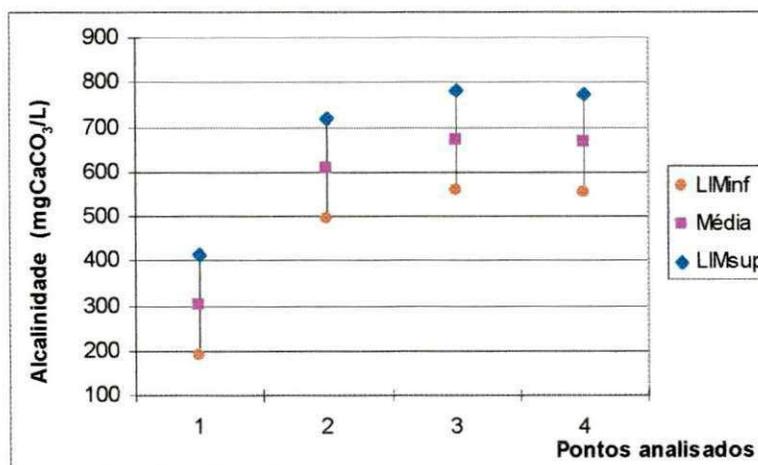


Figura 4.9 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da Alcalinidade entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

A Tabela 4.7 mostra que o valor de F é menor do que o de $F_{\text{crítico}}$ e indica que durante o processo de reciclagem a quantidade de dureza adicionada através das aparas não foi suficiente para apresentar diferenças significativas entre a água que foi utilizada e as águas geradas.

Tabela 4.7 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de dureza em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	367249,6	3	122416,5	1,80884	0,172481	3,008786
Dentro dos grupos	1624243	24	67676,8			
Total	1991493	27				

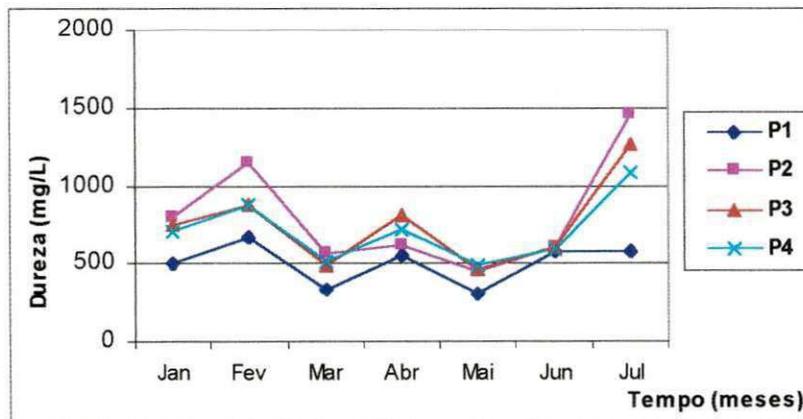


Figura 4.10 - Variação de Dureza, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.7 - Cloretos

As concentrações de cloretos nos pontos analisados durante o período experimental foram uniformes (Figura 4.11), com valores médios de 521, 700, 626 e 650 mg/L, em P1, P2, P3 e P4, respectivamente (Tabela 4.1). O aumento da concentração deste parâmetro entre fev-mar/99 foi associado às aparas das quais foram extraídas as amostras, que poderiam conter impurezas com um alto teor de cloretos.

No ponto P2 foi registrada a maior concentração média de cloretos (700 mg/L – Tabela 4.1). Porém, as concentrações de cloretos lançados no ambiente através do efluente final (ponto P4) apresentaram grande variabilidade, visto que os valores mínimo e máximo foram de 288 e 1.196 mg/L, respectivamente.

O resumo da ANOVA: fator único (Tabela 4.8), evidenciou que não existiram diferenças significativas dos valores médios de cloretos entre os pontos, indicando que o processo não influenciou significativamente a água que foi utilizada.

Tabela 4.8 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de cloretos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	119402	3	39800,6	0,680186	0,572767	3,0087861
Dentro dos grupos	1404345	24	58514,4			
Total	1523746	27				

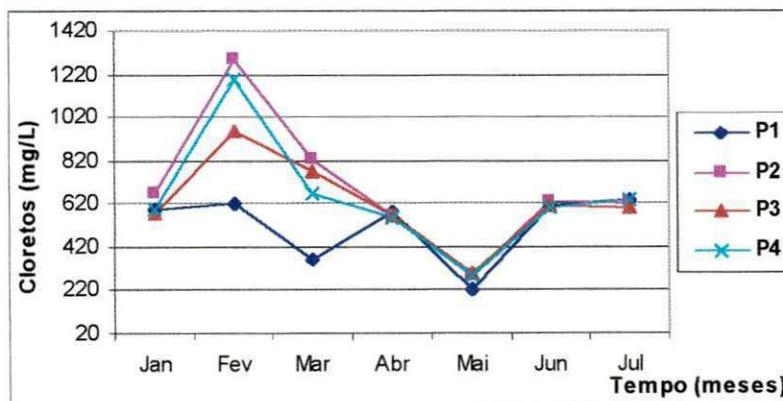


Figura 4.11 - Variação de Cloretos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.8 - Sulfatos

A concentração de sulfato na água que abastece a empresa foi bastante variada, (Figura 4.12) fluando desde 100 mg/L (fev-abr/99) até valores de próximos à 200 mg/L (mar-mai/99). Nos demais pontos houve um aumento da concentração deste parâmetro cujo valor não excedeu a 245 mg/L (ponto P2 – jun/99). Na fabricação de determinados tipos de papéis que compõem as aparas são adicionados compostos à base de sulfatos, por exemplo o sulfato de alumínio, utilizado para controle do pH e na precipitação da cola sobre as fibras, para auxiliar a fixação dos corantes e das cargas (IPT, 1988), resultando num aumento das concentrações de sulfato nos pontos P2, P3 e P4, cujos valores médios foram de 219, 211 e 214 mg/L, respectivamente (Tabela 4.1).

A Tabela 4.9, mostra $F > F_{\text{crítico}}$, indicando que nem todos os valores médios das concentrações foram semelhantes. A Figura 4.13 mostra que a introdução de sulfato ao longo do processo foi significativa, visto que o limite superior do ponto P1 não apresenta interseção com os limites inferiores dos demais pontos.

Tabela 4.9 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias de sulfatos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	15039,3	3	5013,1	6,31181	0,0026	3,008786
Dentro dos grupos	19061,7	24	794,24			
Total	34101	27				

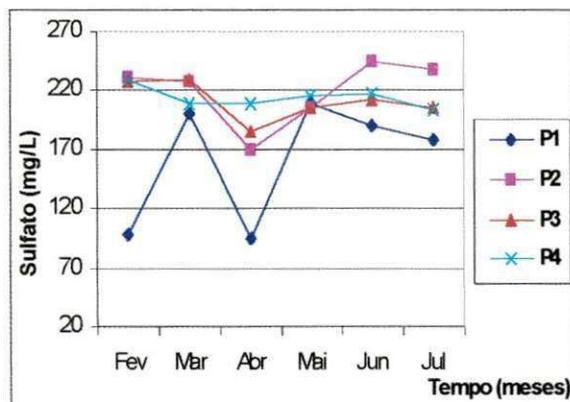


Figura 4.12 - Variação de Sulfato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

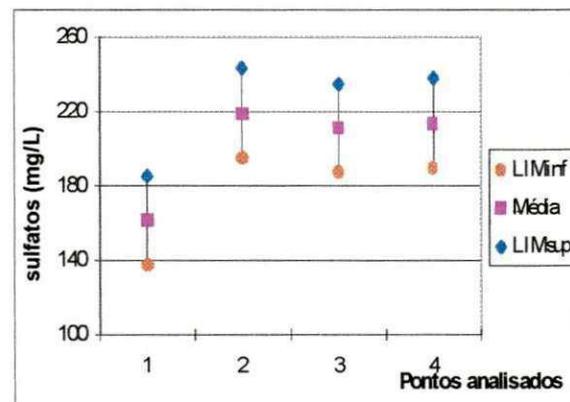


Figura 4.13 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do Sulfato entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

4.1.1.9 – Sólidos Totais e suas frações.

Nas sete amostras analisadas no ponto P1 (Tabela 4.1) as concentrações de sólidos totais, variaram de 1.552 mg/L (mai/99) a 2.538 mg/L (jun/99). Essa variação nas águas superficiais foi influenciada por condições climáticas, como a insolação alta, que favoreceram a evaporação da água elevando a concentração de sais dissolvidos.

As concentrações de sólidos totais (Figura 4.14) aumentaram consideravelmente no ponto P2, com valores de até 9.171 mg/L (jan/99). A grande variabilidade das concentrações de sólidos totais neste ponto foi relacionada com as características do processo de reciclagem no engrossador, cuja finalidade é aumentar o teor de sólidos da pasta celulósica de 2,5% para 5%. No entanto, quando o engrossador estava recebendo pasta depurada todo o material era homogeneizado, implicando numa alta concentração de sólido na amostra analisada e quando cessava a alimentação ocorria uma decantação, formando um sobrenadante com menor teor de sólidos totais.

Nos demais pontos (P3 e P4), as concentrações de sólidos totais se mantiveram elevadas, o que foi preocupante, pois concentrações de até 4.736 mg/L (mar/99) foram descarregadas no ambiente como efluente final (Tabela 4.1). Concentrações desta grandeza causam problemas de assoreamento no leito do corpo receptor, que aliado ao alto teor de matéria orgânica, ao ser degradada retira o oxigênio dissolvido que porventura exista nestas águas (IPT,1988).

A fração fixa dos sólidos totais (Figura 4.15) foi superior à fração volátil (Figura 4.16) em 3 dos 4 pontos analisados. No ponto P1 (água do açude de Bodocongó) o valor médio da fração fixa (1.317 mg/L) foi 2,5 vezes superior ao valor médio da fração volátil (502 mg/L) e estava associada às concentrações de cloretos (521 mg/L), magnésio (106 mg/L) e sódio (308 mg/L). A elevada fração inorgânica da água superficial, além dos produtos inorgânicos que fazem parte da composição do papel e que foram liberados para as águas residuárias durante a reciclagem, colaboraram para o aumento da fração fixa nos pontos P3 e P4.

Em relação à fração volátil (Tabela 4.1), somente no ponto P2 o valor médio (3.139 mg/L) foi superior a fração fixa (2.489 mg/L), visto se tratar das águas do engrossador, cujos elevados teores de microfibras celulósicas elevaram a concentração da fração orgânica dos sólidos.

Conforme mostra as Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12 os sólidos e sua frações apresentaram diferenças significativas entre as médias de cada ponto. No entanto, através das Figuras 4.17,

4.18 e 4.19, foi observado que apenas a fração fixa não apresentou interseção entre os pontos P1 e os demais pontos, confirmando que a maior interferência na concentração dos sólidos totais é da parte fixa.

Tabela 4.10 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	50227674	3	16742558	9,730638	0,000219	3,008786
Dentro dos grupos	41294456	24	1720602			
Total	91522130	27				

Tabela 4.11 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais fixos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5940758	3	1980253	16,20821	5,69766E-06	3,008786
Dentro dos grupos	2932221	24	122175,9			
Total	8872979	27				

Tabela 4.12 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos totais voláteis em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	24840645	3	8280215	6,002258	0,003348	3,008786
Dentro dos grupos	33108398	24	1379517			
Total	57949043	27				

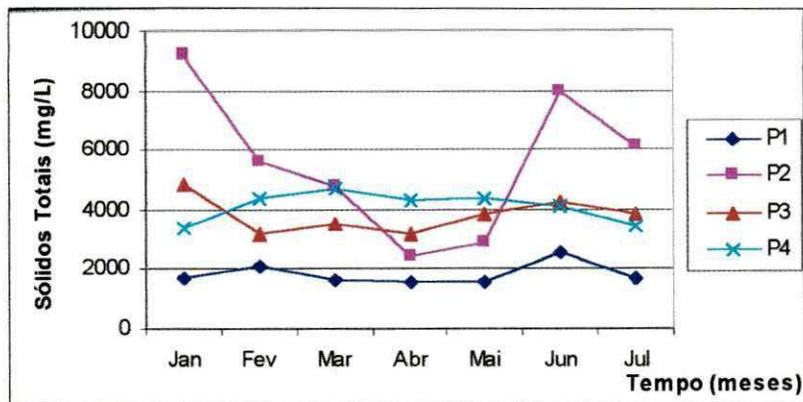


Figura 4.14 - Variação de sólidos totais, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

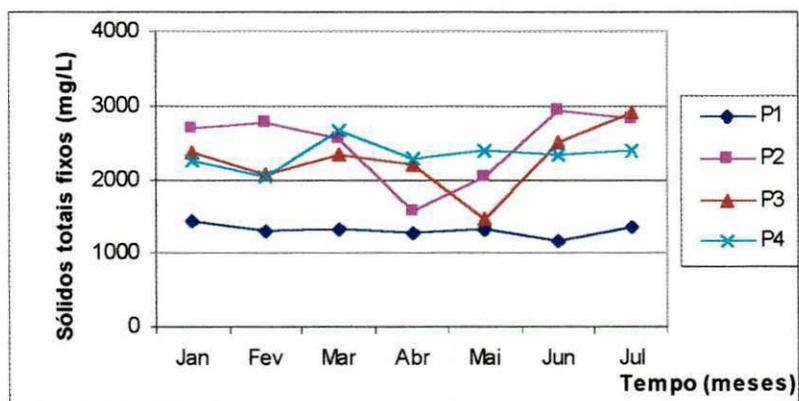


Figura 4.15 - Variação dos sólidos totais fixos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

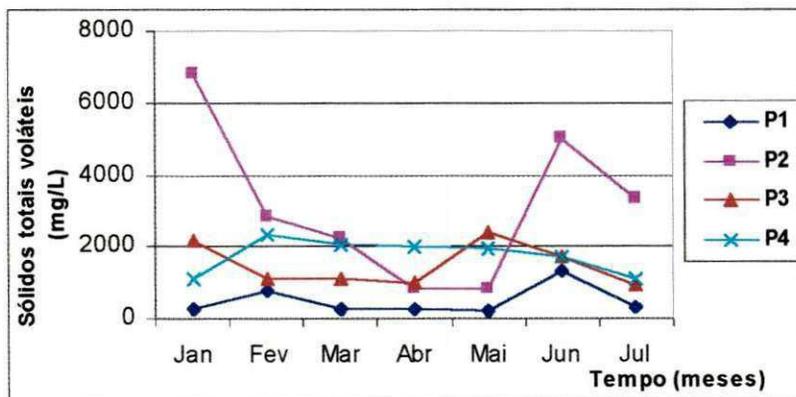


Figura 4.16 - Variação dos sólidos totais voláteis, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

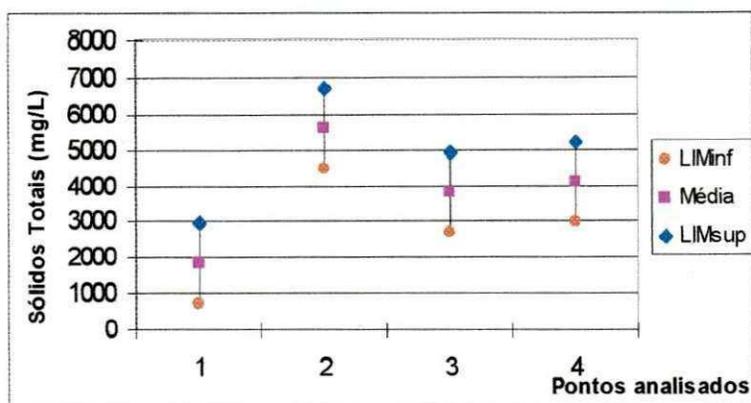


Figura 4.17 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sól. totais entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

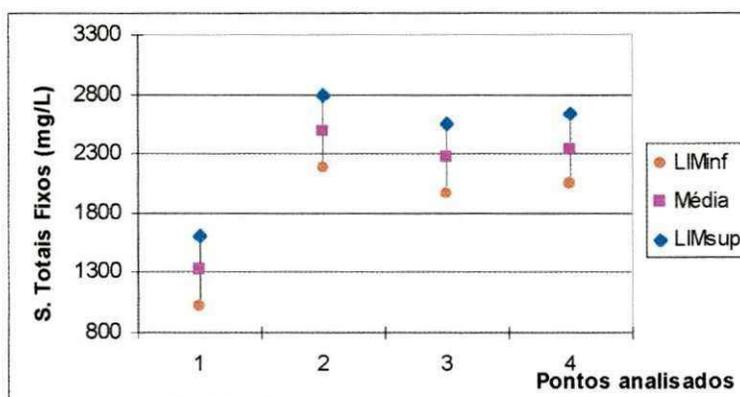


Figura 4.18 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sól. totais fixos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

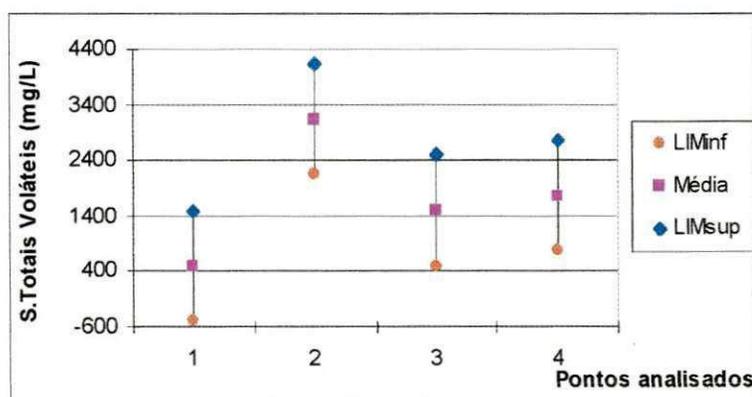


Figura 4.19 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sól. totais voláteis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

4.1.1.10 – Sólidos Suspensos e suas frações.

A Figura 4.20, mostra o comportamento dos sólidos suspensos totais, onde o valor médio da água que abastece a indústria (ponto P1) foi de 52 mg/L. Nos demais pontos ocorreram alterações significativas em relação ao conteúdo de sólidos suspensos encontrados na água superficial, de 54 vezes (2.812 – 52 mg/L), de 35 vezes (1.834 – 52 mg/L) e 40 vezes (2.110 – 52 mg/L) em P2, P3 e P4, respectivamente (Tabela 4.1). A consistência da polpa celulósica no ponto P2 era muito elevada, o que foi comprovada com as elevadas concentrações de sólidos suspensos totais neste ponto, cujo valor médio foi de 2.812 mg/L, mínimo de 1.164 mg/L (mai/99) e máximo de 4.604 mg/L (jun/99). As concentrações do efluente final variaram entre 1.184 mg/L (fev/99) a 3.004 mg/L (abr/99), e foram afetadas em decorrência das altas concentrações dos pontos P2 e P3.

Através da Figura 4.21 e 4.22 foi observado que as frações fixas e voláteis aumentaram em relação ao ponto P1. O valor médio da fração fixa (Tabela 4.1) aumentou de 35 vezes (28 – 988 mg/L) em P2, de 37 vezes (28 – 1054 mg/L) em P3 e de 39 vezes (28 – 1087 mg/L) em P4. A fração volátil (Tabela 4.1) apresentou o maior valor médio no P2 (1.823 mg/L) e foi atribuído a consistência da massa que, neste ponto, é maior que nos demais.

A ANOVA: fator único, mostrou através das Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15, que nos sólidos suspensos totais e suas frações, ocorreu diferenças significativas entre as médias nos quatro pontos analisados. As Figuras 4.23, 4.24 e 4.25, ilustram os limites inferiores, superiores e as médias. Foi observado que os sólidos suspensos totais e a fração fixa, apresentaram dois grupos, o primeiro constituído de P1 e o segundo dos demais pontos, indicando e confirmando que o processo modifica consideravelmente as características da água que é utilizada no processo. A fração volátil apresentou uma interseção entre os limites dos pontos, indicando que estatisticamente são iguais.

Tabela 4.13 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos totais em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,9E+07	3	9656852	17,12761	3,67E-06	3,0087861
Dentro dos grupos	1,4E+07	24	563818			
Total	4,3E+07	27				

Tabela 4.14 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos fixos em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5446242	3	2E+06	15,551	8E-06	3,008786
Dentro dos grupos	2801749	24	116740			
Total	8247991	27				

Tabela 4.15 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos suspensos voláteis em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	11418500	3	3806167	10,35515	0,000146	3,008786
Dentro dos grupos	8821504	24	367562,7			
Total	20240004	27				

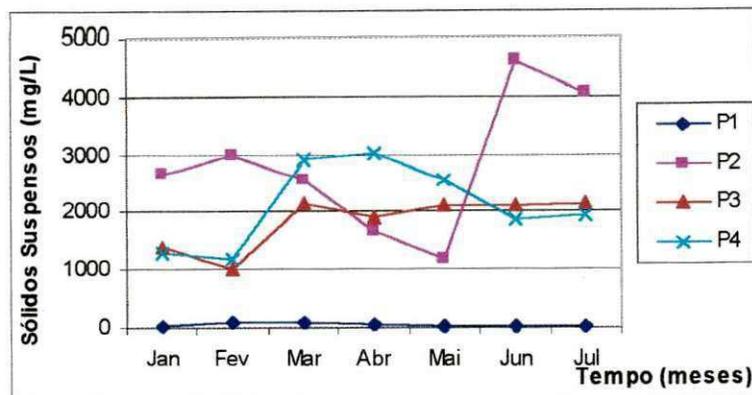


Figura 4.20 - Variação dos sólidos suspensos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

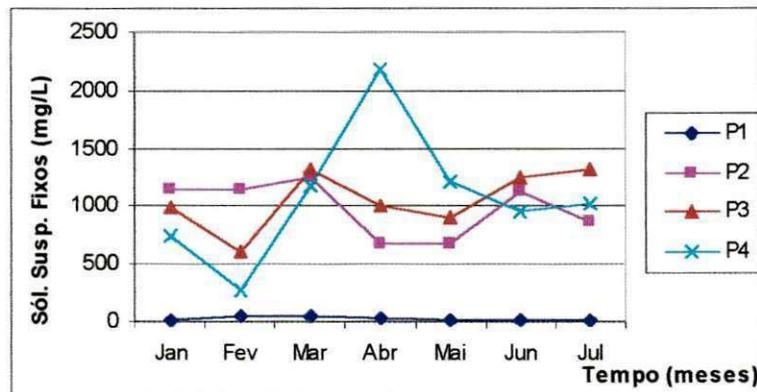


Figura 4.21 - Variação dos sólidos suspensos fixos, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

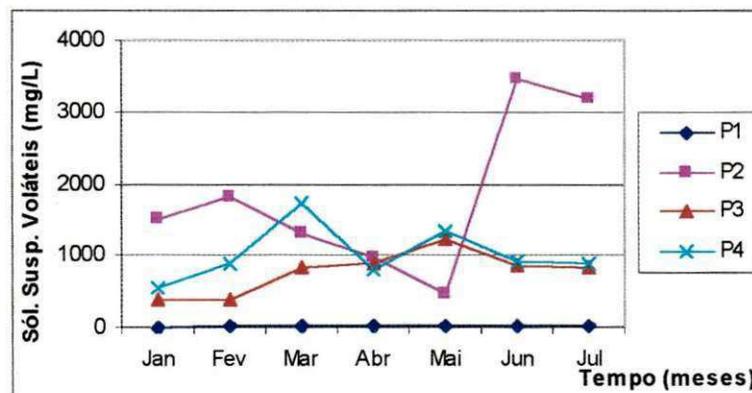


Figura 4.22 - Variação dos sólidos suspensos voláteis, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 ((efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

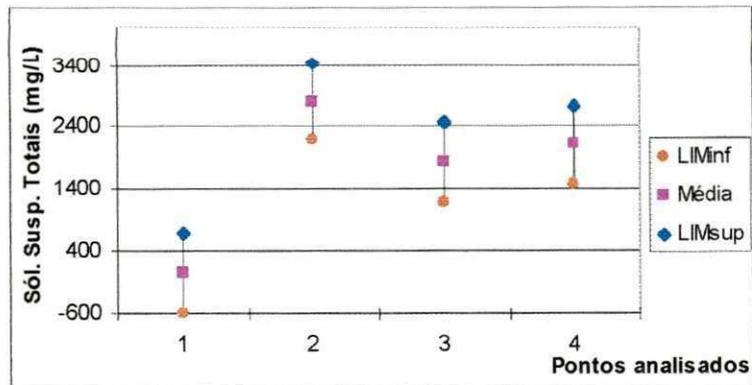


Figura 4.23 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos suspensos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

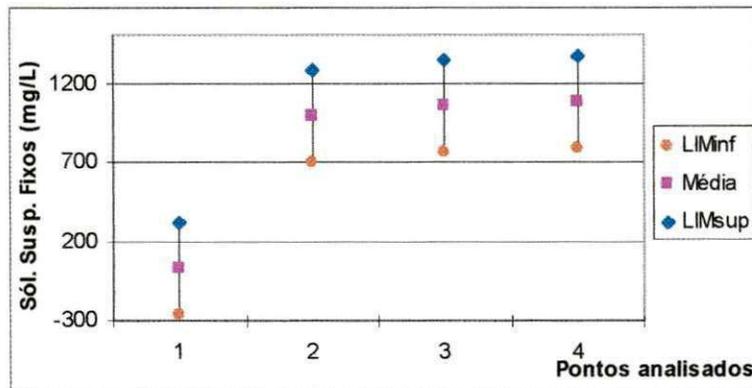


Figura 4.24 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sól. suspensos fixos entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

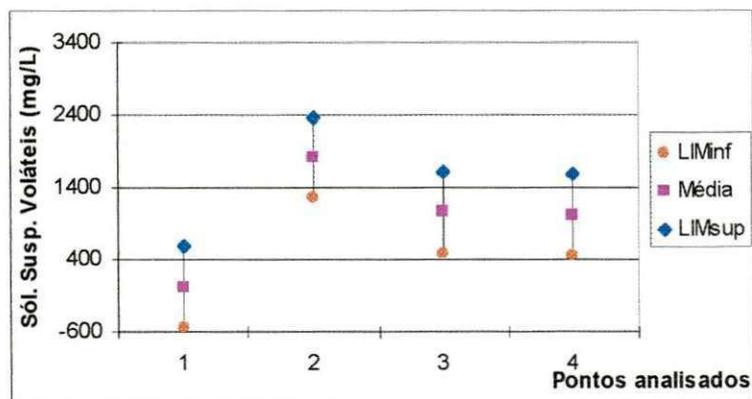


Figura 4.25 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sól. suspensos voláteis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

4.1.1.11 – Sólidos Sedimentáveis

O monitoramento deste parâmetro é importante, pois serve determinar o comportamento físico de escoamentos de despejos que entram no corpo d'água e para justificar a necessidade de unidades de sedimentação (SAWYER *et al*, 1994).

Esta análise foi realizada apenas nos pontos P2, P3 e P4, pois as amostras do ponto P1, sendo provenientes de água superficial, continham concentrações reduzidas de sólidos sedimentáveis.

O ponto P2 apresentou as maiores variações, com mínimo de 39 mL/L (abr/99) e máximo de 450 mL/L (jun/99) (Tabela 4.16). Estas variações foram devidas as características do processo no engrossador que, dependendo do tempo de cada batelada do desagregador, o efluente deste ponto podia ser liberado com uma concentração menor ou maior de fibras celulósicas.

Os sólidos sedimentáveis dos pontos P3 e P4 apresentaram um comportamento semelhante (Figura 4.26), com valores mais elevados de 160 e 255 mL/L, respectivamente nos meses de maio e jul/99.

No efluente final os valores variaram entre 86 (fev/99) e 255 mL/L (mai-jul/99). Estes valores são incompatíveis com os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores (CONAMA 20/86), pois elevados teores de sólidos sedimentáveis provocam a formação de bancos de lodo que contribuem com o assoreamento do corpo receptor (IPT, 1988).

A Tabela 4.16 mostra que os sólidos sedimentáveis apresentaram diferenças entre as médias e a Figura 4.27 mostra que o ponto P1 é significativamente diferente dos pontos P2 e P4 e que as médias dos pontos P2, P3 e P4 não apresentaram diferenças significativa e são consideradas estatisticamente iguais.

Tabela 4.16 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias dos sólidos sedimentáveis em três pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	132155,6	3	44051,86	5,54446	0,004893939	3,008786
Dentro dos grupos	190684,9	24	7945,202			
Total	322840,4	27				

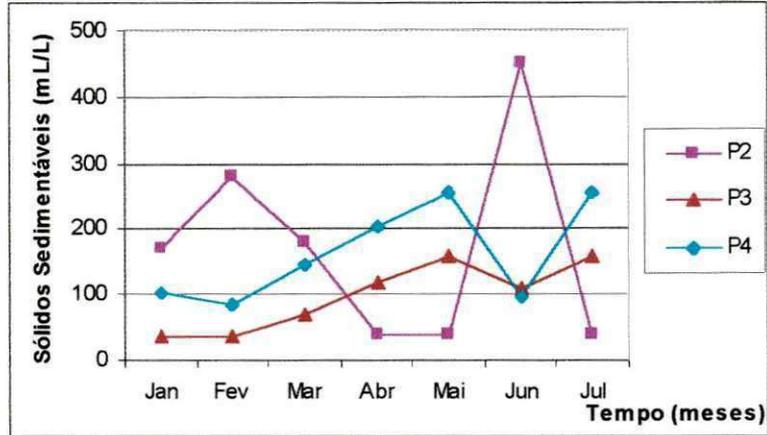


Figura 4.26 - Variação dos sólidos sedimentáveis, nos pontos P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

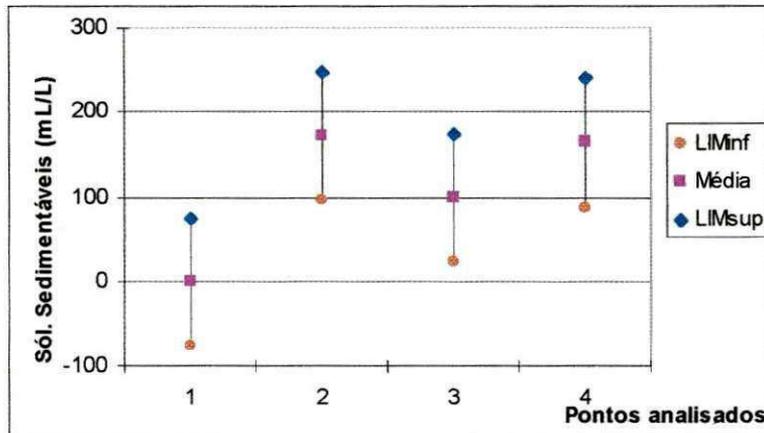


Figura 4.27 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) dos sólidos sedimentáveis entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.12 – Demanda Bioquímica de Oxigênio

A concentração de material orgânico biodegradável nas amostras analisadas variou consideravelmente (Figura 4.28). O ponto P1 apresentou um valor médio de 31 mgO₂/L, variando de 6 (fev/99) a 79 mgO₂/L (mai/99). Esses valores caracterizaram um elevado conteúdo de material orgânico nesta água superficial, visto que esta é captada junto a margem do açude num local repleto de macrófitas aquáticas flutuantes, passíveis de decomposição.

Nos demais pontos as flutuações de DBO₅ foram acentuadas, devido à elevada concentração de microfibras celulósicas, a qual conferiu às águas dos pontos P2, P3 e P4 valores médios de 341, 435 e 391 mgO₂/L, respectivamente. O maior gradiente foi observado no ponto P4, cujos valores mínimo e máximo foram de 184 mgO₂/L (jan/99) e 943 mgO₂/L (abr/99) respectivamente, visto que este ponto reúne as águas provenientes de diferentes etapas da reciclagem de papel. Devido à elevada concentração de microfibras celulósicas contidas nessa água residuária que são de difícil biodegradação, a DBO₅ dessa água residuária industrial se assemelha à de esgotos domésticos de concentração muito forte (400 mgO₂/L), segundo METCALF & EDDY (1991).

A ANOVA aplicada aos dados de DBO₅ demonstrou a existência de diferenças significativas ($F > F_{\text{crítico}}$; Tabela 4.17), nas concentrações médias dos pontos P1, P2, P3 e P4 deste parâmetro. A Figura 4.29 mostra os dois grupos de médias das concentrações de DBO₅, sendo o primeiro formado pelas médias do P1, que apresentou valores mais baixos devido as características desta água superficial que é utilizada no processo de reciclagem. O segundo grupo é formado pelas médias dos pontos P2, P3 e P4, que apresentaram concentrações mais elevadas devido às microfibras celulósicas.

Tabela 4.17 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias da DBO₅ em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1031626	3	343875,5	9,924623	0,000193	3,008786
Dentro dos grupos	831569,3	24	34648,72			
Total	1863196	27				

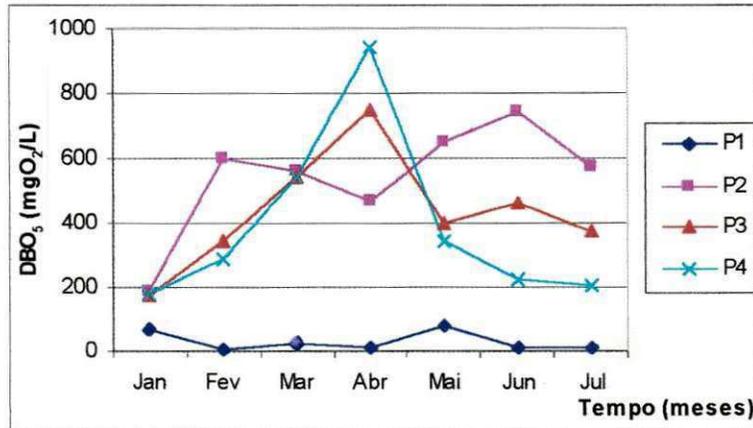


Figura 4.28 - Variação da DBO₅, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

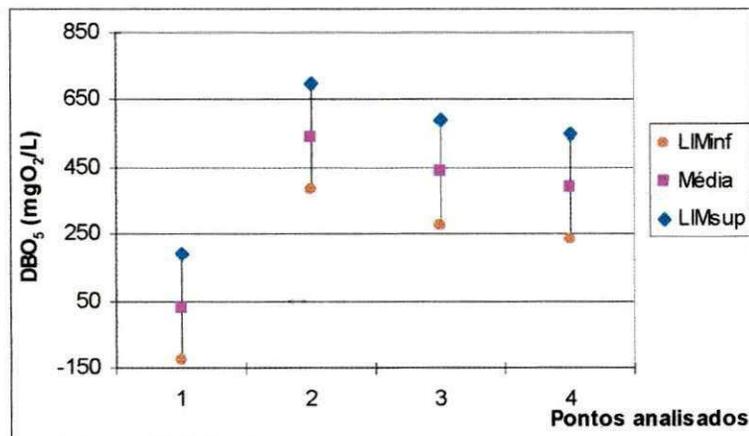


Figura 4.29 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da DBO₅ entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.13 – Demanda Química de Oxigênio

Os efluentes gerados pelo processo de reciclagem de papel apresentaram uma elevada concentração de celulose, que é um polímero de cadeia longa de glicose, sendo considerado um material orgânico biologicamente resistente à degradação bacteriana (SAWYER *et al.*, 1994). O teste de DQO converte a matéria orgânica a dióxido de carbono e água, o que independe da assimilação biológica das substâncias. No caso destes efluentes, é prática comum adotar-se a DQO, visto que é particularmente valioso em estudos designados a determinar e controlar as perdas de microfibras nos efluentes com tais características (BRAILE & CAVALCANTE, 1994).

As análises da DQO no ponto P1 mostraram (Tabela 4.1) concentrações com o mínimo de 43 mgO₂/L (jan/99), máximo de 242 mgO₂/L (abr/99) e média de 109 mgO₂/L. O ponto P2 foi aquele que apresentou o maior gradiente: mínimo de 920 mgO₂/L (mai/99), máximo de 6.031 mgO₂/L (jun/99) e média e 2.635 mgO₂/L. Esta variação (Figura 4.30) foi consequência das características desta etapa do processo e do momento da coleta, cujos efluentes continham elevados teores de sólidos, que contribuíram para o aumento da DQO.

Com relação ao ponto P3, cujas águas originaram-se da drenagem gravitacional e por sucção na mesa plana, houve uma redução da DQO (valor médio de 1.574 mgO₂/L), porém os valores mínimo de 791 mgO₂/L (jan/99) e máximo de 2.636 mgO₂/L (fev/99) ainda foram elevados (Tabela 4.1).

As concentrações da DQO do efluente final oscilaram de 382 mgO₂/L (jun/99) até 3.145 mgO₂/L (abr/99). Esta variação foi atribuída as oscilações do conteúdo de microfibras, visto que este ponto recebe as águas drenadas através da mesa plana e do transbordo do engrossador.

A análise de variância mostrou que existem diferenças entre as concentrações médias nos pontos analisados (Tabela 4.18). Com o auxílio do método GT -2 foi traçado o gráfico das médias e dos limites inferiores e superiores (Figura 4.31), sendo observado que nos pontos P2, P3 e P4 ocorreram interseções entre seus limites, o que indica que são estatisticamente semelhantes. No entanto, entre os pontos P1 e P2, não houve interseção, mostrando que existe diferença significativa.

Tabela 4.18 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias da DQO em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	22941380	3	7647127	6,267564	0,002701	3,008786
Dentro dos grupos	29282677	24	1220112			
Total	52224057	27				

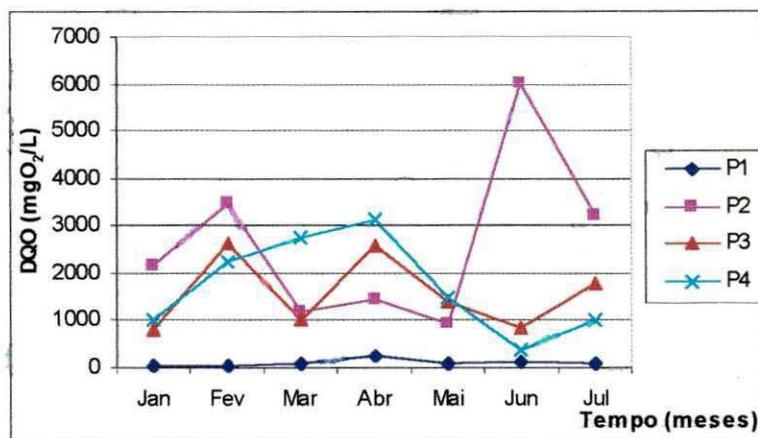


Figura 4.30 - Variação da DQO, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

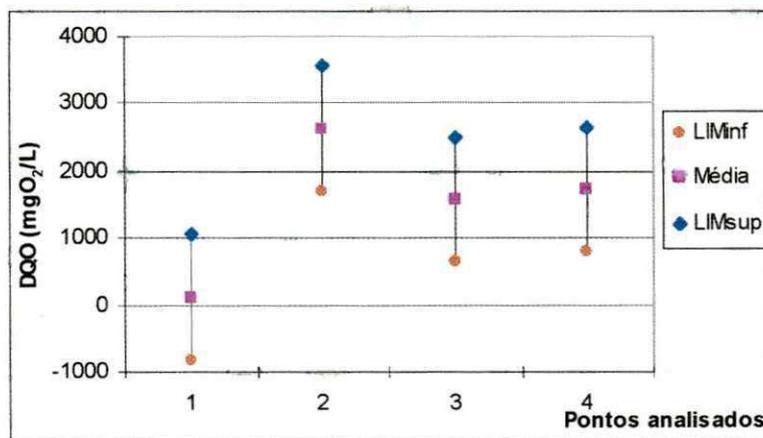


Figura 4.31 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) da DQO entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.14 – Cálcio e Magnésio

As Figuras 4.32 e 4.33, ilustram respectivamente as variações das concentrações dos íons cálcio e magnésio, nos quatro pontos analisados.

As águas do açude de Bodocongó (ponto P1) apresentaram teores de cálcio entre de 36 (mar/99) e 116 mg/L (abr/99) e de magnésio entre 79 (abr/99) e 160 mg/L (fev/99) (Tabela 4.1), sendo considerados elevados para águas superficiais.

Entre jan-fev/99 as concentrações de cálcio e magnésio nos pontos P2, P3 e P4 apresentaram pouca variação em relação à água que entrou no processo (ponto P1). Nos meses subseqüentes as concentrações nestes pontos elevaram-se, sendo este aumento atribuído ao tipo de apara utilizada neste período, por conter uma quantidade maior de papéis com carga mineral

A ANOVA mostrou, através da estatística F sendo menor que $F_{crítico}$ (Tabelas 4.19 e 4.20), que não existem diferenças significativas entre as concentrações médias nos pontos analisados dos parâmetros cálcio e magnésio

Tabela 4.19 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do cálcio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	14611	3	4870,32	1,19154	0,334013	3,0087861
Dentro dos grupos	98098	24	4087,42			
Total	112709	27				

Tabela 4.20 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do magnésio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	18374,39	3	6124,798	1,10814	0,365203	3,008786
Dentro dos grupos	132650,3	24	5527,095			
Total	151024,7	27				

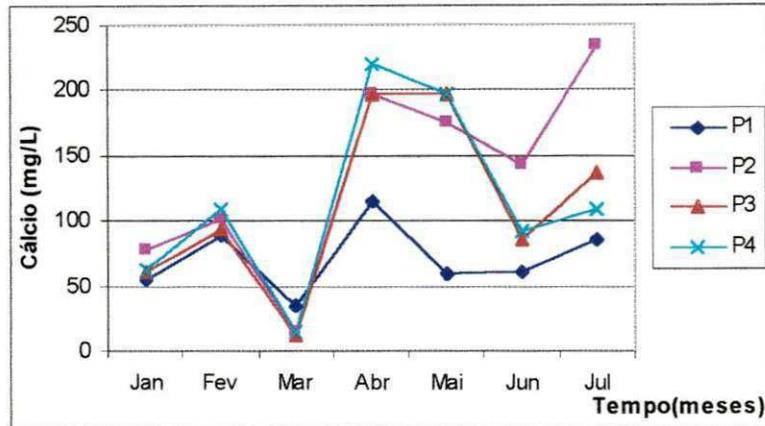


Figura 4.32 - Variação de cálcio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

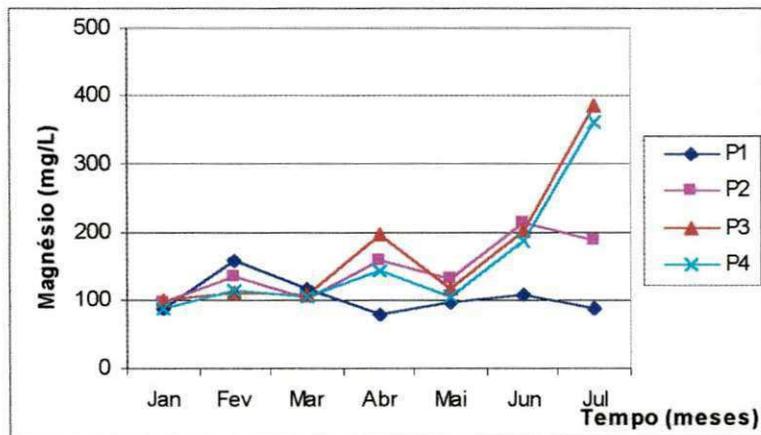


Figura 4.33 - Variação de magnésio, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.15 – Carbonato e Bicarbonato

As concentrações de carbonato da água do açude de Bodocongó (ponto P1) variaram entre 6 mg/L (jul/99) e 30 mg/L (abr e mai/99) (Tabela 4.1). Após esta água entrar no processo de reciclagem, o carbonato esteve ausente nos demais pontos analisados (Figura 4.34). Esta ausência foi atribuída à diminuição do pH de 8,2 para valores abaixo de 7,7, que transforma o radical $\text{CO}_3^{=}$ em HCO_3^- (HAMMER, 1979).

A concentração de bicarbonato dos quatro pontos analisados durante os três primeiros meses de monitoramento (Figura 4.35), oscilaram pouco, entre 100 e 220 mg/L. Nos meses seguintes essas concentrações nos pontos P2, P3 e P4 aumentaram significativamente em relação ao ponto P1. Este aumento foi associado a uma maior quantidade de carbonato de cálcio incorporado ao papel durante sua fabricação, que durante a desagregação das aparas é liberado no meio aquoso, visto que o pH destas água era menor que 8,3. A dissociação deste carbonato de cálcio nesta água originaria o bicarbonato.

A Tabela 4.21 mostra que existem diferenças significativas nas médias do parâmetro carbonato, que foi confirmado através do método GT-2 (Figura 4.36), que mostra dois grupos. O primeiro constituído por P1, mostra concentrações mais elevadas do que o segundo grupo (P2, P3 e P4). A Tabela 4.22 mostra o resumo da ANOVA aplicada para as concentrações de bicarbonato, sendo verificado que o valor assumido pela estatística F é menor que o seu valor crítico, indicando que não ocorreram diferenças significativas entre os pontos analisados.

Tabela 4.21 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do carbonato em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1466,68	3	488,89	10,5381	0,0001	3,008786
Dentro dos grupos	1113,43	24	46,393			
Total	2580,11	27				

Tabela 4.22 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do bicarbonato em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	535208	3	178402,7	1,152936	0,348114	3,008786
Dentro dos grupos	3713705	24	154737,7			
Total	4248913	27				

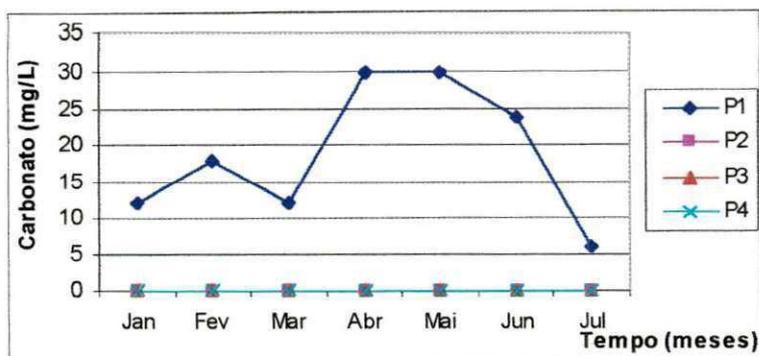


Figura 4.34 - Variação de carbonato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

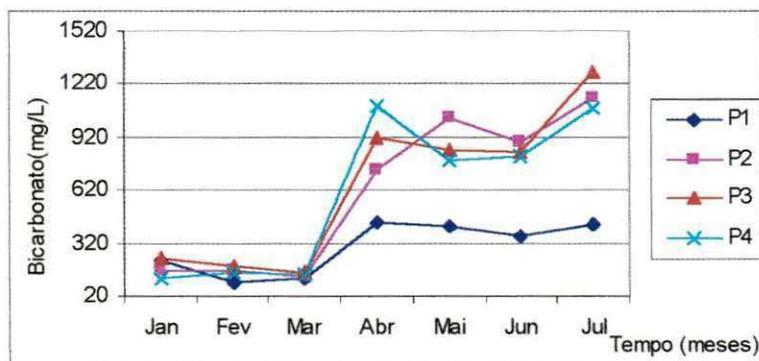


Figura 4.35 - Variação de bicarbonato, nos pontos P1 (açude Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

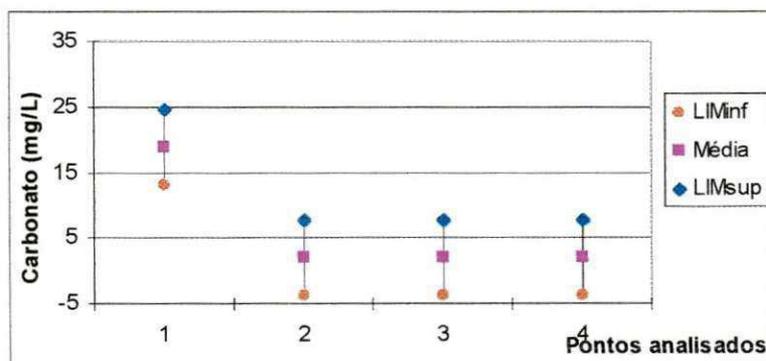


Figura 4.36 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT-2) do carbonato entre os pontos P1, P2, P3 e P4 monitorados na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.1.16 – Sódio e Potássio

A Figura 4.37 mostra que não ocorreram flutuações expressivas nas concentrações de sódio dos quatro pontos analisados. Como mostra a Tabela 4.1 os valores médios de P2 (372 mg/L), P3 (366 mg/L) e P4 (345 mg/L) não se distanciaram muito do valor observado em P1 (354 mg/L), indicando que o processo de reciclagem não adicionou sódio à água utilizada .

As concentrações de potássio (Figura 4.38) apresentou comportamento semelhante às concentrações de sódio, visto que a água que entrou no processo (ponto P1), tinha um valor médio de 51 mg/L, mínimo de 44 mg/L (jun-jul/99) e máximo de 58 mg/L (fev e mai/99), que foi pouco alterada, como pode ser observado através dos valores, médio (48 mg/L), mínimo (41 mg/L) e máximo (58 mg/L) do efluente final.

A análise de variância confirmou o estudo de variação espaço-temporal, visto que o valor estatístico **F** foi menor que seu valor crítico (Tabelas 4.23 e 4.24) indicando não existirem diferenças significativas entre as concentrações médias dos dois parâmetros nos respectivos pontos.

Tabela 4.23 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do sódio em quatro pontos analisados, no período de jan-jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2550,964	3	850,3214	0,05518	0,982529507	3,008786
Dentro dos grupos	369838	24	15409,92			
Total	372389	27				

Tabela 4.24 – Resumo da análise de variância de fator único aplicada à comparação das médias do potássio em quatro pontos analisados numa indústria de reciclagem de papel (Campina Grande - PB), no período de jan-jul/99.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3218,679	3	1072,893	1,12471	0,35879	3,008786
Dentro dos grupos	22894,29	24	953,9286			
Total	26112,96	27				

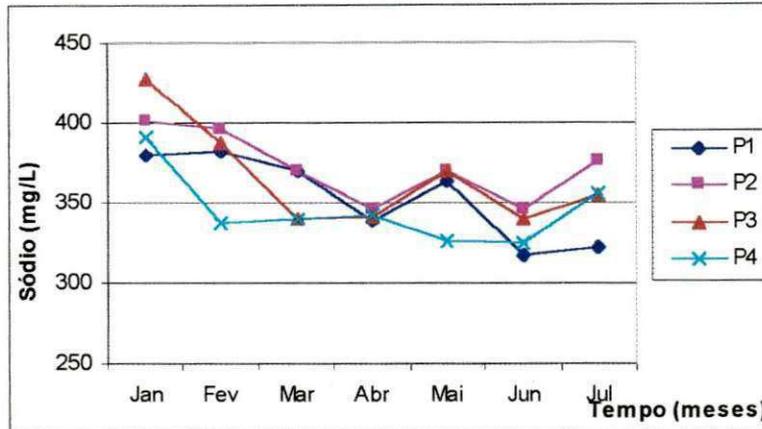


Figura 4.37 - Variação do sódio, nos pontos P1 (açúcar Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

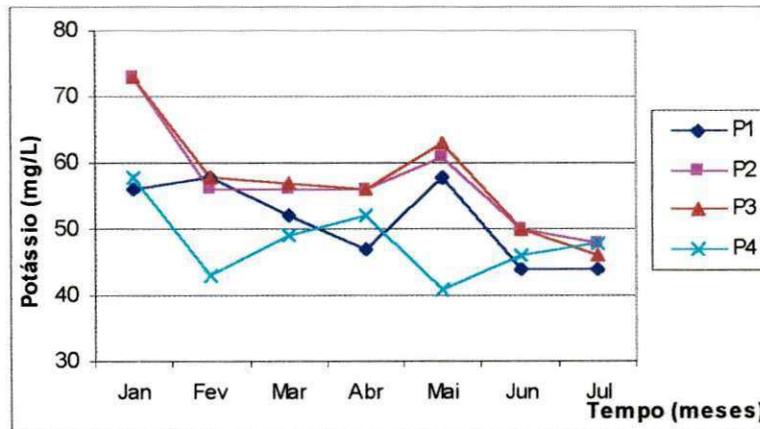


Figura 4.38 - Variação do potássio, nos pontos P1 (açúcar Bodocongó), P2 (saída engrossador), P3 (água que sai da mesa plana) e P4 (efluente final), monitorados no período de jan. à jul/99, na IPELSA S/A (Campina Grande - PB).

4.1.2 – Estudos de correlações (SPSS)

Para o estudo de correlações entre os parâmetros analisados foram preparadas duas matrizes, uma com os dados do ponto P1 (Tabela 4.25) e a outra, denominada matriz conjunto, que reuniu os dados dos pontos P2, P3 e P4, visto que através dos resultados da análise de variância (ANOVA: fator único) estes pontos apresentavam um comportamento estatístico semelhante para a maioria dos parâmetros (Tabela 4.26).

Alguns parâmetros quantificados nas águas do açude de Bodocongó (Ponto P1) apresentaram correlações significativas, aos níveis de significância de 0,01 e 0,05, como por exemplo: entre CE e os sólidos suspensos e suas frações. No caso da CE com SSF ($\alpha = 0,01$; $r = 0,900$), a correlação positiva e significativa, indicou que a água superficial utilizada no processo de reciclagem apresentava elevados teores de sais, característicos das águas superficiais do Nordeste brasileiro, que elevam a condutividade (CEBALLOS, 1.997). Outras correlações positivas e significativas ocorreram entre os sólidos suspensos e suas frações: para SS e SSF ($\alpha = 0,01$; $r = 0,988$) e para SS e SSV ($\alpha = 0,01$; $r = 0,961$), indicando que a frações de SSV e SSF contribuíram de maneira bastante uniforme para os SST. As demais correlações foram consideradas espúrias, ou seja, foram aquelas que estatisticamente apresentaram uma correlação significativa, sem que houve uma justificativa física ou química.

A Tabela 4.26 (matriz conjunto) mostra as correlações significativas e positivas, com níveis de significância de 0,01 e 0,05, dentre as quais se destacaram aquelas observadas entre sulfato e os parâmetros: condutividade elétrica ($\alpha = 0,01$; $r = 0,577$), ST ($\alpha = 0,01$; $r = 0,569$), STF ($\alpha = 0,01$; $r = 0,555$), STV ($\alpha = 0,05$; $r = 0,490$), SST ($\alpha = 0,05$; $r = 0,447$) e SSV ($\alpha = 0,05$; $r = 0,502$). Estas correlações foram associadas à presença de aditivos à base de sulfato que são adicionados durante a fabricação do papel a partir da celulose oriunda da madeira. As aparas ao serem desagregadas no processo de reciclagem liberam o sulfato para os efluentes, elevando a condutividade elétrica da água residuária e ao mesmo tempo contribuindo com a elevação dos teores de sólidos suspensos e totais. A correlação entre bicarbonato e alcalinidade, ($\alpha = 0,01$; $r = 0,641$) foi associada à alcalinidade de bicarbonatos predominante nos efluentes, devido à faixa do pH se situar entre 7,0 e 8,0. A correlação entre o bicarbonato e o cálcio ($\alpha = 0,01$; $r = 0,750$) e magnésio ($\alpha = 0,01$; $r = 0,701$), foi atribuída à presença de carbonato de cálcio e carbonato magnésio, denominada de carga mineral presentes no papel e posteriormente nas aparas. Na medida em que as aparas foram desagregadas para a formação da pasta celulósica ocorreu a dissociação destes compostos com a posterior liberação do

cálcio e magnésio. O pH da pasta celulósica apresentavam valores menores que 8,0 e permitiu que os carbonatos fossem convertidos a bicarbonato.

A existência de correlações significativas ($\alpha = 0,01$ e $0,05$) e positivas entre os parâmetros que expressam a presença de matéria orgânica, como DBO₅ e DQO ($\alpha = 0,01$; $r = -0,557$) e de material sólido como: ST, SS e suas frações e S. Sedimentáveis (Tabela 4.29) era esperada, devido à grande quantidade de fibras e cargas minerais presentes na pasta celulósica, cuja parte não recuperada foi lançada no ambiente como efluente.

As correlações significativas e negativas entre o pH e os parâmetros que as microfibras influenciaram em suas concentrações, como: DBO₅ ($\alpha = 0,01$; $r = -0,531$) e DQO ($\alpha = 0,01$; $r = -0,684$), ST ($\alpha = 0,01$; $r = -0,524$), STV ($\alpha = 0,05$; $r = -0,470$), SST ($\alpha = 0,01$; $r = -0,868$), SSV ($\alpha = 0,01$; $r = -0,816$), SSed. ($\alpha = 0,01$; $r = -0,624$), foram atribuídas ao tempo de permanência da massa de fibras nos tanques durante o processo. Durante este tempo pode ter ocorrido uma degradação bioquímica com a produção de outras substâncias orgânicas de cadeia molecular menor e de ácidos orgânicos, com a diminuição do pH, devido a ação de bactérias e fungos presentes na água do açude de Bodocongó e até mesmo oriundos das aparas que são mistas.

Tabela 4.25 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos monitorados no ponto P1 (açude de Bodocongó), do processo de reciclagem de papel da IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

	TEMP	pH	CE	ST	STF	STV	TURB.	SS	SSF	SSV	DBO	DQO	SO ₄ ⁼	DUR.	Cl ⁻	ALC.	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Na ⁺	K ⁺	
TEMP	1																						
PH	0,513	1																					
CE	0,639	-0,074	1																				
ST	-0,034	0,167	-0,204	1																			
STF	0,544	0,459	0,152	-0,626	1																		
STV	-0,273	0,237	-0,216	0,621	-0,387	1																	
TURB	0,467	-0,413	0,407	-0,087	0,059	-0,588	1																
SS	0,629	-0,185	**0,904	-0,092	-0,032	-0,287	0,659	1															
SSF	0,725	-0,108	**0,900	-0,122	0,086	-0,363	0,702	**0,988	1														
SSV	0,414	-0,314	*0,856	-0,033	-0,245	-0,129	0,539	**0,961	**0,907	1													
DBO	-0,005	0,076	-0,178	-0,401	0,528	-0,547	-0,101	-0,409	-0,314	-0,559	1												
DQO	-0,649	-0,616	-0,364	-0,111	-0,575	-0,141	0,139	-0,071	-0,160	0,095	-0,353	1											
SULF.	-0,199	0,306	-0,020	-0,031	-0,013	0,066	-0,714	-0,330	-0,337	-0,296	0,490	-0,304	1										
DUR.	0,077	0,106	-0,226	0,567	-0,175	0,619	0,148	-0,035	-0,049	-0,007	-0,637	-0,008	-0,693	1									
CLOR.	0,092	0,382	-0,379	0,473	-0,047	0,598	-0,045	-0,185	-0,184	-0,175	-0,597	0,011	-0,568	**0,920	1								
ALC.	*-0,787	-0,328	-0,343	0,467	*-0,817	0,688	-0,536	-0,335	-0,468	-0,072	-0,430	0,448	0,230	0,181	0,115	1							
MAGN.	0,617	-0,027	0,733	0,453	-0,160	0,127	0,487	0,742	0,744	0,693	-0,336	-0,452	-0,220	0,276	0,023	-0,146	1						
CÁLC.	-0,351	-0,511	-0,274	-0,041	-0,166	0,216	0,290	-0,054	-0,106	0,044	-0,486	0,529	*-0,808	0,652	0,528	0,231	-0,143	1					
CARB.	-0,535	*-0,833	-0,254	0,073	-0,541	-0,365	0,416	-0,063	-0,101	0,011	0,138	0,643	-0,199	-0,149	-0,348	0,271	-0,096	0,300	1				
BICAR.	**-,955	-0,429	-0,718	-0,146	-0,291	0,213	-0,477	-0,731	*-0,802	-0,557	0,113	0,586	0,122	-0,047	-0,018	0,624	*-0,763	0,437	0,426	1			
SÓDIO	-0,259	-0,219	-0,536	0,209	0,102	0,182	0,119	-0,512	-0,475	-0,549	0,218	-0,066	-0,418	0,529	0,375	0,028	-0,110	0,551	0,308	0,379	1		
POTÁS.	0,489	0,218	0,699	-0,304	0,100	-0,392	0,098	0,652	0,652	0,611	-0,049	-0,113	0,354	-0,593	-0,485	-0,307	0,259	-0,626	-0,304	-0,582	*-0,945	1	

* - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.05$

** - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.01$

Tabela 4.26 - Matriz conjunta de correlação entre os parâmetros físico-químicos monitorados nos pontos P2, P3 e P4 do processo de reciclagem de papel, da IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

	TEMP	pH	CE	ST	STF	STV	TURB	SST	SSF	SSV	S.SED	DBO	DQO	SO ₄ ²⁻	DUR.	Cl ⁻	ALC.	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺
TEMP	1																						
pH	0,316	1																					
CE	0,162	-0,175	1																				
ST	0,013	*-0,524	0,123	1																			
STF	0,030	*-0,458	0,346	**0,634	1																		
STV	-0,005	*-0,470	0,048	**0,976	*0,448	1																	
TURB	-0,107	-0,165	-0,315	-0,193	-0,182	-0,184	1																
SST	-0,140	**0,868	0,369	**0,688	**0,637	**0,611	0,111	1															
SSF	-0,050	-0,375	-0,085	0,201	0,398	0,122	0,164	*0,488	1														
SSV	-0,136	**0,816	0,460	**0,691	*0,541	**0,641	0,051	**0,914	0,092	1													
S.SED	-0,064	**0,624	0,140	*0,501	*0,458	*0,452	0,005	**0,649	0,412	*0,548	1												
DBO	-0,326	**0,531	0,216	0,012	0,117	-0,018	*0,547	*0,505	*0,492	0,347	0,267	1											
DQO	-0,395	**0,684	0,357	**0,558	0,430	*0,518	0,219	**0,722	0,163	**0,747	**0,599	**0,557	1										
SULF.	0,243	-0,281	**0,577	**0,569	**0,555	*0,490	-0,328	*0,447	0,017	*0,502	0,321	0,011	0,420	1									
DUR.	-0,404	-0,256	0,272	0,186	*0,443	0,092	-0,383	0,201	-0,060	0,256	-0,008	-0,088	0,268	0,190	1								
CLOR.	-0,290	0,191	*0,459	0,174	0,252	0,131	*-0,469	-0,010	-0,193	0,077	0,052	-0,044	0,290	*0,460	0,412	1							
ALC.	-0,024	*-0,510	0,294	0,050	*0,532	-0,090	-0,013	*0,456	0,353	0,357	0,303	0,182	0,216	0,215	*0,556	-0,115	1						
MAG.	-0,318	-0,329	0,036	-0,110	0,308	-0,203	-0,004	0,139	0,147	0,090	0,270	-0,005	0,053	-0,184	*0,519	-0,097	**0,736	1					
CÁLC.	-0,408	*-0,484	-0,232	-0,101	-0,277	-0,036	0,357	0,201	0,033	0,214	0,064	0,383	0,264	-0,314	0,219	*-0,433	0,251	0,232	1				
CARB.	*0,522	-0,023	-0,090	-0,201	-0,428	-0,110	0,088	-0,137	-0,119	-0,101	0,028	0,020	-0,229	-0,150	*-0,436	**0,607	-0,091	-0,213	0,419	1			
BICARB	-0,293	**0,559	-0,186	-0,156	0,016	-0,178	0,343	0,248	0,254	0,166	0,160	0,326	0,078	-0,305	0,232	**0,574	**0,641	**0,701	**0,750	0,274	1		
SÓDIO	-0,331	-0,174	-0,110	0,098	-0,137	0,144	-0,041	-0,158	-0,258	-0,061	0,003	-0,245	0,096	-0,132	0,399	-0,111	0,072	0,204	-0,206	0,136	0,353	1	
POTÁS.	-0,192	-0,073	**0,578	0,186	-0,209	0,263	-0,072	-0,213	-0,183	-0,159	-0,052	-0,200	-0,063	-0,155	0,141	-0,122	-0,305	-0,075	0,287	0,125	0,070	**0,652	1

* - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.05$

** - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.01$

4.2 – Estudo do ciclo diário

Os dados do estudo do ciclo diário foram analisados em 3 etapas:

- **variação espaço temporal:** neste estudo foram analisados somente os dados relacionados aos pontos P1 e P4, visto que, para os dados do monitoramento, a análise de variância ANOVA: fator único, juntamente com o método GT-2, mostraram que os pontos P2, P3 e P4 eram semelhantes entre si para quase todos os parâmetros. No caso dos estudos do ciclo diário esta análise, com auxílio da estatística descritiva, teve como objetivo analisar as modificações ocorridas, ao longo de um dia de funcionamento da empresa, na água que entra no processo (P1) e no efluente final (P4)
- **análise das cargas poluidoras:** para verificar e quantificar as cargas orgânica e sólidas, lançadas através do ponto P4 no riacho de Bodocongó (PB).
- **Estudo das correlações:** o programa SPSS *for windows* (NORUSIS, 1992) foi utilizado para verificar as correlações significativas existentes entre cargas e vazões nos dois estudos do ciclo diário.

4.2.1 – Variação espaço temporal

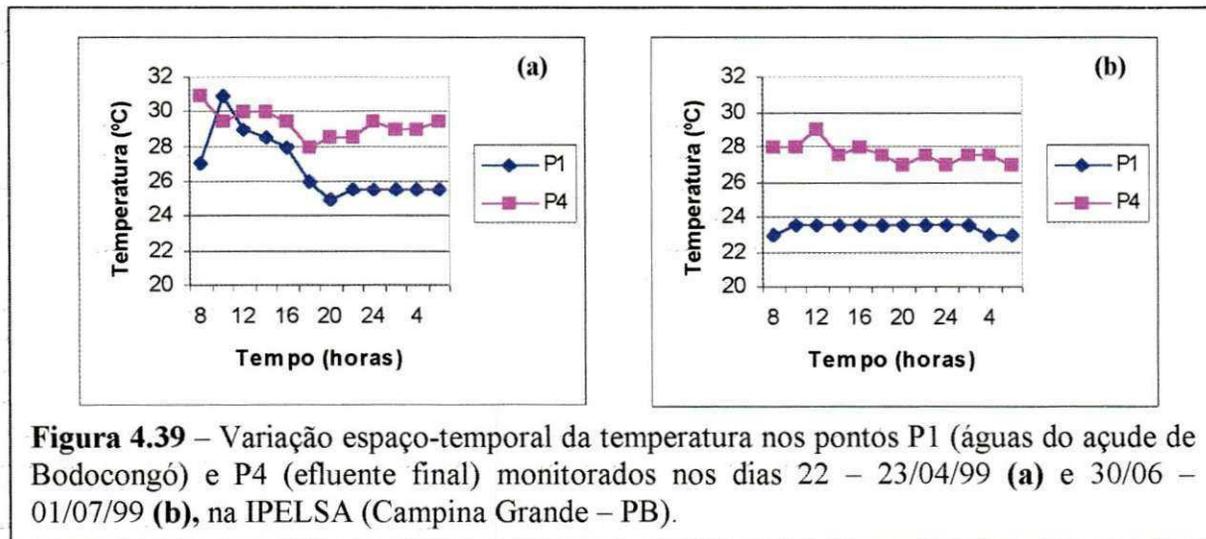
Temperatura

A Figura 4.39 ilustra a variação espaço-temporal da temperatura nos dois perfis nos pontos P1 e P4.

As águas do açude de Bodocongó (ponto P1) apresentaram os maiores valores de temperatura no 1º perfil (22 e 23/04/99), com mínimo de 25 °C (20h) e máximo de 31 °C (10h), enquanto que no 2º perfil (30/06 e 01/07/99) os valores variaram entre 23 (04, 06 e 08h) e 23,5°C durante todo o dia e parte da noite. A amplitude térmica foi maior no 1º perfil devido à época do ano em que foi realizado o perfil, visto que em abril as temperaturas do ar são maiores que nos meses de junho e julho, e estas influenciam no aumento da temperatura das águas superficiais. CEBALLOS (1995) através de estudos em açude nordestinos, verificou temperaturas semelhantes a esta encontrada no açude de Bodocongó.

Foi observado nos dois perfis que a água do açude ao entrar no processo sofreu um aumento de temperatura, devido ao aquecimento de parte dos efluentes particularmente aqueles que são gerados na etapa de secagem do papel. A temperatura variou de 27 (20, 24 e 06h - 1º perfil) a 31°C (08h - 2º perfil).

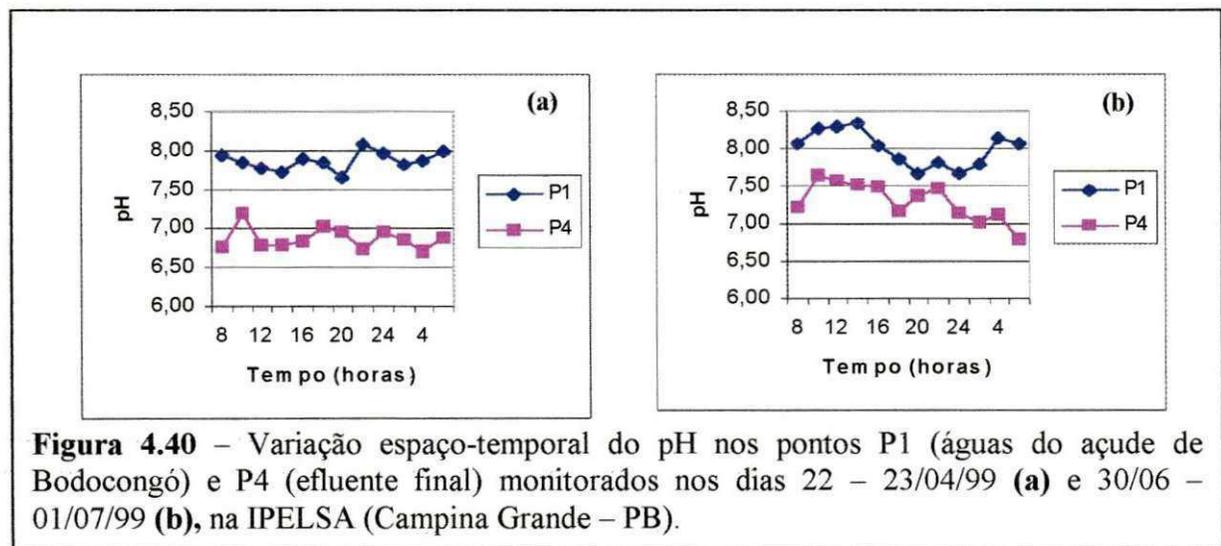
Ao longo dos dois estudos do ciclo diário não foram observados valores de temperatura no efluente final que provocassem uma poluição térmica para o corpo receptor, pois segundo von SPERLING (1996) o padrão de lançamento de efluentes em corpos d'água é de até 40 °C. Valores acima deste aumentam a taxa das reações químicas e biológicas, podendo afetar na sobrevivência de algumas espécies, também diminuem a solubilidade dos gases e aumentam sua taxa de transferência. Os valores de temperatura do efluente final se aproximaram aos encontrados em águas superficiais (CEBALLOS, 1995) e residuárias de regiões tropicais (SILVA, 1982).



pH

Conforme mostra a Figura 4.40, o pH das águas do açude de Bodocongó (ponto P1) apresentaram valores levemente básicos (valores médios de 7,85 e 7,98 no 1º e 2º perfil, respectivamente). Esta água ao entrar no processo de reciclagem sofreu uma diminuição do pH, com valores entre 6,73 (04h) e 7,20 (10h) no 1º perfil e entre 6,80 (06h) e 7,65 (10h) no 2º perfil, devido a variabilidade da composição das aparas, as quais contém papéis ácidos e alcalinos.

O estudo da variação espaço-temporal dos dois perfis mostrou que não houve semelhança nos valores de pH com os horários, ou seja, o valor máximo ou mínimo de pH das águas dos pontos P1 ou P4 no 1º perfil não coincidem com os máximo e mínimo do 2º perfil, indicando que as flutuações ocorrem independentemente dos horários sendo associado com o modo de funcionamento da empresa que opera em regime de batelada e com uma grande variabilidade de aparas de papel.

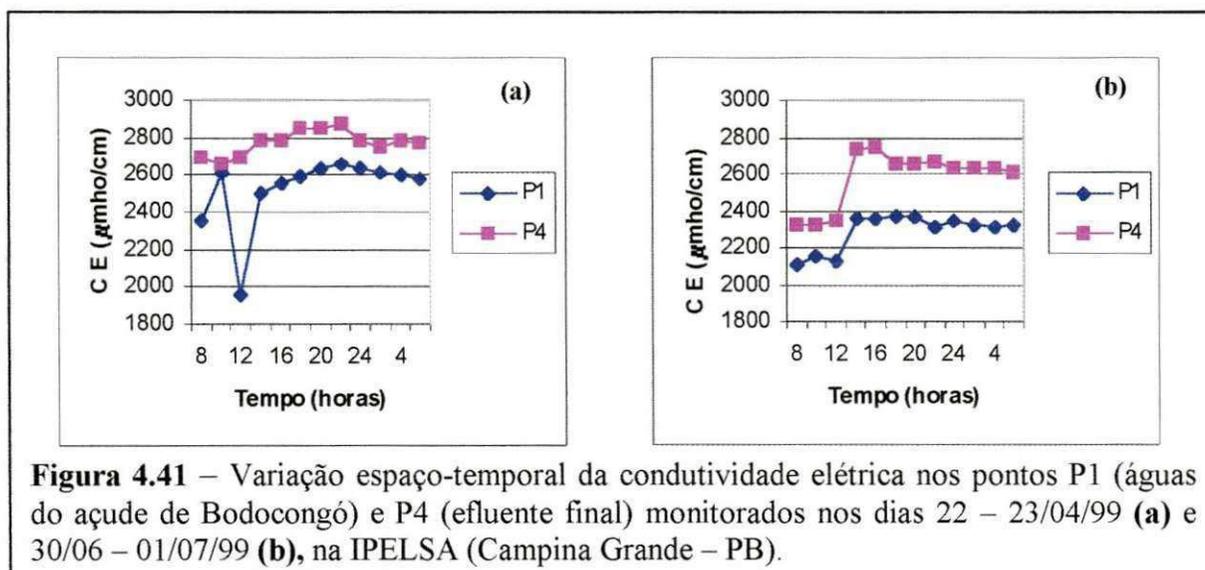


Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água do açude de Bodocongó (ponto P1) foi elevada, com mínimo de 1.960 $\mu\text{mho/cm}$ (12h) e máximo de 2.660 $\mu\text{mho/cm}$ (22h) no 1º perfil, e 2.110 $\mu\text{mho/cm}$ (08h) e 2.370 $\mu\text{mho/cm}$ (18 e 20h) no 2º perfil (Figura 4.41). Esta alta condutividade elétrica foi atribuída aos elevados teores de sais dissolvidos existentes nesta água superficial, característica intrínseca dos açudes nordestinos e resultante de processos prolongados de evaporação na época de seca e drenagem dos terrenos adjacentes nas época de chuva (CEBALLOS *et al.*, 1997).

Foi observado um maior valor de condutividade elétrica no efluente final (ponto P4) que nas águas do ponto P1. Esses valores variaram entre 2.291 $\mu\text{mho/cm}$ (2º perfil) e 2.577 $\mu\text{mho/cm}$ (1º perfil). Este aumento evidencia a introdução de íons diversos através da matéria prima, que contribuíram para o aumento da condutividade elétrica. Os produtos químicos adicionados na fabricação do papel são liberados durante o processo de reciclagem das aparas, gerando águas residuárias com uma carga iônica mais elevada.

Os valores de condutividade elétrica flutuaram significativamente e não foi possível verificar uma correspondência entre horários, nos dois perfis, para os valores máximo e mínimo.



Turbidez

As águas do açude de Bodocongó apresentaram valores de turbidez entre 1,4 uT (10h – 1º perfil) e 40 uT (16 e 20h – 2º perfil) (Figura 4.42). Esta variação pode ser atribuída a partículas insolúveis de solo e que chegam às água com as chuvas, matéria orgânica além de microorganismos e outros materiais suspensos na massa líquida que conferem turbidez à água (SAWYER *et al.*, 1994). Estes materiais que conferem turbidez a água reduzem a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese. Ainda, as partículas podem servir de abrigo para organismos patogênicos.

A variação espaço-temporal da turbidez do efluente final ao longo dos dois ciclos diários, está representada na Figura 4.42. No processo de reciclagem de papel são liberadas microfibras oriundas das águas da mesa plana no momento da drenagem e do engrossador, conferindo uma turbidez muito elevada ao efluente final, cujos valores médios foram de 477 uT e 925 uT, no 1º e 2º perfis, respectivamente. Comparando-se os valores de turbidez dos dois perfis foi observado que ocorreu um pico (1.920 uT) às 12 horas no 2º perfil, mostrando a grande variabilidade deste parâmetro ao longo de um dia de funcionamento da empresa

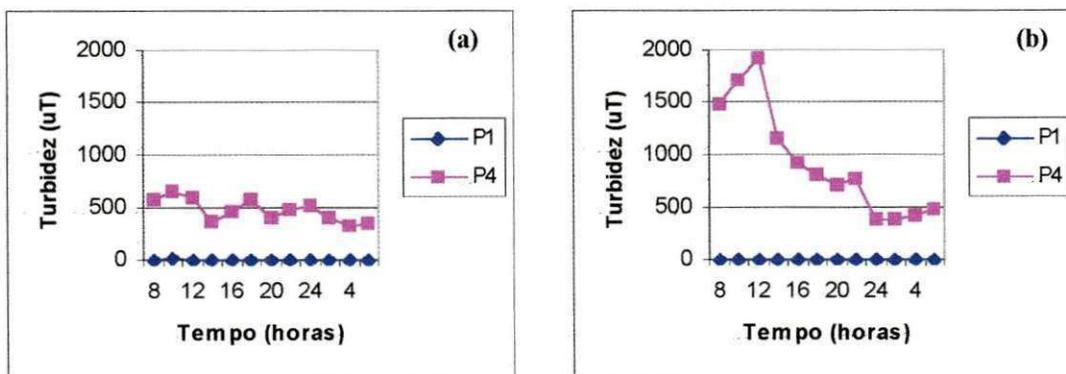
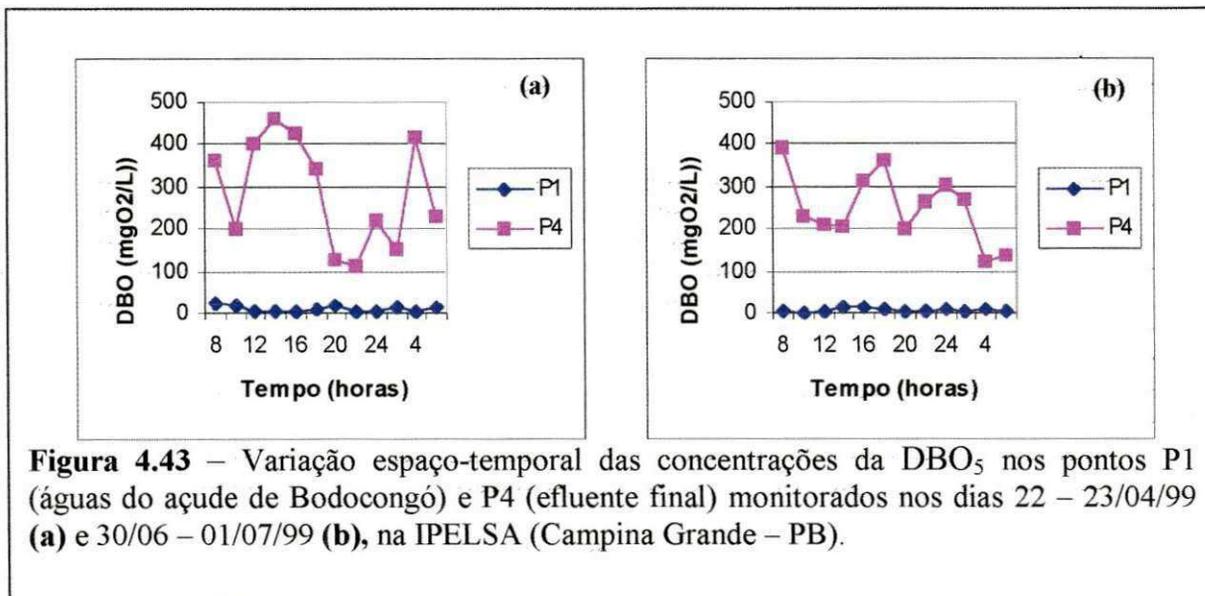


Figura 4.42 – Variação espaço-temporal da turbidez nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

Demanda Bioquímica de Oxigênio

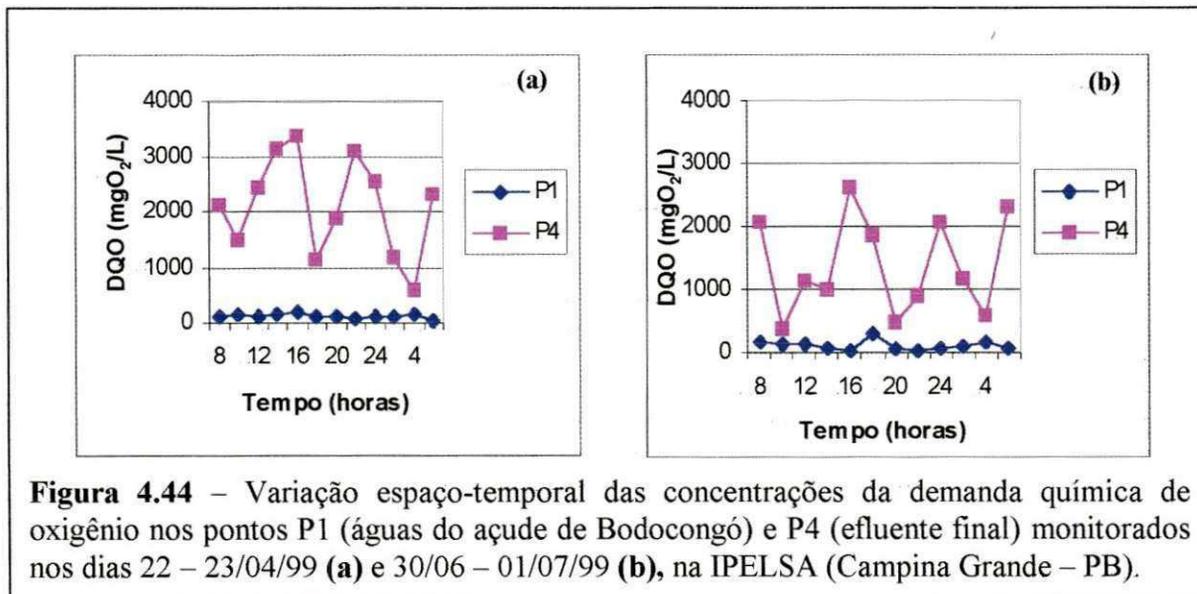
A Figura 4.43 ilustra as concentrações da DBO₅ da água do açude que abastece a indústria, bem como as águas geradas e descartadas como efluente final. No primeiro perfil as concentrações de DBO₅ do ponto P1 variaram de 3 (16 e 24h) a 23 mgO₂/L (08h) e no segundo de 1,4 (10h) a 14,7 mgO₂/L (14h), evidenciando a presença de material orgânico biodegradável nesta água superficial, resultante das abundantes macrófitas flutuantes e algas junto ao ponto de captação. Como dito anteriormente, o processo libera para o efluente final grande quantidade de matéria orgânica, sob a forma de microfibras celulósicas, que exercem elevada demanda bioquímica de oxigênio. O efluente final apresentou valores entre 114 (22h) e 461 mgO₂/L (14h) no 1º perfil, e entre 122 (04h) e 389 mgO₂/L (08h) no 2º perfil. Estas concentrações evidenciaram uma alta DBO₅ deste efluente que, segundo BRAILE & CAVALCANTE (1993), apesar de ser característico para este tipo de atividade industrial estes valores são totalmente incompatíveis para o lançamento em corpos receptores. Caso a DBO exceda a capacidade de absorção do corpo receptor causa um esgotamento total de oxigênio e ocorre substituição da biota aeróbia pela anaeróbia, o que resulta na liberação de gases tóxicos e mal cheirosos, como o sulfídrico (H₂S) e o metano (CH₄) (IPT,1988).



Demanda Química de Oxigênio

As variações das concentrações da DQO da água que abastece a empresa (ponto P1) e do efluente final (ponto P4) estão ilustradas na Figura 4.44.

A água do açude de Bodocongó, apresentou valores médios de 125 e 114 mgO₂/L no 1º e 2º perfis, respectivamente, porém ao entrar no processo estes elevaram-se consideravelmente atingindo valores de 382 (10h – 2º perfil) até 3.375 mgO₂/L (14h – 1º perfil). Estas flutuações indicaram que a DQO foi fortemente influenciada pela introdução de microfibras no processo. As elevadas concentrações indicaram a predominância no efluente de material orgânico de difícil degradação biológica, o que é confirmado através do quociente DQO/DBO, que oscilou entre 1,4 e 27,3 no 1º perfil e entre 1,7 e 13,6 no 2º perfil.



Sólidos Totais e suas Frações

As águas do açude de Bodocongó apresentaram, em todos os horários dos dois perfis, valores elevados de sólidos totais, com mínimo de 1.512 mg/L às 08h e máximo de 2.538 mg/L às 20h, ambos no 2º perfil (Figura 4.45). Estes elevados valores contribuíram para os altos teores de sólidos no efluente final, com mínimo e máximo de 2.815 mg/L (10h – 1ºperfil) e 6.116 mg/L (22h – 2ºperfil). No entanto, a maior contribuição foi oriunda das microfibras celulósicas lançadas no efluente durante o processo e dos materiais não celulósicos que compõem as aparas. O efluente final apresentou concentrações médias de 3.765 e 3.947 mg/L, representando um aumento de 133% (1.613 – 3.765 mg/L) no 1º perfil e de 95,8% (2.016 – 3.947 mg/L) no 2º perfil em relação ao ponto P1.

Com relação aos valores mínimo e máximo da fração fixa dos sólidos, estes apresentaram grande variação: 669 mg/L às 06h no 1º perfil e 2.230 mg/L às 20h no 2º perfil (Figura 4.46), e foram atribuídos à presença de sais nesta água superficial. Na maioria dos horários a fração fixa foi maior que a fração volátil: mínimo de 241 mg/L às 10h (1º perfil) e máximo de 1.368 mg/L às 10h (2º perfil), como pode ser observado na Figura 4.47.

Sólidos Suspensos Totais e suas Frações.

As águas do açude de Bodocongó apresentaram em geral valores baixos de sólidos suspensos totais, com médias de 38 e 28mg/L no 1º e 2º perfis, respectivamente. Estes sólidos provêm das algas, macrófitas e outros microrganismos além de materiais diversos introduzidos no açude com o escoamento superficial.

A grande quantidade de microfibras suspensas no efluente refletiu nos valores de sólidos suspensos. A Figura 4.48 mostra que os valores de SST (mínimo de 382 mg/L às 22h e máximo de 2.120 mg/L às 12h, no 2º perfil) apresentaram grandes flutuações e elevadas concentrações, evidenciando que o processo contribui com grande perda de microfibras através do efluente. A fração fixa (Figura 4.49) do ponto P4 apresentou valores até 64 vezes maior (13 – 835 mg/L, 2º perfil) que a do ponto P1, e sendo isto associado aos produtos químicos que estão incorporados nas aparas e que durante o processo de reciclagem foram liberados e dissociados. Com relação à fração volátil (Figura 4.50) o aumento chegou até 47 vezes (19 – 897mg/L, 2º perfil), devido também à presença das microfibras celulósicas.

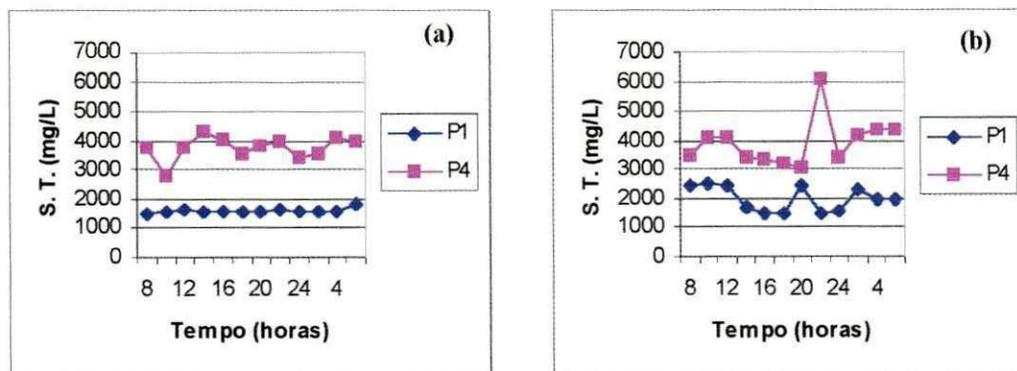


Figura 4.45 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

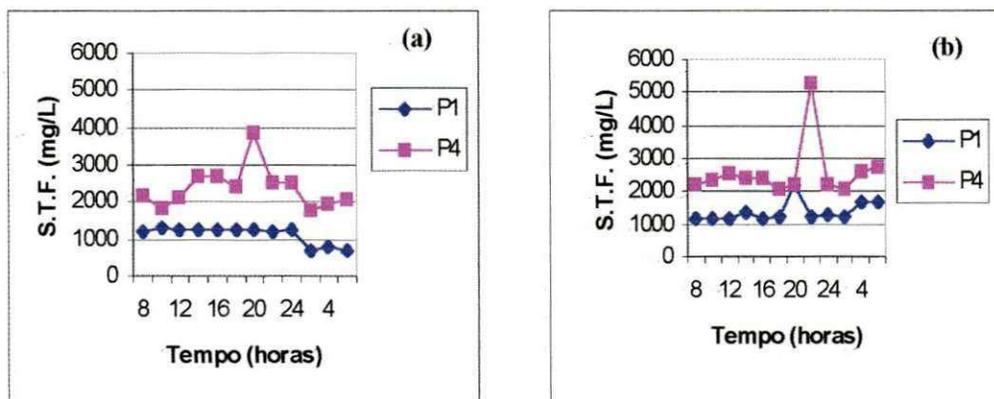


Figura 4.46 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais fixos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

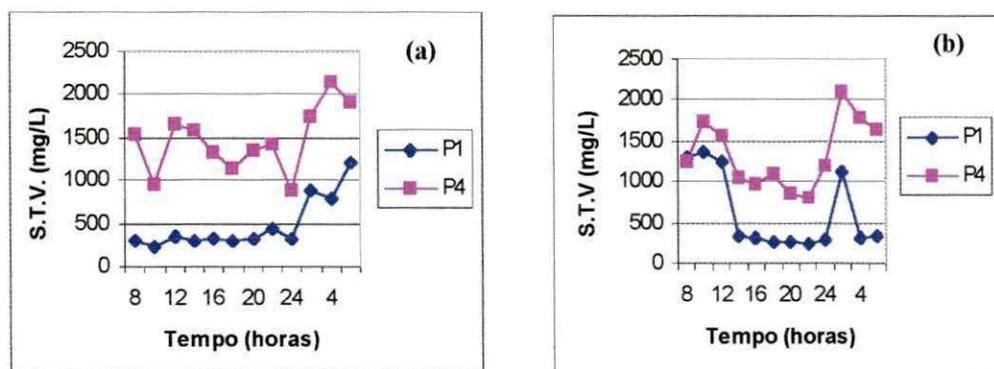


Figura 4.47 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos totais volátil nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

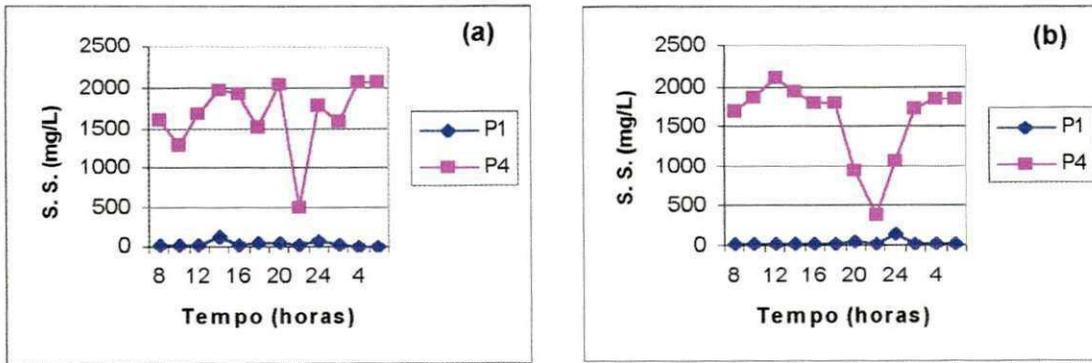


Figura 4.48 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos totais nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

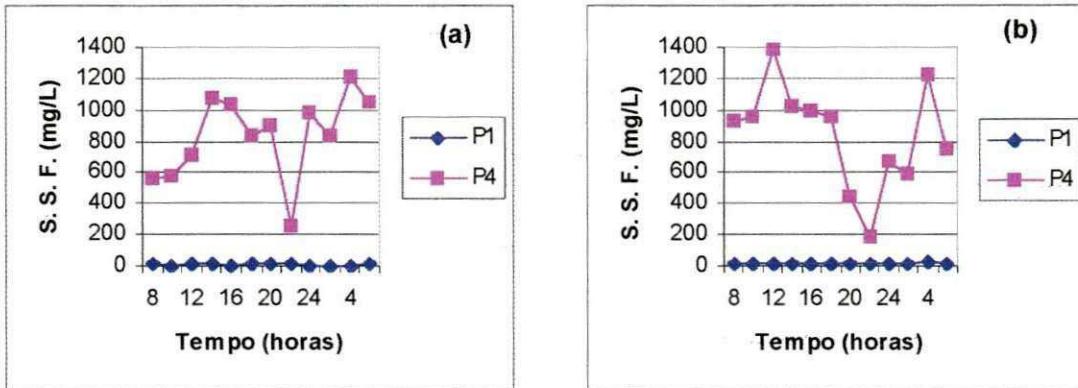


Figura 4.49 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos fixos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

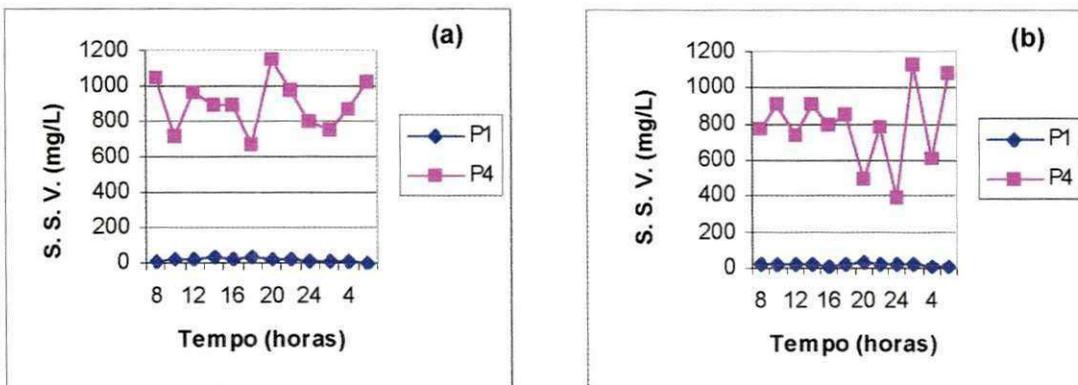
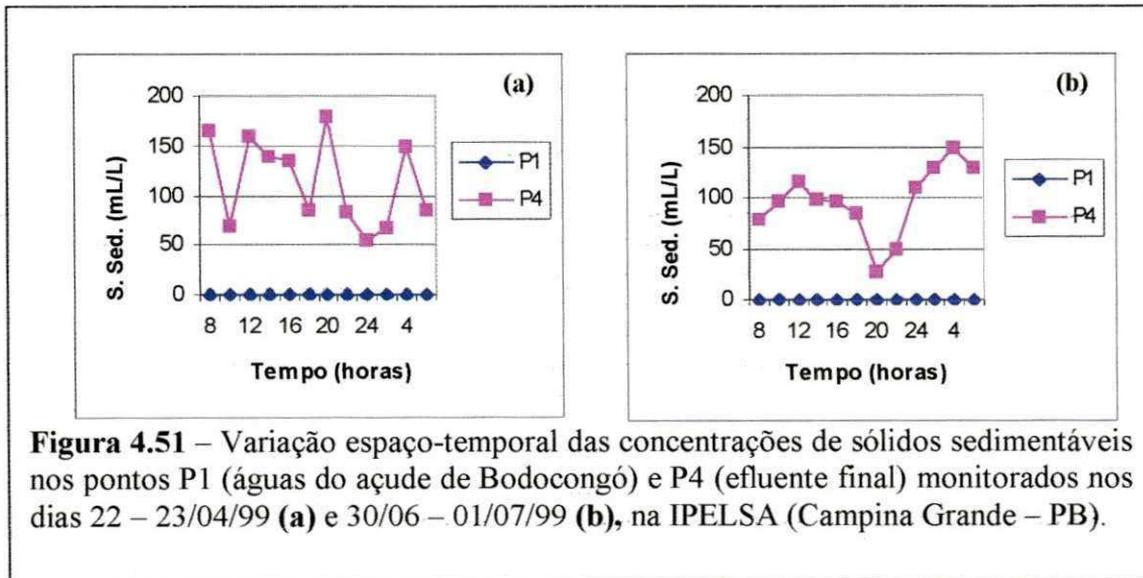


Figura 4.50 – Variação espaço-temporal das concentrações de sólidos suspensos voláteis nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

Sólidos Sedimentáveis

O ponto P1, por ser uma água superficial, apresentou concentração de sólidos sedimentáveis pequena, sendo quase impossível de quantificar, sendo considerada nula. As águas residuárias geradas no processo apresentaram concentrações entre 28 (20h – 2º perfil) e 180 mL/L (20h – 1º perfil) (Figura 4.51), e foram atribuídas às microfibras celulósicas perdidas durante o processo e liberadas no efluente. Estes valores foram considerados muito elevados e incompatíveis com qualquer padrão de lançamento de efluentes em corpos receptores (CONAMA 20/86). Foram observadas também fortes flutuações devido ao processo ser em batelada, não havendo dessa forma condições de definir horários fixos de concentrações máximas e mínimas.



Dureza

Foi observado (Figura 4.52) que as concentrações de dureza em P1 oscilaram pouco (518 mgCaCO₃/L às 12h e 610 mgCaCO₃/L às 08h, ambos no 2º perfil). Apesar da pouca variação estes valores conferiram elevada dureza para uma água superficial e foi associada com as características de alguns açudes nordestinos (CEBALLOS, 1997). O efluente final (mínimo de 543 mgCaCO₃/L às 08h e 1.248 mgCaCO₃/L às 06h, no 2º perfil) apresentou dureza maior que a da entrada no processo. Este aumento médio foi em torno de 55% e ocorreu devido aos produtos químicos à base de cálcio e magnésio, contidos nas aparas.

Cloretos

As concentrações de cloretos nas águas do ponto P1 variaram numa faixa entre 549 e 666mg/L, ambos no 2º perfil (Figura 4.53). Foi verificado também, que esta água, ao entrar no processo, não sofreu alterações significativas deste parâmetro. O efluente final apresentou concentrações na faixa de 570 mg/L (18h – 2º perfil) e 668 mg/L (10 e 20h – 1º perfil).

Alcalinidade A alcalinidade da água em P1 apresentou pequena variação, com valores entre 295 (08h) e 335mg/L (06h), ambos no 2º perfil, como mostra a Figura 4.54. Um dos processos de fabricação de papel a partir da madeira utiliza produtos alcalinos e uso crescente destes papéis na atividade cotidiana, faz com que as aparas apresentem uma concentração significativa e com a reciclagem as águas residuárias geradas apresentaram elevada alcalinidade, o que foi confirmado através das concentrações obtidas nos perfis, cujos valores foram de 500mg/L (12h) e 830mg/L (14h), no 1º perfil, representando um aumento de mais de 100% em relação a água que entra no processo.

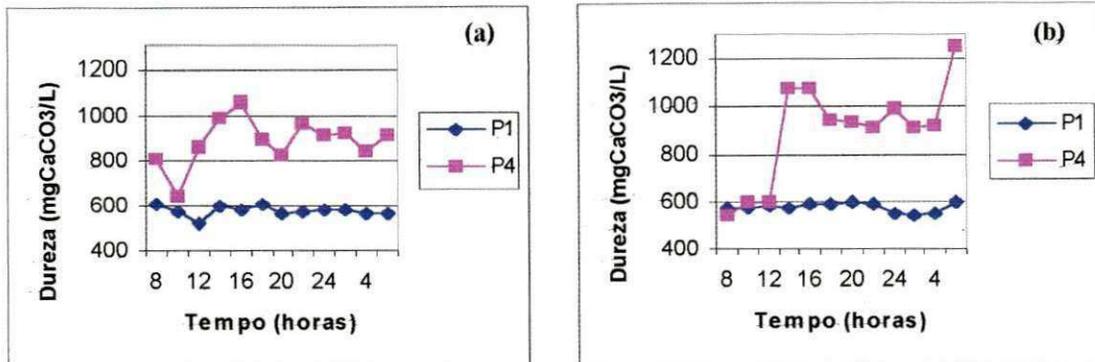


Figura 4.52 – Variação espaço-temporal das concentrações de dureza nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

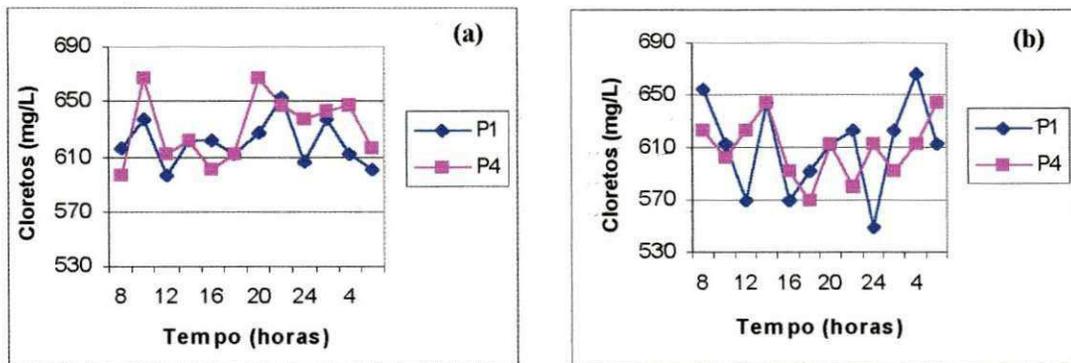


Figura 4.53 – Variação espaço-temporal das concentrações de cloretos nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

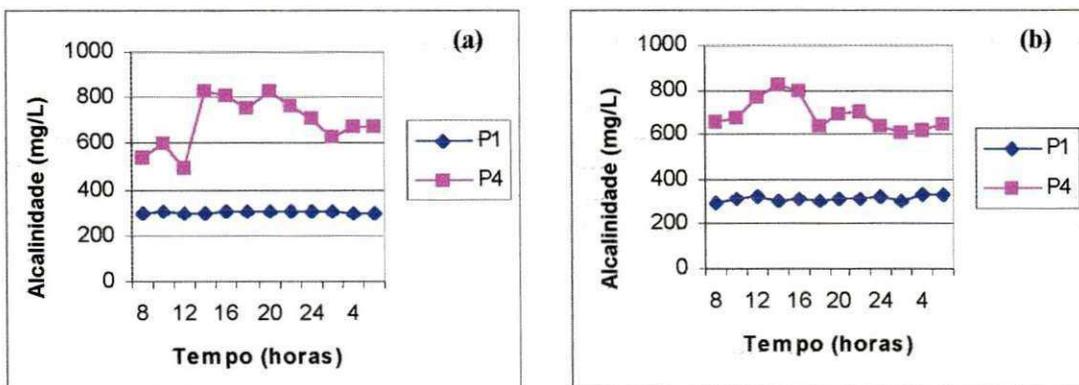
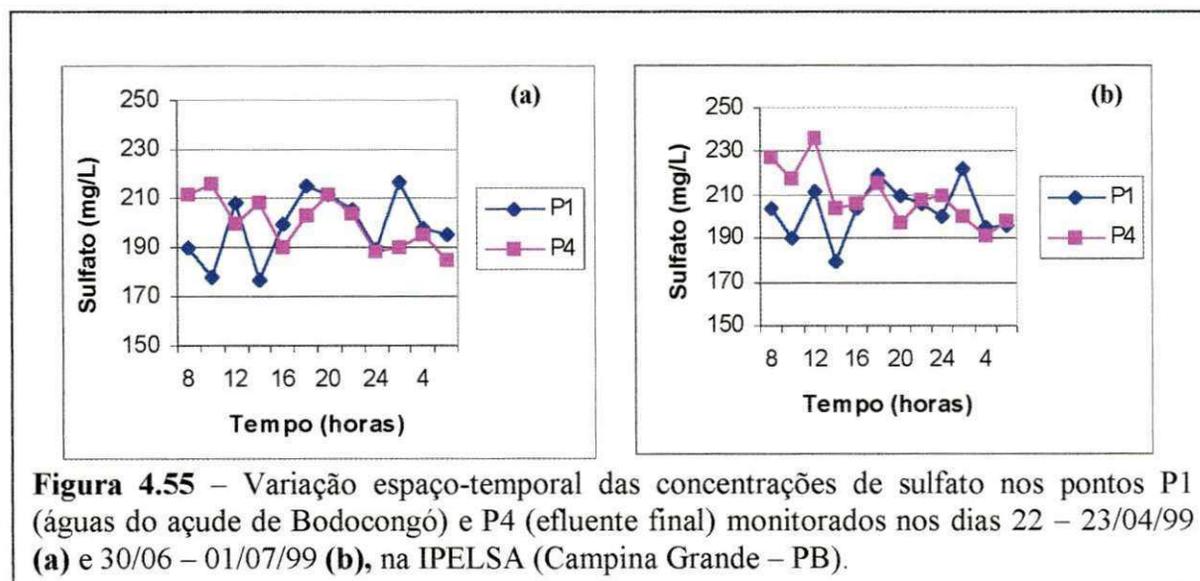


Figura 4.54 – Variação espaço-temporal das concentrações de alcalinidade nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

Sulfato

Conforme ilustra a Figura 4.55, as concentrações de sulfato nas águas do açude de Bodocongó estiveram entre 178 mg/L (10h – 2º perfil) e 223 mg/L (2h – 1º perfil), o que segundo von SPERLING (1996) é uma faixa normal para águas superficiais. As águas residuárias geradas na empresa apresentaram valores de 185 mg/L (06h – 2º perfil) e de 236 mg/L (12h – 1º perfil). Apesar da formação do papel a partir da madeira contemplar o uso de sulfatos, os quais são liberados para o meio líquido durante o processo de reciclagem das aparas de papel, a concentração de sulfato (185 – 216 mg/L, 1º perfil) do efluente final não apresentou variações significativas em relação a água que é utilizada no processo.



Íons

Através da análise de variância no monitoramento, foi verificado que os íons magnésio, sódio, potássio, cálcio e bicarbonato não apresentaram diferenças significativas entre os pontos P1 e P4, tendo isto sido confirmado com os íons sódio e potássio (Figuras 4.56 e 4.57) durante o estudo espaço-temporal realizado no período de 24 horas. No entanto, foi observado que alguns destes parâmetros são influenciados pelo processo, tais como o cálcio, magnésio e bicarbonato.

A concentração de magnésio (Figura 4.58) nas águas do ponto P1 flutuaram entre 87 mg/l (14h – 2º perfil) e 124 mg/L (12h – 2º perfil), enquanto que o efluente final apresentou valores mínimo e máximo de 110 mg/L (08h – 1º perfil) e 362 mg/L (14h – 2º perfil). Este aumento foi associado a compostos de magnésio contidos nas aparas e que foram liberados quando estas foram processadas.

A Figura 4.59 mostra a variação espaço-temporal das concentrações de cálcio, cujos valores na água do ponto P1 foram de 39 mg/L (08h – 1º perfil) e 87 mg/L (14h – 2º perfil) e no efluente final foram de 69 mg/L (02h – 2º perfil) e 300 mg/L (22h – 1º perfil), evidenciando que ao longo do processo de reciclagem ocorreu uma adição de cálcio, através das aparas que em sua composição contêm carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato (Figura 4.60) apresentou um aumento entre P1 e P4 de aproximadamente 83% (406 → 742 mg/L) no 1º perfil e de 52% (410 → 848 mg/L) no 2º perfil. Este aumento foi associado ao pH, que apresentou valores de 6,9 e 7,3 (Figura 4.14a e b). O carbonato existente na água superficial que abastece a indústria (Figura 4.61) mais o que vem nas aparas (como carbonato de cálcio), ao encontrar esta faixa de pH, se dissocia para bicarbonato.

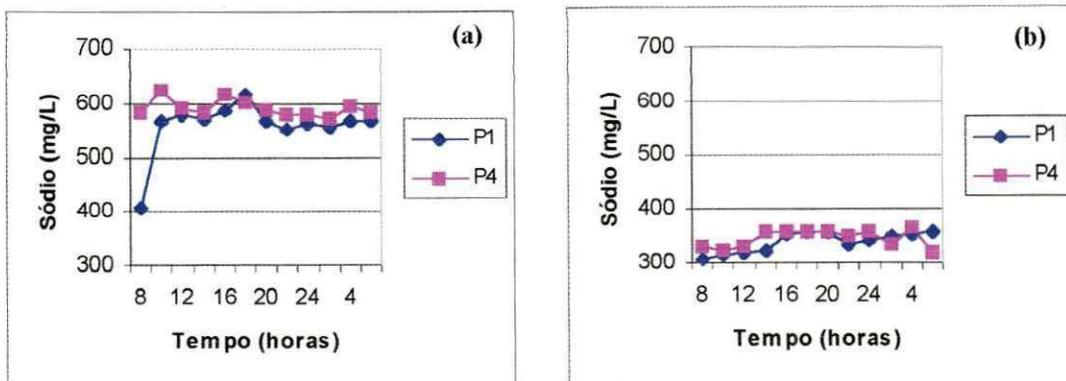


Figura 4.56 – Variação espaço-temporal das concentrações de sódio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

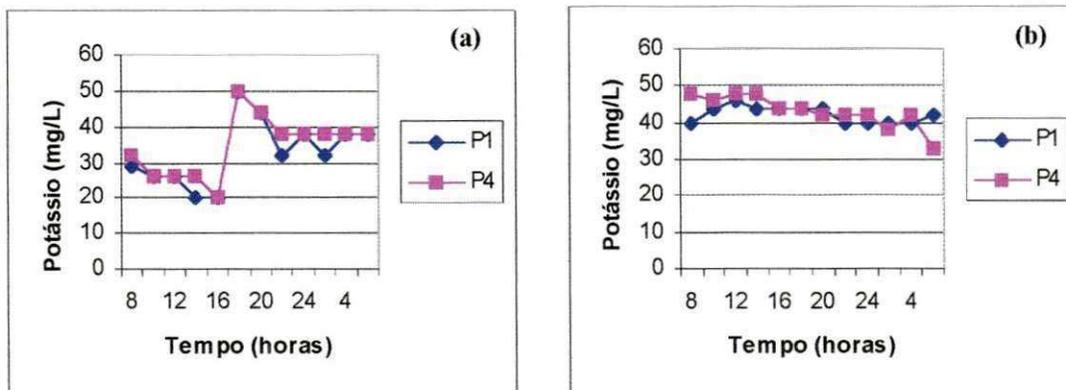


Figura 4.57 – Variação espaço-temporal das concentrações de potássio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

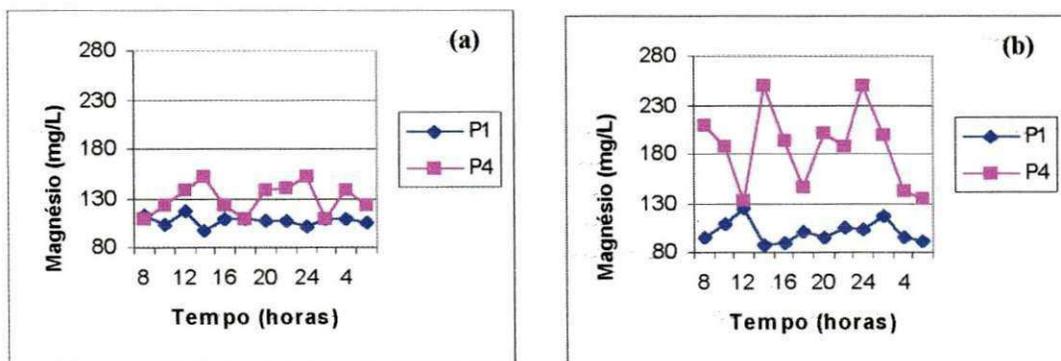


Figura 4.58 – Variação espaço-temporal das concentrações de magnésio nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

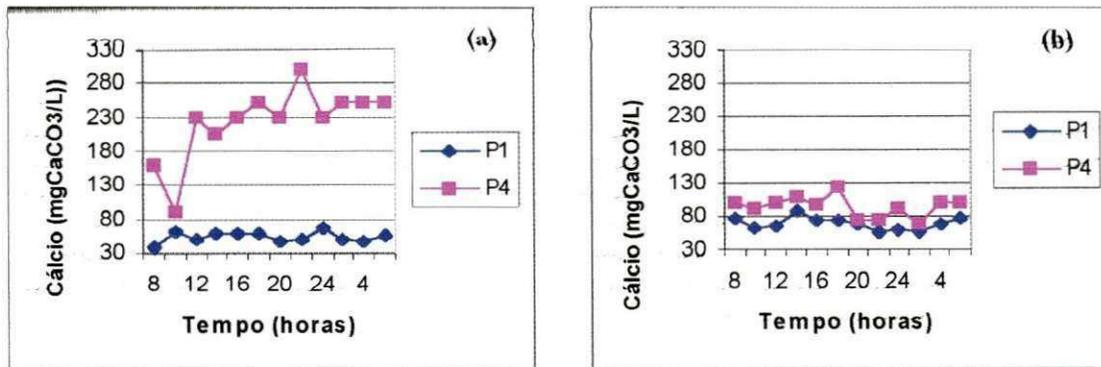


Figura 4.59 – Variação espaço-temporal das concentrações de cálcio, nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

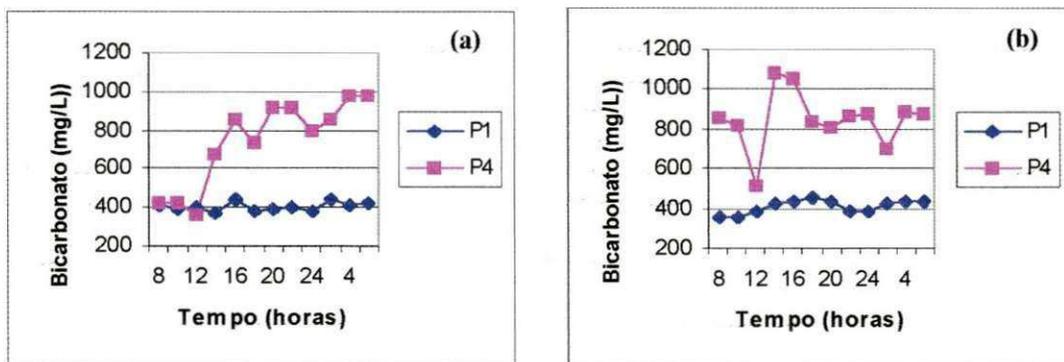


Figura 4.60 – Variação espaço-temporal das concentrações de bicarbonato nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

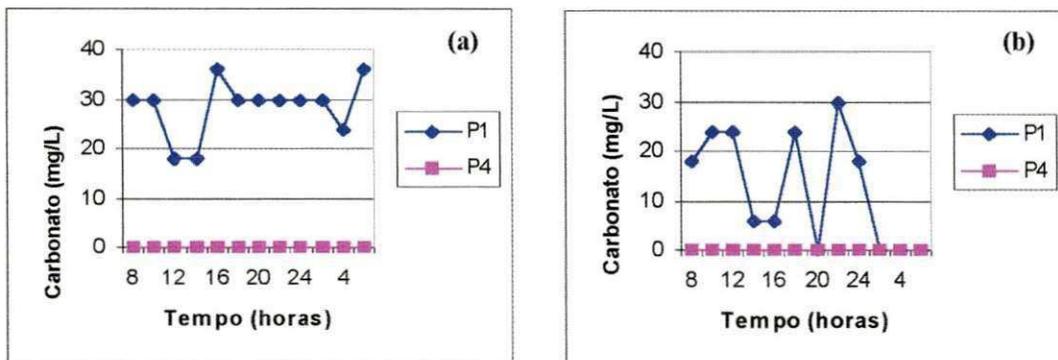


Figura 4.61 – Variação espaço-temporal das concentrações de carbonato nos pontos P1 (águas do açude de Bodocongó) e P4 (efluente final) monitorados nos dias 22 – 23/04/99 (a) e 30/06 – 01/07/99 (b), na IPELSA (Campina Grande – PB).

4.2.2 - Análise das cargas poluidoras geradas pelo processo e lançadas no riacho de Bodocongó.

A Figura 4.62 mostra a variação espaço-temporal da vazão ao longo de um dia de funcionamento da indústria de reciclagem de papel. Foram observadas fortes flutuações da vazão nos dois perfis, cujos valores mínimo e máximo foram de 33,8 e 101,9 m³/h, ambos no 1º perfil (22 -23/04/99). Estes resultados mostraram que, nos dois perfis, os horários de máxima e mínima vazão não foram os mesmos e este comportamento aleatório foi atribuído às várias bateladas processadas na empresa num dia de trabalho. Essas elevadas vazões associadas às altas concentrações de material orgânico (expressos como DBO₅ e DQO) e sólidos (ST, SS, SSed) encontrados no efluente, resultaram na introdução de elevadas cargas, no riacho de Bodocongó (Figuras 4.63 a 4.67). Estes valores de carga orgânica de DBO₅ variaram de 6,8 (10h) até 37,5 kg/h (04h) ambos no 1º perfil. Para a carga de DQO as flutuações foram entre 18,2 (10h - 2º perfil) até 316,9 kg/h (22h - 1º perfil). No caso dos sólidos os valores mínimo e máximo foram de 95 (10h) até 406,6 kg/h (22h), ambos no 1º perfil para os totais, de 23 (22h - 2º perfil) até 187,2 kg/h (04h - 1º perfil) para os suspensos e de 1,9 (20h - 2º perfil) e 14,4 L/h (12h -1º perfil) para os sedimentáveis.

As cargas poluidoras lançadas no corpo receptor num período de 24 horas mostraram a inexistência de um horário único para a ocorrência de valores máximos e mínimos de cargas de matéria orgânica e dos vários sólidos analisados. Esta ausência foi atribuída às grandes flutuações das vazões e das concentrações dos parâmetros como DBO₅, DQO e sólidos.

O lançamento destas cargas orgânicas e de sólidos excede totalmente qualquer padrão de lançamento de efluentes em corpos receptores, comprometendo a capacidade de autodepuração do riacho de Bodocongó. Para que o fenômeno ocorra, há necessidade da manutenção de uma vazão mínima do corpo receptor aliado à presença de concentrações consideráveis de oxigênio dissolvido (BRANCO, 1986).

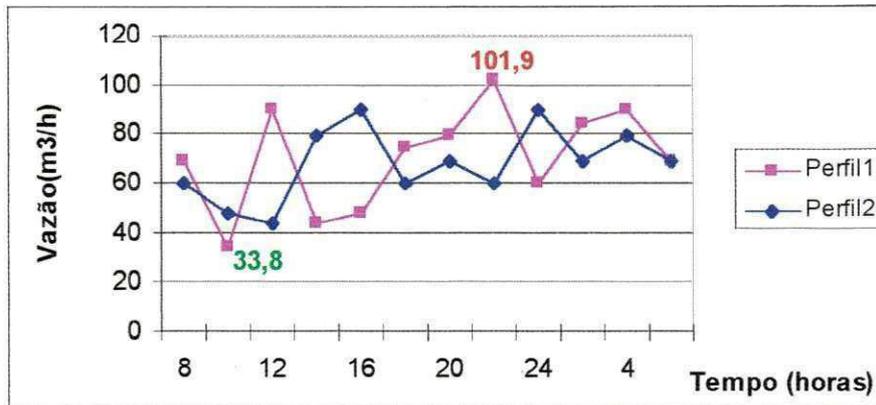


Figura 4.62: Flutuações (mínimo e máximo) da vazão do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

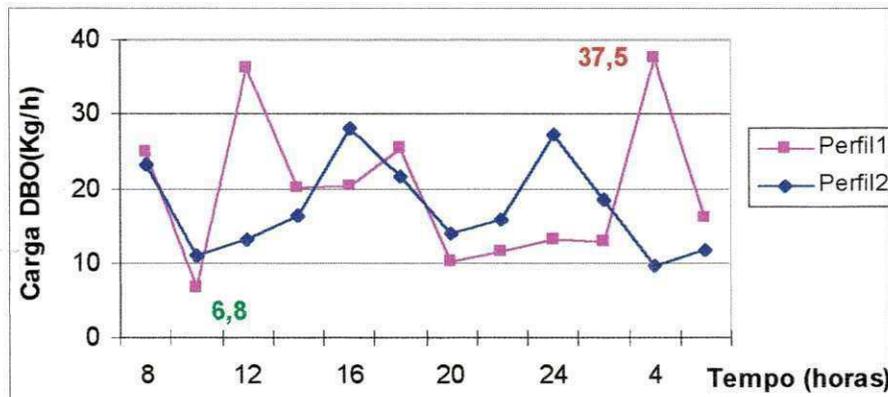


Figura 4.63: Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de DBO₅ do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

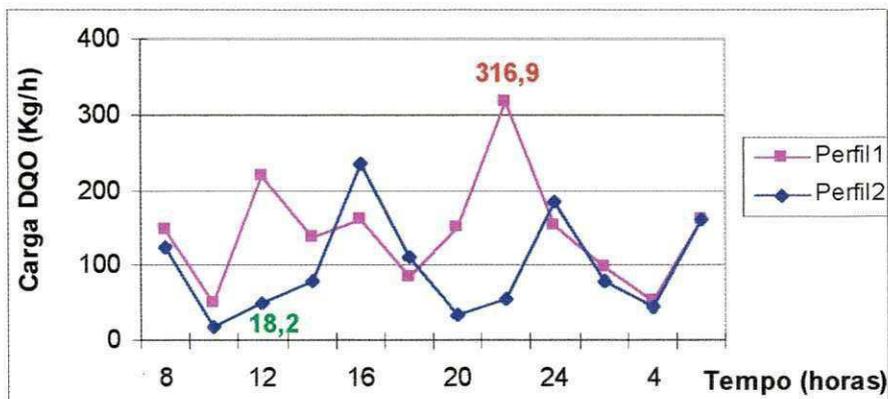


Figura 4.64: Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de DQO do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

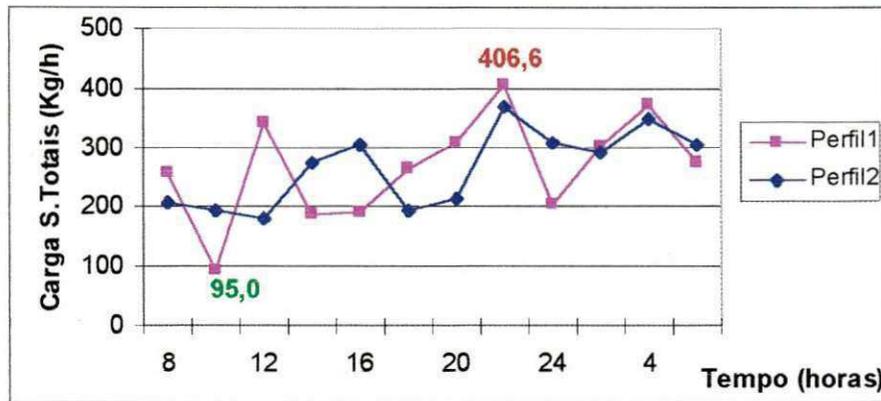


Figura 4.65: Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de sólidos totais do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

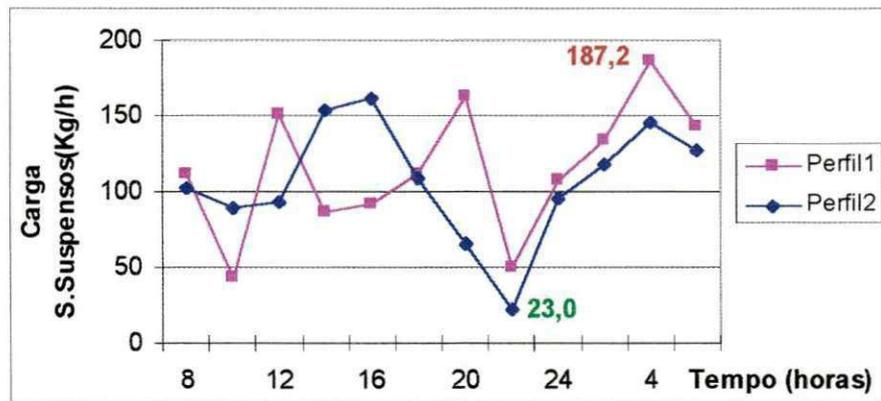


Figura 4.66: Flutuações (mínimo e máximo) da carga de sólidos suspensos do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

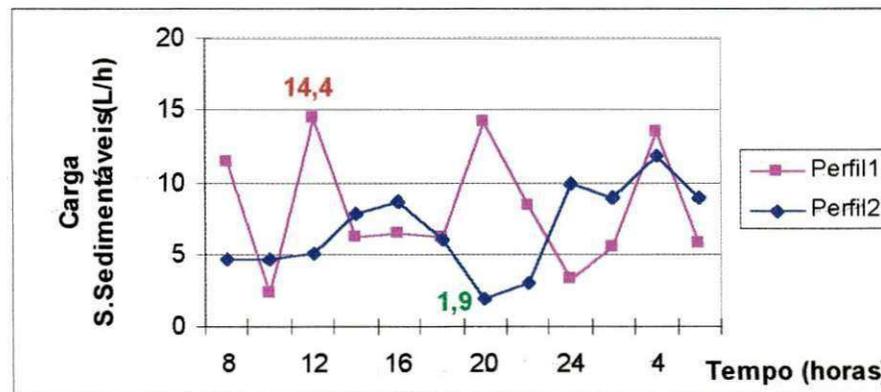


Figura 4.67: Flutuações (mínimo e máximo) das cargas de sólidos sedimentáveis do efluente final da IPELSA S/A (Campina Grande - PB) em dois perfis, monitorados em 22-23/04/99 e 30/06-01/07/99.

4.2.3 - Estudos das correlações (SPSS).

As Tabelas 4.27 (Perfil 1) e 4.28 (Perfil 2) mostram as matrizes das correlações múltiplas entre os valores da vazão e das cargas lançadas através do efluente final, aos níveis de significância de 0,01 e 0,05.

Foi observado que nem todas as correlações existentes em um perfil necessariamente ocorreram no outro, o que foi associado às flutuações do processo de reciclagem que era por batelada. Devido a estes fatores serão mencionadas aquelas correlações que aparecem nos dois perfis e dentre estas as que apresentaram significado físico-químico.

As correlações positivas e significativas existentes entre os sólidos totais e vazão ($\alpha = 0,01$, $r = 0,976$ – 1º perfil; $\alpha = 0,05$; $r = 0,620$ – 2º perfil) e sólidos sedimentáveis e vazão ($\alpha = 0,05$, $r = 0,624$ – 1º perfil; $\alpha = 0,05$, $r = 0,647$ – 2º perfil), indicam uma elevada quantidade de sólidos totais e decantáveis no efluente final, estes apresentaram sob a forma de microfibras celulósicas, que foram incorporadas no processo e lançadas no meio ambiente.

As correlações entre sólidos sedimentáveis e outros sólidos, como: sólidos suspensos ($\alpha = 0,05$, $r = 0,656$ – 1º perfil; $\alpha = 0,01$, $r = 0,756$ – 2º perfil) e sólidos totais voláteis ($\alpha = 0,05$, $r = 0,656$ – 1º perfil; $\alpha = 0,01$, $r = 0,858$ – 2º perfil), mostram que ao passarem da turbulência do ponto de despejo do efluente se sedimentam, provocando o assoreamento do corpo receptor (riacho de Bodocongó).

As correlações entre os sólidos suspensos e sua fração fixa ($\alpha = 0,01$, $r = 0,930$ – 1º perfil; $\alpha = 0,01$, $r = 0,900$ – 2º perfil) e sólidos totais e sua fração fixa ($\alpha = 0,01$, $r = 0,754$ – 1º perfil; $\alpha = 0,01$, $r = 0,875$ – 2º perfil) não eram esperadas, porém a existência delas demonstrou que, apesar da grande quantidade de microfibras celulósicas, a concentração da fração orgânica foi superada pela fração inorgânica, devido a presença das cargas minerais incorporadas ao papel durante a sua fabricação a partir da madeira.

Tabela 4.27 - Matriz de correlação da vazão e das cargas orgânicas e sólidas no ponto P4 (efluente final), no 1º perfil (22-23/04/99), na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

	VAZÃO	TURB	DBO	DQO	S.SED	ST	STF	STV	SS	SSF	SSV
VAZÃO	1,000										
TURB	**0,753	1,000									
DBO	0,343	0,334	1,000								
DQO	0,442	0,527	-0,092	1,000							
S.SED	*0,624	0,471	*0,602	0,219	1,000						
ST	**0,976	*0,656	0,399	0,482	*0,681	1,000					
STF	**0,745	0,543	0,011	0,518	*0,656	**0,754	1,000				
STV	**0,865	0,443	0,514	0,199	*0,656	**0,901	0,477	1,000			
SS	0,478	0,111	0,557	-0,244	*0,656	0,497	0,360	*0,644	1,000		
SSF	0,422	-0,039	0,547	-0,350	0,458	0,457	0,240	*0,624	*0,930	1,000	
SSV	**0,900	*0,648	0,242	0,588	**0,769	**0,922	**0,845	**0,790	0,474	0,317	1,000

* - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.05$

** - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.01$

Tabela 4.28 - Matriz de correlação da vazão e das cargas orgânicas e sólidas no ponto P4 (efluente final), no 2º perfil (30/06 e 01/07/99), na IPELSA S/A (Campina Grande – PB).

	VAZÃO	TURB	DBO	DQO	S.SED	ST	STF	STV	SS	SSF	SSV
VAZÃO	1,000										
TURB	0,474	1,000									
DBO	0,563	0,011	1,000								
DQO	*0,639	0,295	**0,779	1,000							
S.SED	*0,647	**0,854	0,165	0,458	1,000						
ST	**0,620	0,394	0,119	0,269	0,523	1,000					
STF	0,453	-0,017	0,159	0,211	0,118	**0,875	1,000				
STV	0,432	**0,845	-0,053	0,160	**0,858	0,425	-0,066	1,000			
SS	0,523	0,541	0,180	0,460	**0,756	0,092	-0,211	0,583	1,000		
SSF	0,502	0,520	0,186	0,416	*0,694	0,056	-0,152	0,400	**0,900	1,000	
SSV	0,382	0,209	0,171	0,399	0,483	0,379	0,166	0,472	0,621	0,275	1,000

* - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.05$

** - Correlação significativa ao nível $\alpha=0.01$

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO

No cenário industrial de Campina Grande (PB) destacam-se poucas indústrias e dentre elas está a IPELSA – Indústria de Celulose e papel da Paraíba S/A, instalada na cidade desde 1960. Iniciou suas atividades utilizando o bagaço de cana de açúcar como matéria-prima para a produção de sacos de papéis para embalagens. Com o tempo a empresa verificou que este tipo de processo não estava sendo viável, decidindo mudar a matéria-prima para aparas de papel e o produto final para papel higiênico. empresa foi instalada às margens do açude de Bodocongó, com o intuito de utilizar suas águas no processo e de utilizar o riacho de Bodocongó como corpo receptor dos efluentes gerados.

A indústria de celulose e papel, em particular, é grande geradora de poluição, tanto de forma direta, com o lançamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, e de forma indireta: com o descarte dos papéis depois de sua utilização, em vazadouros. Uma das formas para conservar os recursos naturais e energéticos é a indústria de reciclagem de papel, que utiliza como matéria-prima papéis usados, ou seja, aparas. Fora estas vantagens, a reciclagem ainda apresenta a redução do acúmulo de papel no ambiente, visto que é o maior componente dos aterros sanitários em geral, representando até 30% do total, além de economizar árvores e reduzir a poluição do solo, da água e do ar (IPT, 1988).

Apesar de todas essas vantagens, o maior problema das indústrias de reciclagem é o grande volume de água utilizada e o destino adequado dos efluentes líquidos gerados, que apresentam elevada quantidade de fibras celulósicas e cargas minerais. Para um maior e melhor controle faz-se necessário a caracterização da água utilizada e dos efluentes produzidos durante o processo.

Na IPELSA S/A (Campina Grande – PB), após o processamento das aparas, da formação da folha e sua secagem a vapor foi observado um aumento de 16% da temperatura entre as águas do açude de Bodocongó (que não excedeu o valor de 27,5 °C) e o efluente final, com valores de até 32 °C. Este aumento não foi significativo, pois mesmo o valor máximo não representa, de acordo com o CONAMA 20/86, uma poluição térmica, visto que a legislação aceita temperaturas de até 40 °C. Tanto a água utilizada quanto o efluente final se

caracterizaram pelo pH levemente básico que, na água do açude elevou-se até 8,5 em função da atividade fotossintética das algas que buscaram no sistema carbônico, o CO₂ necessário para sua atividade metabólica, provocando com isso o aumento deste parâmetro. Já no efluente final ocorreu uma diminuição do pH em relação à água do açude, cujos valores estiveram entre 7,37 e 7,88 e foram relacionadas com os papéis ácidos que compõem as aparas. A condutividade elétrica apresentou concentrações elevadas, com valores de 2.160 a 2.940 µmho/cm para a água do açude, devido à elevada concentração iônica existente nessa água, como pode ser observado através dos valores de diversos cátions e ânions analisados como: os cloretos (224 – 644 mg/L), sulfatos (94 – 208 mg/L), cálcio (36 – 116 mg/L), magnésio (79 – 160 mg/L), carbonato (6 – 30 mg/L), bicarbonatos (104 – 445 mg/L), sódio (317 – 382 mg/L) e potássio (44 – 58 mg/L). Em função dos teores de cálcio e magnésio, estas águas apresentaram elevadas concentrações de dureza (312 – 675 mg/L). Segundo Sawyer *et al.* (1994) águas com valores acima de 400 mg/L são consideradas muito duras. Foi observado que apesar de todas essas considerações, o estudo das correlações entre esses parâmetros, não mostrou a existência de correlações significativas entre eles. Isto pode ser explicado pelas grandes flutuações das concentrações das diferentes amostras.

A adição de produtos químicos como o carbonato de cálcio e sulfato de alumínio e magnésio, durante a fabricação do papel a partir da madeira e presentes na matéria-prima (aparas), ocasionou um aumento na condutividade elétrica do efluente final com valores de 2.290 a 3.100 µmho/cm. Isso foi verificado a partir do aumento da concentração de alguns íons no efluente final como: o magnésio (89 → 362 mg/L), o cálcio (16 → 220 mg/L), o sulfato (94 → 208 mg/L), os cloretos (288 → 1.196 mg/L) e o bicarbonato (122 → 1.098 mg/L). A ausência de carbonato no efluente final pode ser associada à redução do pH, pois este íon somente está presente em pH acima de 8,3.

Apesar de ter sido constatada a ocorrência de modificações nas concentrações espaço-temporais de alguns parâmetros, tais como temperatura, condutividade elétrica, cloretos, dureza, cálcio, magnésio, sódio, potássio e bicarbonato, entre a água utilizada e os demais pontos analisados, foi observado através da análise de variância ANOVA: fator único, com um nível de significância de 0,05 e com auxílio do método GT-2, que estas modificações não foram significativas. Para os parâmetros pH, turbidez, alcalinidade, DBO₅, sulfato, sólidos totais fixos, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e carbonato, a ANOVA: fator único, demonstrou a existência de dois grupos distintos de pontos: um formado pelo ponto P1 (água do açude de Bodocongó) e o outro pelos pontos P2(água de saída do engrossador), P3

(água de saída da mesa plana) e P4 (efluente final). Os pontos do segundo grupo exibiram valores semelhantes e foram considerados estatisticamente iguais, visto a ocorrência de interseções entre seus limites de confiança. Dessa forma para estes parâmetros seria suficiente comparar os resultados obtidos da água do açude de Bodocongó (ponto P1) com os do efluente final (ponto P4), para caracterizar o efluente final, o comportamento do processo, bem como seu poder poluidor.

Neste estudo foram observadas grandes flutuações nos valores de vazão (entre 33,7 e 95,9 m³/h) lançados no corpo receptor como efluente final, caracterizando uma atividade consumidora de elevados volumes de água superficial. O efluente era lançado no riacho de Bodocongó, que como a maioria dos riachos do Nordeste, na época de estiagem ou apresenta uma vazão baixa ou não existe. Este fenômeno está associado aos baixos índices pluviométricos na época de seca, e como consequência, a perenização deste riacho se dá pela contribuições de águas residuárias de origem doméstica e industrial. No período de seca, os esgotos (domésticos e industriais) de Campina Grande chegam a representar a quase totalidade da sua vazão. Apesar da péssima qualidade das suas águas, o riacho de Bodocongó é às vezes único recurso hídrico para a população que habita nas suas proximidades, sendo usado de forma múltipla: para irrigação irrestrita (forrageiras, capim elefante, hortaliças), lavagem de roupas, fabricação de tijolos e recreação de contato primário (MAGALHÃES, 2000).

Esta poluição foi acentuada devido a elevada concentração de microfibras celulósicas presentes no efluente final sendo responsáveis pelos aumentos das concentrações da maioria dos parâmetros analisados. Além de constituir-se num desperdício de material para a empresa, as fibras presentes no efluente final conferiram ao corpo receptor uma elevada turbidez (290-560 uT) e altas concentrações de sólidos, que contribuiriam para o seu assoreamento além de provocar a elevação da demanda de oxigênio. Os valores de turbidez aumentaram até 71 vezes entre o ponto P1 (6 uT) e o efluente final (422 uT). Este valor médio foi considerado muito elevado para ser lançado em corpos receptores, pois uma turbidez desta grandeza impossibilita a penetração da luz, impedindo o estabelecimento de uma biota autótrofa no corpo receptor.

Outro aumento bastante considerável foi o da DBO₅ média entre a água que entra (31 mgO₂/L) e o efluente final (391 mgO₂/L) representando uma elevação de 12,6 vezes, valores estes que ultrapassam qualquer padrão de lançamento de acordo com o CONAMA 20/86 e se assemelham aos de esgotos domésticos de concentração muito forte (METCALF & EDDY,

1.991). As microfibras liberadas no efluente são compostas por material orgânico, principalmente a celulose, que confere estes valores elevados de DBO. O valor médio de DQO no efluente final (1.724 mgO₂/L) sempre foi elevado, representando até 15 vezes o valor da água que entra no processo (109 mgO₂/L). No efluente final, o quociente DQO/DBO entre 1,7 e 7,8 demonstrou a predominância de material de difícil degradação biológica.

Entre a água do açude de Bodocongó e o efluente final destacaram-se também as elevações dos sólidos, tanto os totais com um aumento em torno de 2,26 vezes (1.819 → 4.106 mg/L), como os suspensos de 40,6 (52 → 2.110 mg/L) e os sedimentáveis de 164 (0 → 164 mg/L). Altas concentrações desses sólidos provocam o assoreamento dos cursos d'água e também retiram o oxigênio dissolvido da água, através da degradação biológica.

Devido à presença das microfibras celulósicas no efluente final, foram observadas correlações positivas e significativas entre diversos parâmetros que quantificam a matéria orgânica, como DQO e DBO ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,557$), DQO e ST ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,558$), DQO e SST ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,722$), Turbidez e DBO ($\alpha = 0,05$ e $r = 0,547$), demonstrando que estas microfibras foram a principal causa das alterações observadas no efluente em relação à água utilizada no processo.

A presença de produtos químicos à base de sulfato nos papéis que compunham as aparas contribuíram para um aumento deste parâmetro entre P1 e P4 de até 74,5%, (162 → 214 mg/L) e confirmado pela existência de correlações significativas com outros parâmetros como: CE ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,557$), ST ($\alpha = 0,01$ e $r = 0,569$), SST ($\alpha = 0,05$ e $r = 0,447$). A alcalinidade foi modificada pela presença de papéis alcalinos que fazem parte das aparas, com um aumento médio de 119% entre a água do açude de Bodocongó (304 mg/L) e o efluente final (664 mg/L). Em contrapartida o carbonato apresentou uma redução entre a água do açude (19 mg/L) e o efluente final (0 mg/L), em função da diminuição do pH médio de 8,2 até 7,6.

Os dois estudos dos ciclos diários (perfis) realizados em amostras de P1 (água utilizada) e P4 (efluente final) mostraram a inexistência de uma faixa de horário para a ocorrência dos valores máximos e mínimos para os diferentes parâmetros analisados. Isto foi associado as características intrínsecas do funcionamento da empresa que faz a reciclagem das aparas pelo processo de batelada e ao tipo de matéria-prima, pois as aparas utilizadas são do tipo mistas, apresentando composições bastante variadas.

É notório que indústria de reciclagem de papel necessita de volumes elevados de água, conseqüentemente gerando elevados volumes de efluente, que nos estudos do ciclo diário

foram confirmados, visto que num período de 24 horas as variações de vazão foram entre 33,75 até 101,85 m³/h, que ocorreu no 1º perfil. Essas vazões associadas à presença de altas concentrações de material orgânico e sólidos encontradas no efluente resultaram na introdução de elevadas cargas de DBO (6,8 a 37,5 kg/h), DQO (18,2 – 316,9 kg/h), ST (95,0 – 406,6 kg/h), SST (23,0 – 187,2 kg/h) e SSed (1,9 – 14,4 mL/h), no riacho de Bodocongó, provocando fortes impactos poluidores, visto que provocam a formação de bancos de lodo e comprometem a capacidade de autodepuração do riacho de Bodocongó.

As obras de urbanização do riacho de Bodocongó em conjunto com a aplicação da legislação ambiental, impõe a empresa a tomar medidas internas no sentido de reduzir o volume dos efluentes lançados, bem como diminuir teor de matéria orgânica e sólida. Estas metas podem ser atingidas com algumas modificações no processo de reciclagem, que compreendem a reutilização de parte destes efluentes, como também a implantação de um sistema de tratamento.

Em todo o mundo as empresas de celulose e papel tratam seus efluentes através sistemas biológicos, principalmente as lagoas de estabilização e lagoas aeradas, por removerem até 90% de DBO₅, além de oferecer vantagens como suportar flutuações de cargas hidráulicas e orgânica, eficiência, baixo custo de construção e operacional (BRAILE & CAVALCANTE, 1993). No caso particular da IPELSA S/A, este tipo de tratamento não seria viável, pela falta de área disponível.

A empresa para solucionar este problema tem projetos no sentido de implantar uma estação de tratamento, constituído de uma decantador para a remoção de parte das microfibras celulósicas e de um filtro prensa, para retirar a água do lodo do decantador. O sobrenadante da decantação e parte da água retirada no filtro prensa retornariam para o processo de reciclagem, e a outra parte seria lançada no corpo receptor com um teor de material orgânico reduzido. O material sólido remanescente da desidratação seria, a princípio, enviado para os vazadouros do município. Este tipo de resíduo deverá ser melhor pesquisado, visto que contém material orgânico que pode ser utilizado na confecção de telhas onduladas.

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos e analisados neste trabalho foi possível concluir que:

- processo de reciclagem de papel utiliza um elevado volume de água e conseqüentemente gera grandes volumes de efluentes com acentuadas flutuações que, durante o monitoramento variaram entre 33,7 e 95,9 m³/h e durante os perfil de 24 horas, de 33,7 a 101,9 m³/h;
- durante o monitoramento do efluente final, para amostras coletadas entre 13 e 15 horas, foram observadas elevadas concentrações e flutuações na maioria dos parâmetros, em função das microfibras celulósicas, principalmente aqueles que quantificaram a matéria orgânica: DBO₅ (184 – 943 mgO₂/L), DQO (382 - 3.145 mgO₂/L), ST (3.361 - 4.736 mg/L), SST (1.184 - 3.004 mg/L) e SSed (86 – 255 mL/L);
- durante os estudos do ciclo diário do efluente final foram observadas elevadas concentrações e flutuações na maioria dos parâmetros, em função das microfibras celulósicas, principalmente aqueles que quantificaram a matéria orgânica: DBO₅ (114 - 461 mgO₂/L), DQO (581 - 3.375 mgO₂/L), ST (2.815 - 4.308 mg/L), SST (493 - 2.076 mg/L) e SSed (55 – 180 mL/L) para o 1º perfil e DBO₅ (122 – 389 mgO₂/L), DQO (382 - 2.627 mgO₂/L), ST (3.078 - 6.116 mg/L), SST (382 - 2.120 mg/L) e SSed (28 - 150 mL/L) para o 2º perfil;
- nos dois perfis de 24 horas não foi observado a coincidência de horários para valores mínimos e máximos dos diferentes parâmetros analisados e este comportamento foi associado ao processo de batelada utilizado pela empresa no processo de reciclagem de papel;
- a combinação de altas vazões e concentrações de DBO₅, DQO e sólidos, contribuíram para que o corpo receptor recebesse elevadas cargas de matéria orgânica e de sólidos intensificando seu assoreamento;

Conclusão

- a análise de variância ANOVA fator único em conjunto com o método GT-2 mostraram que alguns parâmetros (temperatura, condutividade elétrica, cloretos, dureza, sólidos totais e fração volátil, sólidos suspensos voláteis, cálcio, magnésio, sódio, potássio e bicarbonato) não apresentaram diferenças significativas entre as águas utilizadas (ajude de Bodocongó - ponto P1) e as águas residuárias geradas pelo processo (pontos P2 e P3) e as lançadas no ambiente {ponto P4);
- os parâmetros: pH, turbidez, alcalinidade, DBO₅, DQO, sulfato, sólidos suspensos totais e sua fração fixa, sólidos totais fixos e carbonato, apresentaram diferenças entre a água utilizada e as águas residuárias geradas pelo processo e as lançadas no ambiente;
- a presença de aditivos químicos incorporados às folhas de papel e conseqüentemente presentes nas aparas, provocou o aumento de concentração de alguns parâmetros em relação a água utilizada, como: 6,5% da condutividade elétrica (2.456– 2.161 mg/L), 4,2% do magnésio (103 – 214 mg/L), 61,1% do cálcio (72 – 116 mg/L), 32,1% do sulfato(162 – 214 mg/L), 24,8% dos cloretos (521 – 650 mg/L) e 101% do bicarbonato (300 – 603 mg/L).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABTCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, (1.983). A fabricação de celulose e papel. Revista da Indústria Brasileira de Papel e celulose. p. 15 a 26,.
2. ABTCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (1.998). Reciclagem em máquinas de papel que operam com colagem alcalina. In:Seminário de Meio Ambiente em Indústrias de Processo, São Paulo: ABTCP, p. 21-58.
3. ALMEIDA, E. (1.977). História de Campina Grande. Editora Universitária / UFPB – 2ª edição, João Pessoa.
4. APHA, AWWA, WPCF (1.995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. Washington, D. C., American Public Health Association. 1520p.
5. AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, A. G. (1977). Manual de Hidráulica. Editora Edgard Blücher Ltda, 6ª edição, volume II, São Paulo, 669p.
6. BANDEIRA, Z. R. (1.996). Utilização racional de resíduos da indústria de celulose como matéria prima para a construção civil – considerações ambientais. [Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. EFES, Vitória – ES], 128p.
7. BRAILE, P. M.; CAVALCANTE, J. E. W. A. (1.993). Manual de tratamento de águas residuárias industriais. CETESB,.723p.
8. BRANCO, S. M. (1986). Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. CETESB / ASCETESB, 3ª Edição – São Paulo, 616p.
9. CEBALLOS, B. S. O. (1.995). Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de Ecossistemas Aquáticos do Trópico Semi-árido. [Tese de Doutorado – Instituto de Ciências Biomédicas II – USP. SP], São Paulo, SP, 192p.

10. CEBALLOS, B. S. O.; KÖNIG, A.; DINIZ, C. R.; WATANABE, T.; MISHINA, S. V. (1.997). Variabilidade da qualidade das águas de açudes nordestinos. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Rio de Janeiro, RJ. p. 2.080 – 2.091.
11. CONAMA (1.986). Resolução nº20, 18/06/86. Brasília: CONAMA.
12. EMBRAPA,(1.979). Manual de métodos de análises de solo. Serviço nacional de levantamento e conservação de solo. Rio de Janeiro, RJ.
13. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (1.999). Celulose. Cd-rom.
14. EVARISTO, R. (1.993). Tratamento de efluentes hídricos. Jaguariava: ABTCP,, (Apostila do Curso de Tratamento de Efluentes Hídricos). São Paulo, SP. 47p
15. FIGUEIREDO, P. J. M. (1.994). A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. Editora UNIMEP. Piracicaba, SP. 240p.
16. GUAGLIANONI, L.G.; PIRES E.C.; NOLASCO, M .A. (1.994). A aplicação do tratamento anaeróbio em efluentes de indústria de papel e celulose. Anais do 27º Congresso Anual de Celulose e Papel, São Paulo: ABTCP. p. 279 – 308.
17. HAMMER, MARK J (1979). Sistema de abastecimento de água e esgotos. Livros técnicos e científicos Editora S/A. Rio de Janeiro. 563p.
18. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (1.988). Tecnologia de fabricação da pasta celulósica e fabricação do papel. SENAI: São Paulo. 2ª edição, volumes I e II. 959p.
19. KUKKONEN, J. V. K.; PUNTA, E.; KOPONEN, P.; PARANKO, J.; LEPPÄNEN, H.; HOLOPAINEN, I. J.; HYVÄRINEN H. (1.999). Biomarker responses by crucian carp (*Carassius carassius*) living in a pond of secondary treated pulp mill effluent.

- Water Science and Technology. Forest Industry Wastewaters VI. Editor: A Luonsi. 40 (11-12).
20. LIBBY, C. E. (1.977). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Compañía editorial continental, S. A., Mexico. 6ª impresión,. Tomo I, 524p. y tomo II, 514p.
21. MACHADO, A. A. M. (1.995). Tecnologia de fabricação de papel higiênico através da reciclagem de aparas. Estágio Integrado. Departamento de Engenharia Química - UFPB (Campina Grande).
22. METCALF, & EDDY. (1.991). Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 3th edition McGraw-Hill, Inc. New York 1.334p,.
23. NOLASCO, M.A.; PIRES E.C.; SPRINGER, A. M. (1.997). Tratamento biológico de efluentes da indústria de papel e celulose por aeração estendida modificada. Anais do 30º Congresso Anual de Celulose e Papel. São Paulo: ABTCP, pg. 465 - 474.
24. NORUSIS, M. J. (1.992). SPSS/PC *for Windows*, version 6.0. Inc. Chicago, Illinois. 204p.
25. ODUM, E. P. (1.988). Fundamentos de ecologia. Fundação Calouste Gulbenkian, 4ª edição. 927p.
26. RAMEH, C. A. S.; PINHEIRO, F. E. V. (1.989). Análise de custo e eficiência de sistema de tratamento de efluentes líquidos para a indústria de celulose e papel. Anais do 22º Congresso Anual de Celulose e Papel. São Paulo: ABTCP, pg. 589-614.
27. RATNIEKS, E.; GAYLARDE, C. (1.996). Degradação anaeróbia de lodo do tratamento de efluentes de fábrica de celulose. O Papel, São Paulo, volume 57, n.12, pg. 151 – 158.
28. REINFELD, E. N.; WIARD, M. L.; SCHULZ, A. C.; LAYMAN III, C. M.; ROSANDER, A. C. (1.994). Sistemas de reciclagem comunitária. Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo, SP, 285p.

29. SCARLATO, F. C.; PONTIN, J. A. (1.992). Do nicho ao lixo: ambiente, sociedade e educação. Editora Atual. São Paulo, SP, 116p.
30. SILVA, S.A. (1.982). On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in Northeast Brazil [Tese de Doutorado Universidade de Dundee, Escócia UK), 203p.
31. SILVA, P. A. L. (1.999). Probabilidade e Estatística.. Reichmann e Affonso Editores. Rio de Janeiro, RJ, 175p
32. SOKAL, R.R.; ROHF, F. J. (1.981). Biometry – The principles and practice of statistics in biological research. 2th edition. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
33. von SPERLING, M. (1.996). Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos. 2^a edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 243p.
34. STEINER, C. & HERRERA, J. (1.987). Indústria e Meio Ambiente: Criação de um parque para a recuperação paisagística de uma área industrial. Anais do 20º Congresso Anual da ABTCP. São Paulo: ABTCP. pg. 455 - 460.
35. SAWYER, C. N.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G. F. (1.994). Chemistry for environmental engineering. 4th edition. New York. McGraw-Hill Book Company, 658p.
36. TEIXEIRA, M. L., MESQUITA, J. B. (1.991). Influência da adição de fósforo e nitrogênio no tratamento biológico do efluente da indústria de celulose: sistemas de lagoas aeradas. O Papel, São Paulo, volume 52, n.11, pg. 142-146.
37. VIEIRA, O. (1.990). Tratabilidade biológica de efluentes da indústria de celulose e papel. Anais do 23º Congresso Anual de Celulose e Papel. São Paulo: ABTCP, pg. 791-807.