

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA:
ESTUDO DE CASO**

Fabíola Maria Gonçalves Ribeiro

**Campinas
2011**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

Fabíola Maria Gonçalves Ribeiro

**USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes

**Campinas, SP
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R354u
Ribeiro, Fabíola Maria Gonçalves
Usos da água na indústria sucroalcooleira: estudo de caso / Fabíola Maria Gonçalves Ribeiro. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Água - Uso. 2. Água - Reutilização. 3. Açúcar - Industrialização. 4. Etanol. I. Mendes, Carlos Gomes da Nave. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: water uses in the sugar and ethanol industry: a case study

Palavras-chave em Inglês: Water - Use, Water - Reuse, Sugar - Industrialization, Ethanol

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Eglé Novaes Teixeira, Durval Rodrigues de Paula Junior

Data da defesa: 20-12-2011

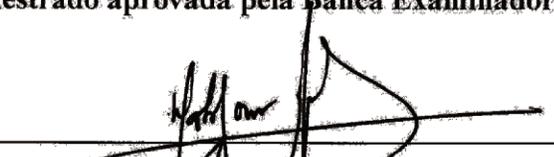
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

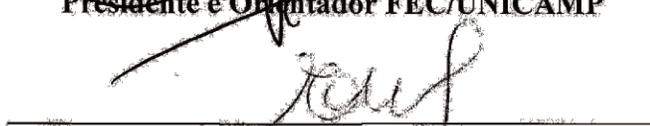
Fabiola Maria Gonçalves Ribeiro

**USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora constituída por:



Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
Presidente e Orientador FEC/UNICAMP



Profa. Dra. Eglé Novaes Teixeira

FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Junior
FEAGRI/UNICAMP

Campinas, 20 de dezembro de 2011

Dedico este trabalho ao “**VIVER**”

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Carlos Gomes que de forma competente me acompanhou nesta trajetória.

Aos funcionários da Usina Santa Rosa, em especial ao Sr. Vítório, Ulisses, Joziel, Rafael e Sr. Valdemar, grande conhecedor da usina e dos seus circuitos de água.

Ao Otávio Pilon, Aparecido Bicudo, Rodrigo, Plínio, Fábio, José Carlos e a todos os funcionários da Usina Santa Maria.

Ao Marcelo Balbino, do Departamento de Recursos Hídricos da FEC, e aos técnicos da Lenox Automação e Tecnologia que efetuaram as medições de vazão.

Aos professores, professoras e colegas da Unicamp que contribuíram para a construção das bases que resultaram neste trabalho, e às funcionárias e funcionários da Secretaria de Pós-Graduação da FEC, pela presteza e apoio.

À minha amiga Mariana Reis, sempre pronta a ajudar.

À CETESB e ao SAAE Sorocaba, pelo auxílio.

Aos meus amigos e amigas da Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba, em especial à Jussara, ao Vidal e à Ana Marisa.

Aos meus amigos e amigas da CETESB que me incentivaram nesta jornada.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que meu objetivo fosse atingido.

À minha família. D^a. Lydia, minha mãe e incentivadora. Ao Maia, meu marido e companheiro. Ao Guto, meu filho. Ao Lucas, meu neto, essa gracinha que me faz ser criança e repor minhas energias. Ao Sr. Antonio Nepomuceno, meu pai e amigo (*in memoriam*).

À Deus que me permitiu respirar a cada dia, e tornar possível minha existência.

RESUMO

RIBEIRO, Fabíola M. G. **Usos da Água na Indústria Sucroalcooleira: Estudo de Caso.** 2011. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

A história do homem na Terra tem como marca principal a alteração do equilíbrio dinâmico dos ecossistemas, resultando num processo crescente de degradação ambiental. O uso da água, demandada para o desenvolvimento das diferentes atividades que garantem a produtividade econômica e o bem estar social, acarretou num consumo cada vez maior desse recurso natural como se fosse abundante e infinito. A escassez de recursos hídricos é uma realidade, inclusive no Brasil, tornando-se necessário desenvolver estratégias para o adequado gerenciamento desse recurso. Nesse contexto, o uso racional da água deve ser estimulado, tendo no reúso e reciclagem formas de mitigar a captação e consumo de água, favorecendo o aumento da oferta e contribuindo para a sustentabilidade. A indústria sucroalcooleira se caracteriza pelo uso intensivo de água, verificando-se nas usinas de açúcar, com destilaria anexa, um uso médio da ordem de 22 m³/t cana total. Esse valor não reflete os volumes captados ou consumidos, uma vez que o setor vem adotando práticas de gestão ambiental e de recursos hídricos, com ênfase ao reúso da água. O objetivo deste trabalho foi identificar os usos da água em duas unidades de produção de açúcar e etanol, localizadas na UGRHI 10, com distintas disponibilidades hídricas nos trechos dos rios onde se encontram instaladas e, o quanto a prática do reúso alterará a captação, lançamento e consumo de água, avaliando os consequentes valores a serem pagos pela cobrança pelo uso desse recurso natural. Como resultado principal teve-se que, na Unidade I, com o fechamento do circuito de água da fabricação de açúcar, ocorrido em 2009, o uso médio de água sofreu uma redução de 43%, ou seja, de 23 m³/t cana total para 13,2 m³/t cana total. Na Unidade II, onde a prática do reúso é melhor consolidada, o uso médio foi de 4,5 m³/t cana total. Nessa Unidade, com a adoção da limpeza a seco, ocorreu uma redução de 75% no volume de água utilizado nessa etapa. Verificou-se ainda que a prática do reúso de água no processo produtivo permitiu um abatimento significativo nos valores pagos pela cobrança pelo uso da água. Na Unidade I essa redução foi de 55 %, enquanto que na Unidade II foi de 86 %. Com os resultados obtidos apontam-se ganhos ambientais e financeiros associados às práticas de uso racional da água.

Palavras chave: água, reúso, indústria sucroalcooleira; cobrança.

ABSTRACT

RIBEIRO, Fabíola. M. G. **Usos da Água na Indústria Sucroalcooleira: Estudo de Caso.** 2011. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

The history of the man on Earth is marked by the alteration of the ecosystems dynamic equilibrium, resulting in an increasing of environmental degradation process. The water use, demanded for the development of different activities to ensure economic productivity and social welfare, has led to a growing consumption of that natural resource as if it were abundant and infinite. Scarcity of water resources is a reality, also in Brazil, becoming necessary to develop strategies for proper management of this resource. In this context, the rational use of the water must be encouraged, having in the reuse and recycling ways to mitigate the collection and consumption of water, favoring the increase of supply and contributing to the sustainability. The sugar and ethanol industry is characterized by intensive water use, checking on sugar plants with attached distillery an average use of about 22 m³/t total sugarcane. This value does not reflect the collected or consumed volumes, since the sector has been adopting environmental and water resources management practices, with emphasis on the water reuse. The aim in this study was to identify water uses in two plants manufacturing of sugar and ethanol, installed in Water Resources Management Unit 10, with distinct water availability in the stretches of rivers where they are installed and, how the practice of reuse of water will change the collection, discharge and consumption of water, evaluating the resulting values to be paid by charging for the use of this natural resource. As main result was that in Unit I, with the closing of the water circuit of sugar manufacturing, which occurred in 2009, the average water use was reduced by 43%, i.e., from 23 m³/t total sugarcane, to 13,2 m³/t total sugarcane. In Unit II, where the reuse practice is better consolidated, the average use was 4,5 m³/t total sugarcane. In this Unit, with adoption of dry cleaning, occurred a reduction of 75% in volume of water used in this step. It was also verified that the practice of water reuse in the productive process allows a significant reduction on the amount of water charging. In Unit I, this reduction was 55%, while in Unit II it was 86%. With the results obtained point to environmental and financial gains associated with water rational use practices.

Key Words: water; reuse; sugar and ethanol industry; charging.

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 3.1 – Relação entre os Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.....	42
Figura 3.2 - Localização da UGRHI-10 no Estado de São Paulo e seus limites.....	49
Figura 3.3 - Sub Bacias: UGRHI 10.....	51
Figura 3.4 - Produção de Cana de Açúcar: São Paulo, Região Centro-Sul e Brasil	62
Figura 3.5 - Fluxograma: Preparo da Cana, Extração do Caldo e Produção de Açúcar	68
Figura 3.6 - Evaporação com Quintuplo Efeito.....	71
Figura 3.7 - Fluxograma: Produção de Etanol.....	75
Figura 3.8 - Esquema de Destilação com Produção de Etanol Anidro	79
Figura 3.9 - Fluxograma: Área de Geração de Energia.....	80
Figura 3.10 - Indústria Sucroalcooleira: Usos Setoriais da Água	90
Figura 4.1 - Medidor de Vazão Ultrasônico Portátil.....	103
Figura 4.2 – Micro Molinete para Medição de Vazão	104
Figura 5.1 - Unidade I: Captação de Água no Rio Sorocaba	112
Figura 5.2 - Unidade I: Tanques de Decantação da Água de Lavagem de Cana e dos Lavadores de Gases de Combustão das Caldeiras	115
Figura 5.3 – Unidade I: Tanque Aspensor da Fábrica de Açúcar	116
Figura 5.4 – Unidade I: Perfil Hidráulico - Circuito Fechado das Águas de Resfriamento da Fábrica de Açúcar.....	118
Figura 5.5 - Unidade II: Captação de Água no Ribeirão Pau D’Alho.....	122
Figura 5.6 – Unidade II: Esquema de Captação e Lançamento - Ribeirão Pau D’Alho	123
Figura 5.7 - Unidade II: Circuito de Água - Limpeza da Cana	125
Figura 5.8 - Unidade II: Efluente dos Condensadores	127
Figura 5.9 - Unidade I: Pontos de Amostragem.....	144
Figura 5.10 - Unidade II: Pontos de Amostragem.....	145

LISTA DE QUADROS

	página
Quadro 3.1 - Reúso da Água: Política Nacional de Recursos Hídricos	47
Quadro 3.2 - Características Gerais da UGRHI 10	50

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 3.1 - Distribuição do Consumo de Água por Atividade no Brasil.....	35
Tabela 3.2 - Oferta Hídrica Natural Estimada na UGRHI 10.....	53
Tabela 3.3 - UGRHI-10: Disponibilidade Hídrica e Demandas.....	55
Tabela 3.4 - UGRHI 10: Coeficientes Ponderadores - Captação, Extração e Derivação.....	59
Tabela 3.5 - UGRHI 10: Coeficientes Ponderadores - Consumo.....	60
Tabela 3.6 - UGRHI – 10: Coeficientes Ponderadores - Diluição, Transporte e Assimilação de Efluentes (carga lançada).....	60
Tabela 3.7 - Produção de Açúcar e Etanol no Estado de São Paulo, Região Centro-Sul e Brasil: Safra 2008/2009.....	62
Tabela 3.8 - Produção e Uso de Condensados da Fábrica de Açúcar.....	83
Tabela 3.9 - Usos Médios da Água: Unidades Produtoras de Açúcar e Etanol.....	85
Tabela 3.10 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}) e Temperatura dos Efluentes Líquidos de Indústrias Sucroalcooleiras.....	96
Tabela 3.11 - Produção de Açúcar e Etanol: Resumo das Características dos Efluentes.....	97
Tabela 5.1 - Produção de Açúcar e Etanol nas Unidades em Estudo.....	110
Tabela 5.2 - Origem e Destino das Águas nas Unidades Produtivas Estudadas.....	113
Tabela 5.3 - Unidade I: Vazões de Água na Fabrica de Açúcar.....	117
Tabela 5.4 – Unidade I: Perdas e Ganhos de Água nos Tanques Aspersores.....	117
Tabela 5.5 – Unidade I: Vazões de Água dos Circuitos e Reposição informadas pela empresa.....	129
Tabela 5.6 – Unidade II: Vazões de Água dos Circuitos e Reposição informadas pela empresa.....	130
Tabela 5.7 – Vazões Medidas.....	132
Tabela 5.8 - Unidade I: Produção informada pela empresa.....	135
Tabela 5.9 - Unidade I: Usos Específicos da Água Estimados.....	136
Tabela 5.10 - Unidade II: Produção informada pela empresa.....	138

Tabela 5.11 - Unidade II: Usos Específicos da Água Estimados	139
Tabela 5.12 – Usos Médios da Água, com base nas vazões informadas pelas empresas.....	142
Tabela 5.13 - Dados Qualitativos: Limpeza/Lavagem da Cana	147
Tabela 5.14 - Dados Qualitativos: Unidade I – Colunas Barométricas/Multijatos (Circuito Aberto).....	149
Tabela 5.15 - Dados Qualitativos: Colunas Barométricas/Multijatos (Circuito Fechado).....	150
Tabela 5.16 - Dados Qualitativos: Unidade I – Fábrica de Etanol	151
Tabela 5.17 - Dados Qualitativos: Unidade II – Fábrica de Etanol.....	153
Tabela 5.18 - Dados Qualitativos: Unidade II - Flegmaça	154
Tabela 5.19 - Dados Qualitativos: Efluentes dos Lavadores de Gases das Caldeiras	155
Tabela 5.20 - Unidade I: Vazões de Captação adotadas nas Simulações (período de safra)	158
Tabela 5.21 - Unidade I: Vazões de Lançamento adotadas nas Simulações (período de safra)..	159
Tabela 5.22 - Unidade I: Vazões Adotadas nas Simulações	160
Tabela 5.23 - Unidade II: Vazões de Captação adotadas nas Simulações (período de safra)	162
Tabela 5.24 - Unidade II: Vazões de Lançamento adotadas nas Simulações (período de safra)	163
Tabela 5.25 - Unidade II: Vazões Adotadas nas Simulações	164
Tabela 5.26 - Unidade I: Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água	166
Tabela 5.27 - Unidade II: Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água	167

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

abr.	abril
AD	Área de drenagem
ANA	Agência Nacional de Águas
Carga _{lanç}	carga poluidora lançada no corpo hídrico
CBH-SMT	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê
CERISO	Consórcio de Estudos, Recuperação e Desenvolvimento da Bacia do Rio Sorocaba
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
cm	centímetro, unidade de medida
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias, a 20°C
dez.	dezembro
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FUNCAMP	Fundação de Desenvolvimento da Unicamp

°C	graus centígrados, medida de temperatura
°GL	graus Gay Lussac, fração em volume (%)
h	hora, unidade de tempo
OG	Óleos e Graxas
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
jun.	junho
kg	quilograma, múltiplo de unidade de massa
kW	quilo watt, múltiplo de unidade de potencia
km ²	quilometro quadrado, múltiplo de unidade de área
L	litro, unidade de medida volumétrica
mai.	maio
mar.	março
µS	micro siemens, unidade de medida de condutividade elétrica
mg/L	miligramas por litro
m ³	metros cúbicos, unidade de medida volumétrica
nov.	novembro
ONU	Organização das Nações Unidas
out.	outubro
α	proporcional
pH	potencial hidrogeniônico
P _{cap}	Preço da Captação
P _{cons}	Preço do Consumo
P _{lanç}	Preço do Lançamento
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PP	Precipitação Pluviométrica
ppm	partes por milhão
PR	Percentual de Remoção de Carga Orgânica (DBO _{5,20})

PUB	Preço Unitário Básico
PUF	Preço Unitário Final
%	unidade de percentagem
Q _M	vazão média plurianual de longo período
Q _{7,10}	vazão de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos
Q _{reg}	vazão regularizada
RS	Resíduo Sedimentável
R\$	símbolo do Real, moeda monetária do Brasil
s	segundo, unidade de tempo
set.	setembro
SAA	Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgotos
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMA	Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
T	Temperatura
t	tonelada, unidade de peso
tv	tonelada de vapor
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
ÚNICA	União da Indústria de Cana de Açúcar
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
Vol. _{cap}	volume de captação, derivação ou extração
Vol. _{cons}	volume de consumo
VR	Valor de Referência

SUMÁRIO

	página
1	INTRODUÇÃO 27
2	OBJETIVOS 31
2.1	Geral 31
2.2	Específicos 31
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33
3.1	Água 33
3.2	Reúso da Água 36
3.2.1	Conceitos 36
3.2.2	Limitações 39
3.3	Legislação Aplicável aos Recursos Hídricos 41
3.3.1	Esfera Federal 41
3.3.2	Esfera Estadual 45
3.3.3	Reúso da Água - Implicações Jurídicas 46
3.4	A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba 48
3.4.1	Caracterização Geral..... 48
3.4.2	Disponibilidade Hídrica na UGRHI 10 51
3.4.2.1	Águas subterrâneas 52
3.4.2.2	Águas superficiais 52
3.4.3	Qualidade da Água na UGRHI-10 56
3.4.4	A Cobrança pelo Uso da Água na UGRHI 10..... 57
3.5	A Indústria Sucroalcooleira no Estado de São Paulo 60

3.6	Etapas do Processo Produtivo do Açúcar e Etanol	63
3.6.1	Recepção, preparo da cana e extração do caldo	63
3.6.1.1	Recepção da cana de açúcar	63
3.6.1.2	Preparo da cana.....	64
3.6.1.3	Extração do caldo da cana	66
3.6.2	Fabricação do Açúcar	67
3.6.2.1	Tratamento do Caldo	67
3.6.2.2	Concentração do caldo.....	70
3.6.2.3	Cozimento e cristalização.....	72
3.6.2.4	Centrifugação.....	73
3.6.2.5	Secagem e acondicionamento de açúcar	74
3.6.3	Fabricação do Etanol	74
3.6.3.1	Tratamento do caldo	76
3.6.3.2	Regeneração do caldo.....	76
3.6.3.3	Preparo do mosto	76
3.6.3.4	Fermentação.....	77
3.6.3.5	Destilação	78
3.6.4	Geração de Energia.....	79
3.7	A Água na Indústria Sucroalcooleira	81
3.7.1	Uso de Condensados.....	82
3.7.2	Usos da Água.....	84
3.7.3	Principais Efluentes da Indústria Sucroalcooleira e Tecnologias de Tratamento	92
4	METODOLOGIA	99
4.1	Levantamento de Dados nas Unidades Produtivas em Estudo	99
4.2	Medição de Vazão	100
4.3	Caracterização Qualitativa	104
4.4	Simulação dos Preços cobrados pelo Uso da Água	106
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
5.1	Unidades Industriais Objeto de Estudo	109
5.2	Os Processos Produtivos e Usos das Águas	111

5.2.1	Unidade I	112
5.2.2	Unidade II.....	121
5.3	Vazões	128
5.3.1	Vazões Informadas pelas Empresas	128
5.3.2	Vazões Medidas.....	131
5.3.3	Usos Específicos da Água	134
5.3.3.1	Unidade I	134
5.3.3.2	Unidade Industrial II.....	137
5.4	Utilização de Recursos Hídricos.....	140
5.5	Caracterização Qualitativa	143
5.5.1	Limpeza da Cana	146
5.5.2	Fabricação de Açúcar	148
5.5.3	Fabricação de Etanol	151
5.5.4	Geração de Energia.....	155
5.6	Cobrança pelo Uso da Água	156
5.6.1	Vazões adotadas no Cálculo da Cobrança pelo Uso da Água	157
5.6.1.1	Unidade I	158
5.6.1.2	Unidade II.....	161
5.6.2	Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água.....	164
5.6.2.1	Unidade I	165
5.6.2.2	Unidade II.....	167
6	CONCLUSÕES.....	169
7	RECOMENDAÇÕES.....	173
7.1	Recomendações para Trabalhos Futuros	173
7.2	Recomendações às Unidades Produtivas Estudadas	173
8	REFERÊNCIAS	175

1 INTRODUÇÃO

“A história do homem na Terra tem sido uma grande aventura interativa. Não somente do ser humano com seu semelhante, mas principalmente do ser humano com a Natureza.” (CAMARGO, 2003, p.17).

Em geral, essa “aventura interativa” tem como marca principal o desequilíbrio, ou alteração do equilíbrio dinâmico dos ecossistemas, resultando num processo crescente de degradação ambiental que se acelerou a partir da Revolução Industrial. Se por um lado a descoberta e o domínio de novas fontes primárias de energia (e dos seus respectivos ciclos de transformação, transporte e distribuição) criam as bases para um rápido desenvolvimento tecnológico e crescimento populacional, por outro lado, a demanda por recursos naturais e a capacidade humana de alteração do ambiente crescem de forma mais do que proporcional (RIBEIRO; VILELA JUNIOR, 2007).

Até a primeira metade do século passado, a percepção desse processo e de suas consequências se deu de forma pontual e restrita. Essa condição começa a se alterar a partir da década de 60, com a intensificação dos problemas ambientais, e a ocorrência de acidentes ambientais de grande escala e repercussão internacional, associados a uma crescente possibilidade de comunicação em tempo real e escala global.

Nesse processo de “tomada de consciência” e mobilização para as questões ambientais, três eventos, patrocinados pela Organização das Nações Unidas - ONU se configuram como importantes (mas não únicas) referências na busca por alternativas para a superação da crise ambiental: a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, a publicação do relatório Nosso

Futuro Comum em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD¹ e, posteriormente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD, realizada em 1992, no Rio de Janeiro.

No primeiro deles, a questão ambiental é formalmente inserida na pauta da ONU e das negociações internacionais, e tornam-se explícitas as diferenças de posição entre países desenvolvidos e países subdesenvolvidos. O conceito de “desenvolvimento sustentável” foi formalizado no relatório Nosso Futuro Comum² e referendado na CNUMAD.

Independentemente da interpretação ou da apropriação da ideia de desenvolvimento sustentável ou, mais recentemente, da ideia de sustentabilidade, há consenso em relação ao fato de que hoje se enfrentam desafios socioambientais bastante concretos e significativos e que se faz necessário gerar respostas compatíveis sob pena de se comprometer, se não inviabilizar, o futuro da humanidade no planeta.

O uso da água, demandada para o desenvolvimento das diferentes atividades que garantem a produtividade econômica e o bem estar social, acarretou num consumo cada vez maior desse recurso como se fosse abundante e infinito. No entanto, as águas doces representam apenas 2,53% desse recurso, sendo que cerca de dois terços desse total encontra-se em geleiras e coberturas permanentes de neve (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Considerando que a água é um bem finito e vulnerável, fica patente o risco de escassez, notadamente nos grandes conglomerados urbanos, tornando necessário o desenvolvimento de estratégias para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos.

¹ A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD foi criada pela ONU com o objetivo ou missão de propor uma agenda global para a mudança. Presidida pela ex-primeira ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland, razão pela qual ficou conhecida também como Comissão Brundtland, essa comissão foi a responsável pela elaboração e publicação do livro Nosso Futuro Comum (1987), que formalizou o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”.

² De acordo com o relatório Nosso Futuro Comum: “A humanidade é capaz de tornar o desenvolvimento sustentável – de garantir que ele atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atenderem também às suas.” (CMMAD, 1991, p. 9)

Nesse contexto, o uso racional da água deve ser estimulado. A prática de reúso ou reutilização é uma das formas de minimização da captação e consumo de água, favorecendo o aumento da oferta e contribuindo para a sustentabilidade.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), vem ao encontro dessa necessidade através da instituição dos princípios do usuário-pagador e do poluidor-pagador, trazendo incentivo ao reúso da água, na medida em que, além de favorecer o desenvolvimento de tecnologias que permitam menor descarte final de efluentes, incentivará uma captação cada vez menor e, conseqüentemente, o reaproveitamento dos efluentes no processo produtivo interno ou para reúso por terceiros. No Estado de São Paulo a cobrança pelo uso da água foi estabelecida pela Lei nº. 12.183, de 29 de dezembro de 2005 (SÃO PAULO, 2005).

Historicamente a indústria sucroalcooleira se caracterizou pelo uso intensivo de água. Segundo Elia Neto e Shintaku (2009a) nas usinas de açúcar com destilaria anexa a necessidade de água tem um valor médio da ordem de 22 m³/t cana total. Esse valor é mais elevado nas usinas que produzem apenas açúcar (praticamente inexistente na atualidade), da ordem de 30 m³/t cana total. Já destilarias autônomas de produção de etanol têm menor necessidade de água para seu processo industrial, cerca de 15 m³/t de cana processada.

Considerando que no Estado de São Paulo a quantidade de cana processada na safra de 2008/2009 foi de 346.292.969 toneladas (UNICA, 2009a) seria requerido um volume médio de 7,6 bilhões m³/ano de água no processo de produção de açúcar e etanol, observando-se que o Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007 (SÃO PAULO, 2006a) aponta uma produção hídrica superficial no Estado de 845 bilhões m³/ano, em termos de Q_{7,10}, para atendimento a todas as necessidades humanas e a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. Nesse contexto cabe observar que algumas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI já apresentam níveis críticos com relação às suas disponibilidades hídricas superficiais.

No entanto, o uso médio estimado de 22 m³/t cana não reflete os volumes de água realmente captados ou consumidos, uma vez que o setor vem adotando práticas de gestão ambiental e de recursos hídricos, com ênfase ao reúso da água.

Essa prática é difundida nas etapas da produção que necessitam de volumes expressivos de água, a exemplo da lavagem de cana, concentração do caldo na produção do açúcar (que utiliza os condensadores barométricos/multijatos), e resfriamento de dornas e condensadores na produção de etanol. No entanto, nas unidades onde a disponibilidade hídrica não é limitante, pode-se observar que a prática do reúso ocorre em menor escala.

No presente trabalho propôs-se avaliar os usos da água em duas unidades produtivas de açúcar e etanol situadas na UGRHI 10 (Tietê/Sorocaba), identificando as etapas do processo onde a prática do reúso de água já é uma realidade, assim como novas oportunidades para sua adoção no processo produtivo.

A avaliação proposta permitirá comparar as posturas dessas unidades de produção quanto aos usos da água, considerando que as mesmas situam-se em sub-bacias hidrográficas com diferentes disponibilidades hídricas, além de estimar os valores a serem pagos em face da cobrança pelo uso de recursos hídricos, com e sem a adoção da prática de reúso da água.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste estudo foi identificar os usos da água e a prática do reúso em duas unidades de produção de açúcar e etanol, localizadas na UGRHI-10, distintas quanto à disponibilidade hídrica nas sub-bacias onde se encontram instaladas.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos estabelecidos foram:

- a) realizar a caracterização qualitativa e quantitativa das águas e efluentes envolvidos na produção de açúcar e etanol:
 - ✓ avaliar as quantidades de água requeridas na produção de açúcar e etanol,
 - ✓ avaliar a qualidade das águas captadas,
 - ✓ identificar as fontes de geração de efluentes líquidos e realizar sua caracterização qualitativa e quantitativa;
- b) caracterizar o reúso de água no processo industrial:
 - ✓ identificar as etapas do processo industrial onde é praticado o reúso da água e as tecnologias de tratamento empregadas,
 - ✓ avaliar a economia de água resultante da prática do reúso; e,

- c) avaliar os valores da cobrança pelo uso da água:
- ✓ aplicar os dispositivos legais relativos à cobrança pelo uso da água,
 - ✓ realizar o estudo comparativo entre os valores pagos, com e sem a adoção da prática do reúso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado um levantamento bibliográfico envolvendo os aspectos relacionados ao presente estudo, com ênfase ao reúso da água, à legislação aplicável aos recursos hídricos, à caracterização da UGRHI-10 e a instituição da cobrança pelo uso da água nessa Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, bem como às etapas do processo produtivo de açúcar e etanol e aos usos da água na indústria sucroalcooleira.

3.1 Água

A água tem sido tema de interesse mundial, não só devido ao papel vital que exerce para a manutenção da vida no planeta, como também pela constatação da crescente escassez para suprir as diferentes demandas.

Além de participar dos processos ecológicos essenciais (fotossíntese, quimiossíntese e respiração) funciona como habitat e nicho ecológico de diversos organismos e espécies. Sua mobilidade, poder de solubilidade, variação de densidade e característica de regulador térmico são atributos que respondem por sua extraordinária função ecológica. Permanece líquida dentro da amplitude de temperatura que mais convém aos processos vitais (SILVA et al., 2003).

É um recurso natural, renovável através dos processos físicos do ciclo hidrológico, fato que levou à idéia de que esse recurso seria inesgotável. O que se verifica, no entanto, é que a distribuição da água não é uniforme e depende das condições climáticas de cada região, variando

no tempo e no espaço. Sua disponibilidade pode ainda ser afetada pela utilização nas diversas atividades humanas, podendo gerar escassez e poluição.

Em face da consciência de sua escassez como fonte de manutenção da vida, seja nas atividades produtivas, agropastoris e até mesmo para o abastecimento público das populações, alguns países têm tratado seus recursos hídricos como se não fossem renováveis. Tal fato tem levado à institucionalização e sistematização de políticas para sua utilização e descarte, o que se verifica também no Brasil (FINK; SANTOS, 2003).

A reutilização da água é um fenômeno que ocorre através do ciclo hidrológico. No entanto, a recuperação da água não é mais só uma manifestação do processo cíclico que experimentam os recursos naturais do planeta. Junto a essa forma de reutilização da água, denominada incidental ou fortuita, tem surgido durante as últimas décadas um enorme interesse pela reutilização planejada da água, que tem alcançado grande desenvolvimento não só em países com escassez tradicional de recursos hídricos, como também em países com grande disponibilidade hídrica e com elevado nível de vida (ROJAS, 2004).

A escassez da água no planeta se tornou uma preocupação constante de ambientalistas e pesquisadores do mundo todo. Nesse sentido a busca de mecanismos para seu uso racional é objeto de inúmeras pesquisas e aplicações nos diversos setores que a utilizam.

No âmbito do abastecimento ocorre um esforço das empresas de saneamento para reduzir perdas no sistema, através de medidas estruturais, melhoria das técnicas operacionais ou de mecanismos de conscientização da população sobre a necessidade de conter desperdícios. O Ministério das Cidades (BRASIL, 2011a) desenvolve ações nesse sentido, a exemplo do Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS, e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA.

Na agricultura, principal consumidor de água no Brasil, muito se discute sobre a necessidade de aplicação de técnicas de irrigação que minimizem o uso desse recurso. A indústria contribui de forma efetiva nesse processo através da adoção de técnicas que resultam na economia de água.

A Agência Nacional das Águas – ANA (2002), apud Mierzwa e Hespanhol (2005), efetuou estudos acerca da demanda de água por atividade no Brasil, concluindo que o setor agrícola é o responsável pelo maior consumo, seguido pelo consumo humano, uso industrial e consumo animal (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Distribuição do Consumo de Água por Atividade no Brasil

USO	Irrigação	Consumo Humano	Uso Industrial	Consumo Animal
Consumo	62,7%	17,9%	14,0%	5,4%

Fonte: ANA (2002) apud Mierzwa e Hespanhol (2005)

Do Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004-2007 (SÃO PAULO, 2006a) consta a projeção para 2007 da demanda global de água no Estado de São Paulo, onde se verifica que a irrigação é responsável por 39,2% dessa demanda, seguida pelo setor industrial (30,5%) e urbano (30,3%).

O Censo Demográfico 2010, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2011b), apontou que 84,4% da população brasileira concentram-se atualmente em áreas urbanas, notadamente nas 35 regiões metropolitanas, exercendo pressão significativa sobre os recursos hídricos disponíveis, podendo-se identificar áreas onde a escassez de água já é uma realidade.

Fazem-se necessários investimentos em desenvolvimento tecnológico e na busca de soluções alternativas para ampliar a oferta de água, como por exemplo, a utilização de água de reúso, bem como ações para a eficiente gestão da demanda, reduzindo índices de perdas e desperdícios (ANA; FIESP; SINDUSCON SP, 2005).

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), a prática de reúso é uma das componentes do gerenciamento de águas e efluentes e da preservação dos recursos naturais, mas deve estar vinculada a outras medidas de racionalização do uso da água e demais recursos.

3.2 Reúso da Água

Neste item são apontados os conceitos de reúso da água e suas limitações.

3.2.1 Conceitos

Ainda que a idéia inicial de reúso da água seja relativamente simples, ou seja, o aproveitamento de uma água que já foi anteriormente utilizada, não há uma terminologia hegemônica ou consagrada a respeito. Lavrador Filho (1987), apud Brega Filho e Mancuso (2003, p. 25), após a análise de alguns dos principais autores que tratam do assunto, apresentou o seguinte conceito como uma tentativa de uniformização terminológica:

Reúso da água: é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto e indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

A partir de definições básicas similares a essas, diferentes tipos ou categorias de reúso são apresentados e trabalhados, considerando, de forma geral, os seguintes critérios: intencionalidade (reúso planejado ou não planejado), ordem (reúso direto ou indireto) e objetivo (potável ou não potável).

Os critérios de intencionalidade e ordem surgem nas definições apresentadas por Lavrador Filho (1987), apud Brega Filho e Mancuso (2003), conforme segue:

- ✓ reúso indireto não planejado de água: a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é lançada no meio ambiente e utilizada a jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;
- ✓ reúso planejado de água: após o ponto de descarga, o efluente é usado de forma

direta ou indireta, como resultado de uma ação humana consciente. Pressupõe a existência de tratamento dos efluentes, de forma a atender aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. Pode ser denominado “reúso intencional da água”;

- ✓ reúso indireto planejado de água: os efluentes, depois de adequadamente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico;
- ✓ reúso direto planejado de água: os efluentes, após tratamento, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, sem que sejam, em momento algum, descarregados no meio ambiente; e,
- ✓ reciclagem de água: é o reúso interno da água, antes da sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular de reúso direto.

O reúso planejado ou intencional de acordo com a terminologia sugerida pressupõe a existência de sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. No entanto existem diversos exemplos de reúso direto intencional que não necessariamente incluem o tratamento de esgotos (FLORENCIO et al., 2006). De acordo com esses autores, Van der Hoek, em 2004, sugeriu que os esforços de uniformização de terminologia poderiam limitar-se a:

- ✓ reúso planejado ou não planejado (formal ou informal);
- ✓ uso direto de esgotos não tratados;
- ✓ uso direto de esgotos tratados; e,
- ✓ uso indireto de esgotos, tratados ou não.

Por reúso formal, Van der Hoek (2004), apud Florencio et al. (2006), sugere a referência a práticas com algum nível de permissão ou controle por parte das autoridades competentes, e o reúso informal à ausência desses mecanismos.

Asano e Levine (1998), apud Florencio et al. (2006) distinguem os termos reúso e reciclagem da água, referindo-se o segundo à situação de um único usuário que faz uso de um efluente retornando-o como fonte suplementar de abastecimento ao uso original. Diferentemente de Brega Filho e Mancuso (2003) que entendem a reciclagem como um caso particular de reúso direto.

A definição baseada no critério do objetivo do reúso é expressa por Westerhoff (1984), apud Brega Filho e Mancuso (2003), que classifica o reúso da água em duas grandes categorias: potável e não potável. Essa classificação foi também adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES (1992), e é consagrada na literatura internacional, tendo-se:

- ✓ reúso potável: direto, quando o esgoto tratado, por meio de tratamento avançado, é injetado numa adutora de água potável; e, indireto, o esgoto tratado quando lançado em corpo de água ou infiltrado no solo, reforça a disponibilidade das águas superficiais ou subterrâneas. Trata-se do reúso natural, onde fatores como a diluição e a reaeração, no caso de águas superficiais, promovem a purificação natural do recurso hídrico, viabilizando sua captação, tratamento e consumo como água potável; e,
- ✓ reúso não potável: para fins agrícolas, industriais, recreacionais ou públicos, domésticos, manutenção de vazões mínimas de cursos de água, aquicultura, e recarga de aquíferos subterrâneos.

Hespanhol (2003) aponta uma classificação arbitrária e auxiliar das modalidades de reúso, para fins industriais, conforme segue:

- ✓ reúso macro externo: pode ser efetuado por companhias municipais ou estaduais de saneamento que fornecem esgotos tratados como água de utilidade para um conjunto de indústrias. Os usos industriais que apresentam possibilidade de utilização são basicamente os seguintes: torres de resfriamento; caldeiras; lavagem de peças e equipamentos (principalmente nas indústrias mecânica e metalúrgica); irrigação de áreas verdes de instalações industriais; lavagem de pisos e veículos; e, processos industriais;
- ✓ reúso macro interno: as indústrias, face aos custos elevados da água industrial, têm

sido estimuladas a avaliar as possibilidades internas de reúso. Essa tendência tende a se ampliar ante a necessidade de outorga e à cobrança pela utilização de recursos hídricos, tanto na captação quanto no lançamento de efluentes;

- ✓ reúso interno específico: consiste em efetuar a reciclagem de efluentes de quaisquer processos industriais, nos próprios processos nos quais são gerados, ou em outros processos que se desenvolvem em sequência e que suportam qualidade compatível com o efluente em consideração.

Considerando os conceitos de reúso propostos por Lavrador Filho (1987), apud Brega Filho e Mancuso (2003), na indústria sucroalcooleira verifica-se o reúso planejado (que resulta de uma ação humana intencional), direto (quando os efluentes tratados ou não, são encaminhados diretamente para o ponto de uso ou armazenamento) e não potável, de acordo com os critérios de intencionalidade, ordem e objetivo, anteriormente apontados. Tomando por base a classificação proposta por Hespanhol (2003) verifica-se nesse setor industrial o reúso macro interno e o reúso interno específico.

3.2.2 Limitações

O planejamento e a implementação do reúso de efluentes tratados deve ser orientado pelo tratamento necessário e o grau de confiabilidade requerido pelo processo de tratamento e sua operação. Considerando a necessidade de um abastecimento contínuo, com uma qualidade de água adequada, a confiabilidade dos processos de tratamento existentes ou propostos, bem como sua operação, deve ser avaliada na fase de planejamento.

Os requisitos quanto à qualidade da água devem levar em conta a proteção ambiental e a mitigação dos riscos à saúde pública. Assim, a postura de realizar o reúso direto de esgotos tratados para fins potáveis tem sido cercada de cuidados em face às preocupações com a saúde e segurança, além de aspectos estéticos. É importante levar em consideração que embora os métodos analíticos de identificação de compostos químicos tenham avançado enormemente, só

uma pequena fração de contaminantes presentes nas águas superficiais e subterrâneas pode ser identificada, o que tem frustrado as tentativas de desenvolvimento de critérios aceitáveis para diferentes fontes de suprimento de água. Na avaliação do reúso da água para fins potáveis a comparação deve ser realizada com a água de melhor qualidade disponível localmente (TCHOBANOGLIOUS; BURTON, 1991).

Segundo esses autores, as potenciais limitações do reúso de esgotos tratados na irrigação de áreas agrícolas e de áreas públicas podem ser descritas como: poluição das águas superficiais e subterrâneas, se não gerenciado adequadamente; dificuldade de comercialização dos produtos cultivados, e de aceitação pública; alterações na qualidade da água, particularmente na quantidade de sais dissolvidos, que afeta o crescimento das plantas e provoca a salinização dos solos; preocupações com a saúde pública, associadas à presença de patógenos (bactérias, vírus e parasitas); e, o uso de áreas de controle, incluindo áreas tampão, que pode resultar em custos elevados para os proprietários.

Na indústria a prática do reúso pode ocorrer de duas maneiras distintas: reúso direto de efluentes ou reúso de efluentes tratados. No reúso direto pressupõe-se que o efluente possua características adequadas para utilização sem necessidade de prévio tratamento. Quando se reutiliza efluentes tratados deve-se levar em consideração que, à medida que participa dos processos industriais, a água incorpora substâncias e sofre alterações nas suas características, necessitando de tratamento para adequar-se às condições requeridas para reúso, podendo inviabilizar a adoção dessa prática, principalmente pela concentração de sais dissolvidos, responsável por problemas de incrustações e corrosão nas tubulações e equipamentos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

3.3 Legislação Aplicável aos Recursos Hídricos

A legislação relativa aos recursos hídricos na esfera federal e no Estado de São Paulo, bem como as implicações jurídicas do reuso da água encontram-se descritas nos itens 3.3.1 a 3.3.3.

3.3.1 Esfera Federal

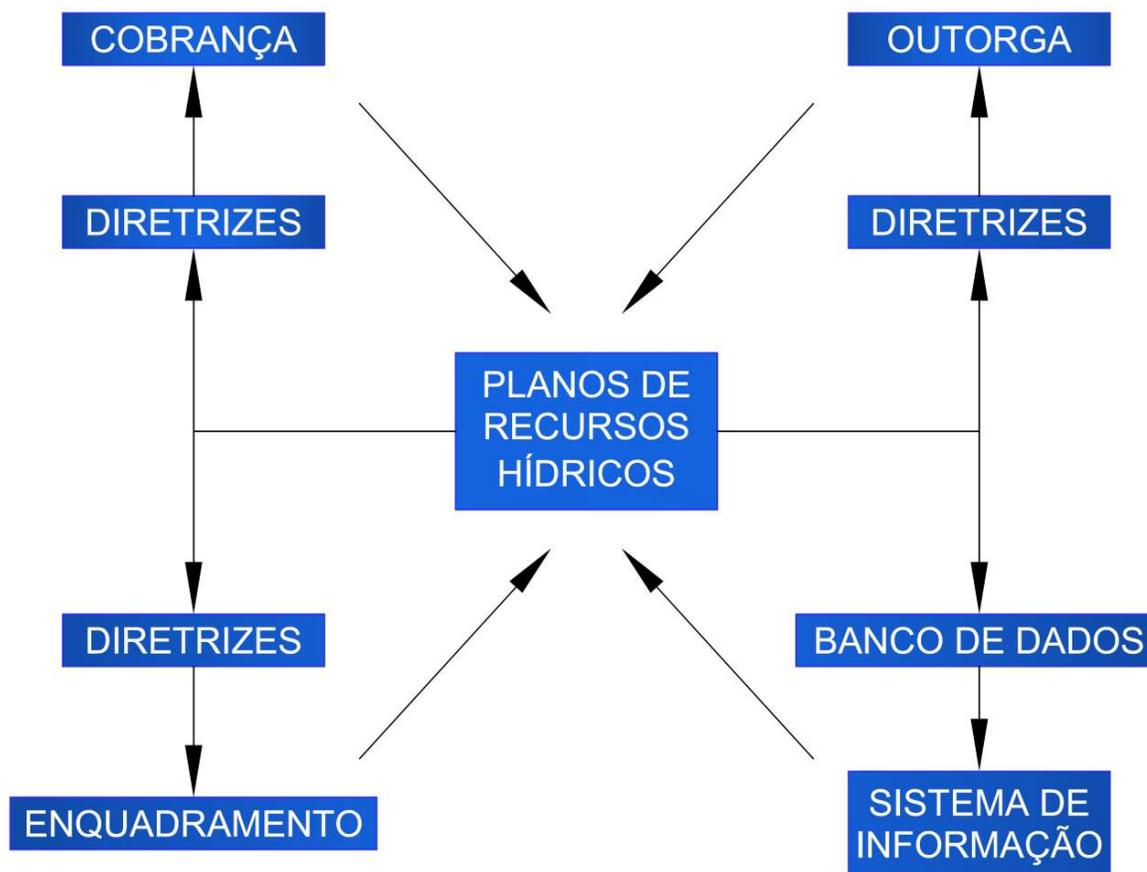
A Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988 (BRASIL, 1988), estabelece que compete à União instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos do seu uso (artigo 21, inciso XIX). A Lei n° 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1977), regulamentou o inciso XIX da Constituição Federal, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) baseia-se nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da política nacional de recursos hídricos e atuação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos; e, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Tem dentre seus objetivos os de assegurar à atual, e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte hidroviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1977).

Os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga do direito de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos são os instrumentos da PNRH. Na Figura 3.1 é mostrado como esses instrumentos se relacionam.

Figura 3.1 – Relação entre os Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos



Fonte: Silva [200?].

O plano é resultado de um processo de discussões e definições, ou seja, de um acordo social, representando o desejo da população, dos usuários e do poder público acerca do futuro das águas e do meio ambiente. Os planos de recursos hídricos devem ser elaborados por bacia, por estado e para o país (HENKES, 2003).

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, tem como norma disciplinadora a Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008 (BRASIL, 2008). De acordo com essa Resolução "*o enquadramento de corpos de água corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade a serem alcançados através de metas progressivas intermediárias e final da qualidade da água*" (BRASIL, 2008, p. 1). Ou seja, enquadrar um corpo de água não significa identificar sua classe atual, mas propor que o corpo adquira ou mantenha um nível de qualidade (classe) em determinado período, de acordo com os usos a que se destina.

As classes dos corpos de água foram estabelecidas na Resolução CONAMA n ° 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005a), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O terceiro instrumento em questão é a outorga do direito de uso da água, com o objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e garantir o direito de acesso à água, conforme dispõe o artigo 11, da PNRH. A outorga é um ato administrativo pelo qual a autoridade outorgante concede ao outorgado o direito de uso do recurso hídrico, por prazo determinado e de acordo com os termos e condições expressas no ato. Assim sendo, a outorga não representa alienação (venda) das águas, uma vez que são inalienáveis (HENKES, 2003).

De acordo com a Lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997) estão sujeitos à outorga a derivação e captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento de potenciais hidrelétricos; e, outros usos que alterem o regime, a quantidade e qualidade das águas existente em um corpo de água. Ou seja, estão sujeitos à outorga não somente os usos decorrentes da extração e derivação da água, mas também os decorrentes da utilização dos cursos e corpos de água como assimiladores de efluentes.

A cobrança pelo uso da água é definida como um preço público, ou seja, não é imposto ou taxa. A cobrança constitui-se como uma retribuição que o usuário faz à sociedade por utilizar privativamente um bem que é de uso comum (GRANZIEIRA, 2001, apud HENKES, 2003). Atualmente, são pagos os serviços de tratamento e captação da água e não pela utilização desse recurso natural.

Segundo o artigo 19, da PNRH (BRASIL, 1997), a cobrança objetiva reconhecer a água como um bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; e, obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Para a cobrança são imprescindíveis dois requisitos: a outorga e a utilização da água. Desse modo, todos os usos passíveis de outorga são, conseqüentemente, passíveis de cobrança e, os valores arrecadados devem ser aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica onde foram gerados, através do financiamento de estudos, programas e obras (HENKES, 2003).

Da leitura desses dispositivos legais depreende-se que todo e qualquer uso que altere a quantidade (uso da água) e/ou a qualidade da água (poluição dos recursos hídricos) deve ser objeto de cobrança, materializando os princípios do usuário-pagador e do poluidor-pagador, e deve induzir a uma racionalização no uso desse recurso, mantendo um equilíbrio entre as disponibilidades e demandas, bem como a proteção ambiental.

Tomando por base esses princípios, ao poluidor devem ser imputados os custos necessários ao combate à poluição, determinados pelo Poder Público para manter o ambiente em estado aceitável e promover a sua melhoria. Já o princípio do usuário-pagador, estabelece que a utilização dos recursos naturais deva estar sujeita à aplicação de instrumentos econômicos. A apropriação desses recursos deve assegurar para a coletividade o direito a uma compensação financeira (SILVA et al., 2003).

O último instrumento da PNRH, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, constitui-se em um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre os recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão (HENKES, 2003).

3.3.2 Esfera Estadual

No Estado de São Paulo a Lei nº 7.663, de 30 de novembro de 1991 (SÃO PAULO, 1991), estabelece normas para a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH. Tem como objetivo assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo território do Estado de São Paulo.

Os instrumentos dessa Política abrangem a exigência de outorga do direito de uso de recursos hídricos, as infrações às normas de utilização de recursos hídricos superficiais e subterrâneas e respectivas penalidades, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, e o rateio do custo das obras de uso múltiplo ou de interesse comum ou coletivo dos recursos hídricos.

Estabelece ainda que o Estado deva instituir, por lei, com atualizações periódicas, o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, tomando por base os planos de bacias hidrográficas, as normas relativas à proteção do meio ambiente, e as diretrizes do planejamento e gerenciamento ambientais.

Em conformidade com esse dispositivo legal foi instituída a Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994 (SÃO PAULO, 1994), que dispõe sobre o PERH a ser implantado no período 1994 e 1995. Estabelece a divisão do Estado de São Paulo em 22 (vinte e duas) Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI.

A cobrança pela utilização dos recursos hídricos no domínio do Estado de São Paulo é objeto da Lei nº 12.183, de 29 de dezembro de 2005 (SÃO PAULO, 2005), que dispõe ainda sobre os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores.

De acordo com essa Lei, os objetivos da cobrança são: reconhecer a água como bem público de valor econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar o uso racional e sustentável da água; obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e

intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos e saneamento, vedada sua transferência para custeio de quaisquer serviços de infraestrutura; distribuir o custo socioambiental pelo uso degradador e indiscriminado da água; utilizar a cobrança da água como instrumento de planejamento, gestão integrada descentralizada do uso da água e seus conflitos.

O Decreto nº 50.667, de 30 de março de 2006 (SÃO PAULO, 2006b), regulamenta dispositivos da Lei nº 12.183/2005, e estabelece que todos os usuários que utilizam águas superficiais e subterrâneas estão sujeitos à cobrança. Ficam isentos os usuários que se utilizam desse recurso para uso doméstico de propriedades ou pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, quando independer de outorga do direito de uso; e, os usuários com extração de água subterrânea em vazão inferior a cinco metros cúbicos por dia, que independem de outorga, conforme consta dos incisos I e II do artigo 5º do citado Decreto.

3.3.3 Reúso da Água - Implicações Jurídicas

A legislação disponível sobre recursos hídricos aborda essencialmente o uso primário da água não contendo dispositivos explícitos relativos ao reúso da água. No entanto, vários dispositivos apontam na direção do reúso como um processo importante para a racionalização do uso da água. O Quadro 3.1 contém os dispositivos da Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a PNRH, que apontam na direção do reúso.

Assim, quando se discute a falta de legislação para o reúso, não é propriamente para a utilização dessa tecnologia, pois se observa que as leis, tanto da Política Nacional do Meio Ambiente, como da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecem em seus princípios de execução, os mesmos princípios e filosofia do reúso da água. Depreende-se que tais diplomas legais abarcam e incentivam o reúso dos recursos hídricos, não havendo necessidade de formular uma lei específica para sua utilização (SILVA et al., 2003).

Segundo esses autores faz-se necessária a sua regulamentação a fim de traçar parâmetros para sua utilização, conforme seu uso, levando em conta as especificidades do local, com singular importância nas áreas de lançamento em cursos de água, saúde pública, proteção ao meio ambiente e a permissão de vários aspectos dessa atividade, sempre com o objetivo de uma gestão sustentável e segura da água.

Quadro 3.1 - Reúso da Água: Política Nacional de Recursos Hídricos

Dispositivos da Lei 9.433/1997	Reúso
Art. 1 (Fundamentos) <i>“II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”</i>	A escassez e o valor econômico induzem a prática da reutilização
Art. 1 (Fundamentos) <i>“IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”</i>	Efluentes ou águas de segunda qualidade são partes integrantes dos recursos hídricos nacionais e poderão ser utilizados de forma benéfica para usos múltiplos
Art. 2 (Objetivos) <i>“I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”</i>	Os usos menos exigentes podem ser atendidos com água de qualidade inferior e a prática do reúso proporciona aumento na disponibilidade de água
Art. 7 (Plano de Recursos Hídricos – Conteúdo) <i>“IV - metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis”</i>	A prática do reúso possibilita o aumento da oferta hídrica, substituição de fontes, melhora da qualidade, e abatimento de poluição
Art. 19 (Objetivos da Cobrança do Uso dos Recursos Hídricos) <i>“II - incentivar a racionalização do uso da água”</i>	O mecanismo de cobrança induz a prática de reutilização e de conservação da água
Art. 32 (Objetivos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) <i>“IV – planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos”</i>	A prática do reúso promove e reforça todos esses procedimentos

Fonte: Lopes (2006)

Nesse sentido, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH que é o órgão superior do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, com a competência de formular políticas para a gestão integrada dos recursos hídricos em conformidade com a Lei

9.433/1997 (BRASIL, 1997) e, em última instância, dirimir dúvidas sobre a sua implementação instituiu a Resolução CNRH n° 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005b).

Essa Resolução estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. No entanto, esse dispositivo remete para regulamentação complementar pelos órgãos competentes as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as diversas modalidades de reúso: para fins urbanos; agrícolas e florestais; ambientais; industriais; e, na aquicultura.

3.4 A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba

Neste item são apresentadas as principais características da UGRHI 10, bem como os critérios adotados no âmbito dessa Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos para a cobrança pelo uso da água.

3.4.1 Caracterização Geral

O Estado de São Paulo foi dividido em 22 (vinte e duas) Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de acordo com a Lei n° 9.034/1994 (SÃO PAULO, 1994). A UGRHI 10, Tietê/Sorocaba, usualmente denominada Sorocaba/Médio Tietê, localiza-se na região centro-sudeste do Estado de São Paulo e envolve 34 municípios com sede em sua área de drenagem.

É constituída pela bacia do rio Sorocaba, e pelo rio Tietê e seus tributários, tanto pela margem esquerda como pela margem direita, no trecho compreendido desde a barragem do reservatório de Rasgão, a montante, até a barragem do reservatório de Barra Bonita, a jusante, com exceção das bacias dos rios Jundiá, Capivari e Piracicaba (tributários da margem direita) que se inserem na UGRHI 05. Na Figura 3.2 mostra-se a localização da UGRHI 10 no Estado de São Paulo e seus limites.

Figura 3.2 - Localização da UGRHI-10 no Estado de São Paulo e seus limites



Fonte: IPT, 2008

Analisando a Figura 3.2 observa-se que a UGRHI 10 – Tietê/Sorocaba limita-se com a UGRHI 06 - Alto Tietê, UGRHI 13 - Tietê/Jacaré, UGRHI 05 - Piracicaba, Capivari e Jundiaí, e UGRHI 14 - Alto Paranapanema. Também tem interface com a UGRHI 17 - Médio Paranapanema, bem como com a UGRHI 11 - Ribeira de Iguape e Litoral Sul. As características gerais da UGRHI 10 são resumidas no Quadro 3.2.

A UGRHI 10 foi dividida em 06 (seis) sub-bacias sendo três delas compostas por cursos de água que drenam para o rio Tietê, e três outras sub-bacias que compõem a bacia do rio Sorocaba, assim denominadas: Médio Tietê Inferior (SB1), Médio Tietê Médio (SB2), Baixo Sorocaba (SB3), Médio Sorocaba (SB4), Médio Tietê Superior (SB5) e Alto Sorocaba (SB6). A Figura 3.3 ilustra essa divisão.

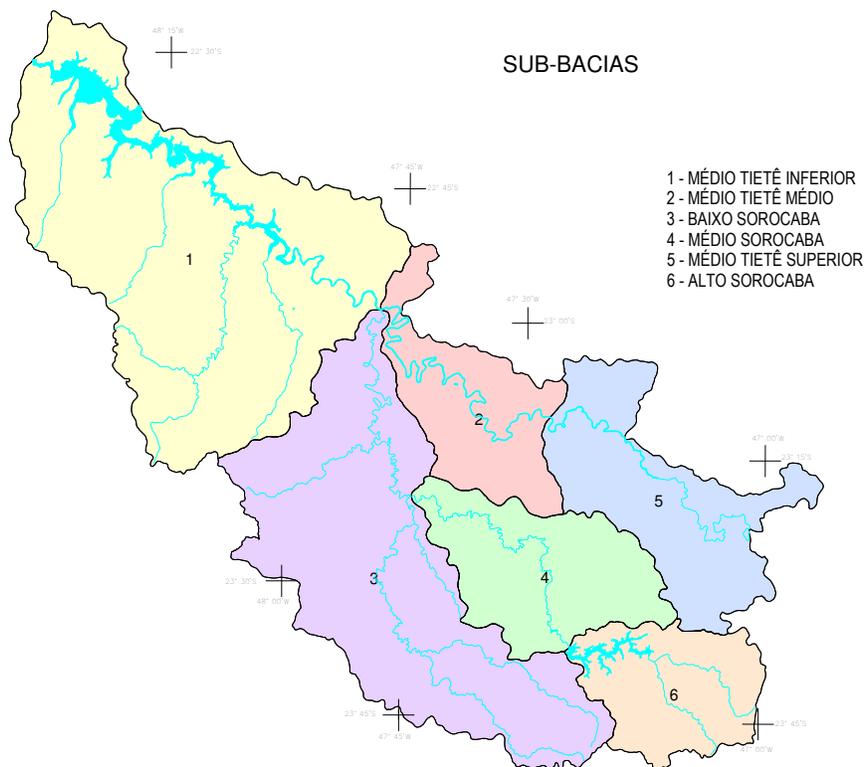
Quadro 3.2 - Características Gerais da UGRHI 10

Área	11.827,824 km ² (IPT, 2008)	
Municípios com sede na UGRHI 10 (34)³	Alambari, Alumínio, Anhembi, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Bofete, Boituva, Botucatu, Cabreúva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Conchas, Ibiúna, Iperó, Itu, Jumirim, Laranjal Paulista, Mairinque, Pereiras, Piedade, Porangaba, Porto Feliz, Quadra, Salto, Salto de Pirapora, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Tietê, Torre de Pedra, Vargem Grande Paulista e Votorantim (IPT, 2008).	
Municípios com parte do território na UGRHI 10 (20)	Barra Bonita, Cajamar, Cotia, Dois Córregos, Elias Fausto, Guareí, Igarçu do Tietê, Indaiatuba, Itapetininga, Itapevi, Jundiá, Mineiros do Tietê, Pilar do Sul, Piracicaba, Pirapora do Bom Jesus, Rafard, Rio das Pedras, Saltinho, Santana do Parnaíba e São Manuel (IPT, 2008).	
População	1.118.798 (obtida a partir de BRASIL,2010).	
Disponibilidade Hídrica	Vazão média plurianual de longo período - Q_M (IPT, 2008).	97,84 m ³ /s
	Vazão mínima - $Q_{7,10}$ (IPT, 2008).	20,49 m ³ /s
Principais Rios e Reservatórios	Rios Tietê, Sorocaba, Sorocabuçu, Sorocamirim, Pirajibu, Jundiuvira, Murundu, Sarapuí, Tatuí, Guarapó, Macacos, Rib. do Peixe, Alambari, Capivara. Represa Ituparanga e Represa de Barra Bonita (IPT, 2008)	
Principais Atividades Econômicas	Predomina a atividade industrial, com destaque para os ramos da indústria alimentícia, metalúrgica e extrativista. Na agricultura o cultivo da braquiária, cana de açúcar, milho e hortaliças são os mais significativos. Registra-se uma forte urbanização com elevado número de loteamentos (CETESB, 2009)	
Vegetação Remanescente e Unidades de Conservação	Remanescentes florestais da Floresta Estacional Semidecídua e Cerrado extremamente fragmentados cobrem 15,0% do total dessa UGRHI, onde estão localizadas uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, onze Unidades de Uso Sustentável, além de cinco áreas especialmente protegidas. Dez municípios recebem compensação financeira - ICMS Ecológico (CETESB, 2009).	

Fonte: IPT, 2008; BRASIL, 2010; CETESB, 2009.

³ Salto tem sede na UGRHI 10, mas os dados relativos aos recursos hídricos vêm sendo apresentados pela UGRHI 5, uma vez que integra essas duas Unidades de Gerenciamento.

Figura 3.3 - Sub Bacias: UGRHI 10



Fonte: IPT, 2008

3.4.2 Disponibilidade Hídrica na UGRHI 10

De acordo com o PERH 2004-2007 (SÃO PAULO, 2006a) o conceito básico do gerenciamento integrado de uma bacia hidrográfica já não é de escolha entre águas superficiais e subterrâneas para atendimento das diferentes demandas, mas de articulação dos mananciais disponíveis para garantir a regularidade da oferta, sua qualidade e ao menor custo possível. Apresenta-se neste item a disponibilidade hídrica das águas subterrâneas e superficiais na UGRHI-10.

3.4.2.1 Águas subterrâneas

A ocorrência das águas subterrâneas na área da UGRHI 10 é condicionada pela presença de 06 unidades geológicas: Bauru, Serra Geral, Guarani, Tubarão, Fraturado e Passa Dois (IPT, 2006).

De acordo com o IPT (2008), a disponibilidade total de água subterrânea da Bacia do Sorocaba/Médio Tietê é da ordem de 8,60 m³/s, que corresponde à soma de todas as parcelas de contribuição de aquíferos livres (8,05 m³/s) e confinados (0,55 m³/s). Segundo esse autor nas discussões ocorridas no bojo da elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007 ficou estabelecido que as ofertas hídricas subterrâneas somente seriam computadas no que diz respeito às parcelas de contribuição de aquíferos confinados, tendo-se assim que a oferta de água subterrânea na UGRHI 10 seria de 0,55 m³/s, disponível na sub-bacia do Médio Tietê Inferior (SB1).

3.4.2.2 Águas superficiais

Considerando as dificuldades para obtenção de informações a partir de medições diretas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (1988), apud IPT (2008), desenvolveu estudos objetivando permitir a avaliação da disponibilidade hídrica em qualquer curso de água do território paulista, por meio da regionalização de parâmetros hidrológicos.

A regionalização hidrológica, ou a regionalização de vazões, pode ser entendida como o conjunto de procedimentos e métodos estatísticos que visam a explorar ao máximo os dados existentes numa região, permitindo a estimativa da vazão num local com ausência ou insuficiência de dados. Assim, o método desenvolvido pelo DAEE permite obter: vazão média de longo período; vazão mínima anual média para os intervalos de 1 a 6 meses consecutivos, associada à probabilidade de ocorrência; curva de permanência de vazões médias mensais;

volume de armazenamento intra-anual, necessário para atender uma demanda associada a um risco conhecido, até o limite de 6 meses de estiagem; e, vazão mínima anual média de 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno, estimada estatisticamente a partir de amostras de dados observados.

O IPT (2008) calculou as vazões disponíveis nas sub-bacias da UGRHI 10, com base nesse método proposto pelo DAEE. Na Tabela 3.2 é apresentada a oferta hídrica superficial natural estimada.

Tabela 3.2 - Oferta Hídrica Natural Estimada na UGRHI 10

Sub Bacia	AD (km²)	PP (mm)	Q_M (m³/s)	Q_{7,10} (m³/s)	50% Q_{7,10} (m³/s)	Q_{Reg} (m³/s)
SB1	4.141,33	1.299,70	41,01	8,59	4,30	0,00
SB2	1.025,18	1.191,50	7,07	1,48	0,74	0,00
SB3	3.136,38	1.191,50	21,62	4,53	2,27	0,00
SB4	1.212,36	1.202,50	8,73	1,83	0,92	0,00
SB5	1.388,065	1.197,50	9,80	2,05	1,03	0,00
SB6	924,50	1.317,30	9,61	2,01	1,01	9,60
Total	11.827,82	-	97,84	20,49	10,25	-

Notas: AD = área de drenagem; PP = precipitação pluviométrica. A Carta de Isoietas Médias Anuais utilizada foi do ano de 1982; Q_M = vazão média plurianual de longo período; Q_{7,10} = vazão mínima anual média de 7 dias com período de retorno de 10 anos; e, Q_{Reg} = vazão regularizada

Fonte: IPT, 2008

A Minuta do Projeto de Lei do PERH 2004-2007 estabelece que: “quando a soma das vazões captadas em uma determinada UGRHI, ou em parte desta, superar 50% da vazão Q_{7,10}, a mesma será considerada crítica pela autoridade outorgante” (Consórcio JMR & ENGECORPS, 2005, apud IPT, 2008, p. 19). Assim, a disponibilidade hídrica natural de águas superficiais de uma bacia hidrográfica equivale a 50% da sua vazão mínima total (Q_{7,10}).

Com base nesse preceito verifica-se através dos dados constantes da Tabela 3.2 que a oferta hídrica natural na UGRHI 10 é de 10,25 m³/s. A sub-bacia com a maior disponibilidade

hídrica superficial (4,30 m³/s) é a do Médio Tietê Inferior (SB1), seguida, pela sub-bacia do Baixo Sorocaba (SB3) com 2,27 m³/s. A sub-bacia com a menor disponibilidade hídrica superficial é a do Médio Tietê Médio (SB2), com 0,74 m³/s.

Essa minuta do Projeto de Lei estabelece ainda que: “[...] a vazão de referência [...] será calculada com base na $Q_{7,10}$, [...] observando ainda as regularizações por reservatórios ...” (CONSÓRCIO JMR & ENGECORPS, 2005, apud IPT, 2008, p. 19). Depreende-se que as vazões regularizadas devem ser computadas para a totalização das disponibilidades de águas superficiais.

Ainda que na Tabela 3.2 conste que a vazão regularizada na SB6 é de 9,6 m³/s, considerou-se no presente estudo uma vazão disponível para jusante de 6,00 m³/s, tendo em vista o acordo firmado entre a Companhia Brasileira de Alumínio - CBA e a Agência Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, em 1992, visando garantir uma vazão mínima, a partir da Barragem de Itupararanga, que escoar para a sub-bacia do Médio Sorocaba (SB4), conforme informado pelo IPT (2008). Assim, considerando que a SB6 fornece uma vazão regularizada de 6,00 m³/s (desconsiderando assim a produção interna nessa sub-bacia de 1,01 m³/s), a produção hídrica da UGRHI 10 passaria para o total de 15,24 m³/s.

Levando-se em conta as contribuições de bacias vizinhas para a UGRHI, se verifica duas diferentes situações: importações para abastecimento de núcleos urbanos (Botucatu e Vargem Grande Paulista) e drenagem natural das bacias de montante.

No entanto, em termos de aporte adicional, nas atuais circunstâncias, as contribuições oriundas de outras bacias (UGRHIs 05 e 06) não podem ser consideradas, sobretudo pela qualidade não adequada de suas águas (inviabilizando economicamente o tratamento, nos casos da UGRHI 06 e contribuição dos rios Capivari e Jundiá – UGRHI 05), mas, também, por sua localização no trecho final da UGRHI 10 (rio Piracicaba - UGRHI 05).

Dessa forma, no quadro geral constatado demonstra-se que as disponibilidades de água superficiais na UGRHI 10 representam, por si só, números relativamente pouco expressivos

(15,24 m³/s). A situação é agravada pelas descargas poluidoras externas e as cargas lançadas nos cursos de água no interior da UGRHI.

No que se refere à relação entre a oferta e a demanda, o IPT (2008) constatou que, à exceção do balanço demanda *versus* oferta na SB1 e na SB6, todas as demais sub-bacias mostram resultados bastante preocupantes, ou seja, com a demanda superando as disponibilidades, mesmo considerando as transposições de bacia e a parcela relativas às águas subterrâneas (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - UGRHI-10: Disponibilidade Hídrica e Demandas

Sub Bacia	Disponibilidade Hídrica (m ³ /s)				Demandas Cadastradas ⁽¹⁾ (m ³ /s)		
	50% Q _{7,10}	Transposição	Aquífero Confinado	Total	Captações ⁽²⁾	Poços	Total
SB1	4,3	0,00	0,55	4,85	2,34	0,10	2,44
SB2	0,74	0,32 ⁽³⁾	0,00	1,06	1,01	0,18	1,19
SB3	2,27	0,00	0,00	2,27	6,05	0,33	6,38
SB4	0,92	0,00	0,00	0,92	3,27	0,34	3,61
SB5	1,03	0,00	0,00	1,03	2,94	0,25	3,19
SB6	6,00 ⁽⁴⁾	0,04 ⁽⁵⁾	0,00	6,04	2,80	0,05	2,85
Total	15,24	0,36	0,55	16,15	18,41	1,25	19,66

Notas: ⁽¹⁾ Banco de Dados do DAEE, 2008 (citado em IPT, 2008);

⁽²⁾ Para a parcela relativa à irrigação foram utilizadas informações de OPERTEC (2006), citadas em IPT, 2008;

⁽³⁾ Transposição da UGRHI 17 – Médio Paranapanema para abastecimento público de Botucatu (IPT, 2008);

⁽⁴⁾ Vazão regularizada pela Barragem de Itupararanga, mediante acordo CBA/CETESB (IPT,2008); ⁽⁵⁾ Transposição da UGRHI 06 – Alto Tietê para abastecimento de Vargem Grande Paulista (IPT, 2008).

Fonte: IPT, 2008.

A sub-bacia do Médio Sorocaba (SB4), que concentra a maior população da UGRHI-10, com destaque para o Município de Sorocaba, é que apresenta valor mais elevado para a relação entre as demandas cadastradas e a disponibilidade hídrica, seguida pela SB5, SB3 e SB2.

Tal situação aponta para a possibilidade de surgimento de conflitos entre os usuários de recursos hídricos e de diminuição da capacidade de suporte para a manutenção da biota aquática.

3.4.3 Qualidade da Água na UGRHI-10

A CETESB adota índices que são utilizados por fornecer uma visão geral da qualidade da água, pois integram os resultados de diversas variáveis através um único indicador. Assim, para transmitir uma informação de mais fácil compreensão para o público em geral, a CETESB utiliza, desde 2002, índices específicos, que refletem a qualidade das águas para os diferentes usos: Índice de Qualidade das Águas - IQA; Índice de Qualidade das Águas para Fins de Abastecimento Público - IAP; Índice do Estado Trófico - IET; Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática - IVA; e, Índice de Balneabilidade - IB (CETESB, 2010).

Considerando que o objetivo do presente estudo não é o aprofundamento da discussão desses índices, serão comentados, brevemente, apenas os resultados do IQA. No seu cálculo são consideradas as variáveis de qualidade que indicam, principalmente, o lançamento de esgotos domésticos, podendo indicar também alguma contribuição de efluentes industriais, desde que sejam de natureza orgânica biodegradável, com base nos parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduos totais e turbidez.

A Rede Básica de Monitoramento da CETESB na UGRHI-10 envolve 21 (vinte e um) pontos, distribuídos nos principais corpos de água e seus afluentes. Em 2009, os resultados do IQA nos pontos de amostragem dessa UGRHI apresentaram qualidade ótima em 10%, boa em 43%, regular em 33% e, ruim em 14% (CETESB, 2010).

O Rio Sorocaba apresentou qualidade variando entre regular e boa, sendo que as ocorrências de qualidade regular ocorreram nos pontos situados nos municípios de Sorocaba e Laranjal Paulista. O Rio Tietê, no trecho inserido nessa Unidade de Gerenciamento, teve sua qualidade variando de ruim a boa, verificando-se que a qualidade ruim ocorreu nos trechos de montante (Salto e Tietê), influenciada pelas contribuições da Região Metropolitana de São Paulo, enquanto que a melhora de qualidade ocorre a partir de Laranjal Paulista, onde recebe as águas do rio Sorocaba (CETESB, 2010).

3.4.4 A Cobrança pelo Uso da Água na UGRHI 10

De acordo com o Decreto nº 50.667/2006 (SÃO PAULO, 2006b) o valor total da cobrança deve ser obtido pela soma das parcelas decorrentes da multiplicação dos volumes de captação, derivação ou extração, de consumo e das cargas poluidoras lançadas no corpo hídrico, pelos respectivos Preços Unitários Finais – PUF.

Os PUF, por sua vez, são obtidos através da multiplicação dos Preços Unitários Básicos – PUB por coeficientes ponderadores. Esses coeficientes, além de permitir a diferenciação dos valores a serem cobrados, foram definidos considerando características diversas podendo servir de incentivo aos usuários, conforme consta do artigo 12 do referido Decreto.

Por sua vez, a Deliberação CRH nº 63, de 04 de setembro de 2006 (SÃO PAULO, 2006c), aprovou procedimentos, limites e condicionantes para a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Estabelece no seu artigo 3º, inciso II, que nos dois primeiros anos, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) deverão adotar os coeficientes ponderadores $X_1.X_2.X_3.X_5.X_6.X_7.X_{13}$ (para captação, extração, derivação e consumo) e $Y_1.Y_3.Y_4$ (para diluição, transporte e assimilação de efluentes), propondo os respectivos valores.

Estabelece ainda que a parcela referente à cobrança pela utilização dos recursos hídricos para diluição, transporte e assimilação de efluentes, deverá ser iniciada com o parâmetro $DBO_{5,20}$, e que os CBHs, após dois anos de implementação da cobrança na sua área de atuação, poderão propor a implantação de outros parâmetros específicos, representativos da poluição dos recursos hídricos no âmbito da sua bacia hidrográfica.

Considerando que o artigo 2º dessa Deliberação condicionou a implantação da cobrança pela utilização dos recursos hídricos à aprovação dos Planos de Bacias pelos Comitês de Bacias Hidrográficas e, à implementação de programas, projetos, serviços e obras, definidos nos citados planos, o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) aprovou, através da Deliberação CBH-SMT 191, de 09 de fevereiro de 2007 (CBH-SMT, 2007), o Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê.

Os procedimentos adotados para implantação da cobrança foram estabelecidos no Anexo 1 da Deliberação CRH nº 63/2006 (SÃO PAULO, 2006c). O cálculo da cobrança para os volumes captados, consumidos e carga lançada, estabelecido por esse dispositivo legal é, resumidamente, dado pela equação:

$$Preço\ Total = P_{cap} + P_{cons} + P_{lanç} \quad (3.1)$$

Sendo:

$$P_{cap} = Vol_{.cap} \times PUF_{cap} \quad (3.2)$$

$$P_{cons} = Vol_{.cons} \times PUF_{cons} \quad (3.3)$$

$$P_{lanç} = Carga_{.lanç} \times PUF_{lanç} \quad (3.4)$$

Onde:

$$PUF = PUB \times Coeficientes\ Ponderadores \quad (3.5)$$

$$PUF_{cap} = PUB_{cap} \times (X_1.X_2.X_3.X_5.X_6.X_7.X_{13}) \quad (3.6)$$

$$PUF_{cons} = PUB_{cons} \times (X_1.X_2.X_3.X_5.X_6.X_7.X_{13}) \quad (3.7)$$

$$PUF_{lanç} = PUB_{lanç} \times (Y_1.Y_3.Y_4) \quad (3.8)$$

O Decreto nº 55.008, de 10 de novembro de 2009 (SÃO PAULO, 2009), aprovou e fixou os valores a serem aplicados na cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. Os Preços Unitários Básicos definidos nesse Decreto foram:

- ✓ captação = R\$ 0,011;
- ✓ consumo = R\$ 0,029; e,
- ✓ lançamento= R\$ 0,130.

Os coeficientes ponderadores adotados na UGRHI 10 e suas características constam das tabelas 3.4 (captação, extração e derivação), 3.5 (consumo) e 3.6 (diluição, transporte e assimilação de efluentes - carga lançada).

Tabela 3.4 - UGRHI 10: Coeficientes Ponderadores - Captação, Extração e Derivação

Características	Coeficientes Ponderadores		
Natureza do corpo de água	X_1	Superficial	0,9
		Subterrâneo	1,0
Classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo de água no local do uso ou da derivação – Decreto Estadual 10.755/1977	X_2	Classe 1	1,1
		Classe 2	1,0
		Classe 3	0,95
		Classe 4	0,9
Disponibilidade hídrica local	X_3	Crítica	1,0
		Média	0,95
Volume captado, extraído ou derivado e seu regime de variação	X_5	S/Medicação	1,0
		C/Medicação	0,9
Consumo efetivo ou volume consumido	X_6		1,0
Finalidade do uso	X_7	Sistema Público	1,0
		Solução Alternativa	1,0
		Industrial	1,0
Transposição de bacia	X_{13}	Existente	1,5
		Não existente	1,0

Fonte: SÃO PAULO, 2009.

Tabela 3.5 - UGRHI 10: Coeficientes Ponderadores - Consumo

Características	Coeficientes Ponderadores		
Natureza do corpo de água	X_1	Superficial	1,0
		Subterrâneo	1,0
Classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo de água no local do uso ou da derivação – Decreto Estadual 10.755/1977	X_2	Classe 1	1,0
		Classe 2	1,0
		Classe 3	1,0
		Classe 4	1,0
Disponibilidade hídrica local	X_3	Crítica	1,0
		Média	1,0
Volume captado, extraído ou derivado e seu regime de variação	X_5	S/Medicação	1,0
		C/Medicação	1,0
Consumo efetivo ou volume consumido	X_6		1,0
Finalidade do uso	X_7	Sistema Público	1,0
		Solução Alternativa	1,0
		Industrial	1,0
Transposição de bacia	X_{13}	Existente	1,0
		Não existente	1,0

Fonte: SÃO PAULO, 2009.

Tabela 3.6 - UGRHI – 10: Coeficientes Ponderadores - Diluição, Transporte e Assimilação de Efluentes (carga lançada)

Características	Coeficientes Ponderadores		
Classe de uso preponderante do corpo de água receptor	Y_1	Classe 2	1,0
		Classe 3	0,95
		Classe 4	0,9
Carga lançada e seu regime de variação (atendido o padrão de emissão requerido para o local) Sendo PR = percentual de remoção.	Y_3	PR=80%	1,0
		80%<PR<95%	$(31-0,2*PR)/15$
		PR≥95%	16-0,16*PR
Natureza da atividade	Y_4	Sistema Público	1,0
		Solução Alternativa	1,0
		Indústria	1,0

Fonte: SÃO PAULO, 2009.

3.5 A Indústria Sucroalcooleira no Estado de São Paulo

A cana ocupa cerca de sete milhões de hectares ou cerca de 2% de toda a terra arável do País, que é o maior produtor mundial, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. No Brasil a produção de cana de açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul⁴ e Nordeste, permitindo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo (UNICA, 2009a).

Na região Centro-Sul a área de cana disponível para colheita na safra 2008/2009 foi estimada, com base em imagens de satélite de sensoriamento remoto, em 6,53 milhões de hectares, representando um aumento de 15,7% (917,9 mil hectares) em relação à safra anterior. São Paulo é o maior produtor de cana com uma área de 4,45 milhões de hectares disponíveis para colheita, o que representa 66% da área de cana na região Centro-Sul, com um crescimento de 12,2% em área com relação à safra passada (UNICA, 2009b).

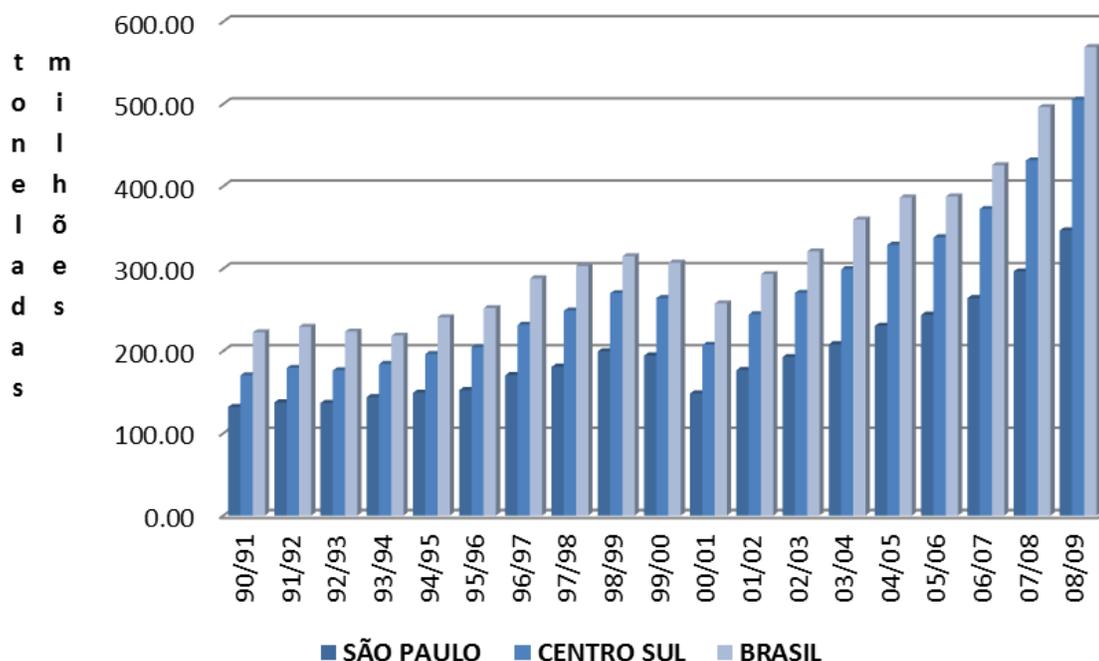
A produção de cana de açúcar, na região Centro-Sul, foi de 504.962.891 t na safra de 2008/2009, sendo que o Estado de São Paulo foi responsável por 68,6% desse total, com um acréscimo de 17% em relação à safra de 2007/2008. A evolução na produção de cana de açúcar em São Paulo, na região Centro-Sul e no Brasil é mostrada na Figura 3.4⁵.

A cana é atualmente destinada à produção de açúcar e etanol, dois produtos de larga importância comercial. As quantidades de açúcar e etanol produzidas na safra de 2008/2009, no Estado de São Paulo, na Região Centro-Sul e no Brasil, são apresentadas na Tabela 3.7.

⁴ A região geoeconômica Centro-Sul abrange os estados das regiões Sul e Sudeste brasileiros (menos o norte de Minas Gerais), além dos estados do Mato Grosso do Sul, Goiás, sul do Tocantins e do Mato Grosso, e o Distrito Federal.

⁵ Dados da safra 2008/2009 para a região Nordeste, que compõe o total do Brasil, referem-se à posição final de 30/08/09 (UNICA, 2010).

Figura 3.4 - Produção de Cana de Açúcar: São Paulo, Região Centro-Sul e Brasil



Fonte: UNICA, 2010

Verifica-se, pelos dados constantes da Tabela 3.7, que o Estado de São Paulo é o maior produtor de açúcar e de etanol da Região Centro-Sul e do País. A quantidade de cana de açúcar destinada à produção de cada um desses produtos está associada à demanda do mercado.

Tabela 3.7 - Produção de Açúcar e Etanol no Estado de São Paulo, Região Centro-Sul e Brasil: Safra 2008/2009

Estado/Região	Açúcar		Etanol					
	toneladas	%	Anidro		Hidratado		Total	
			mil litros	%	mil litros	%	mil litros	%
São Paulo	19.662.436	63	6.006.719	64	10.715.759	59	16.722.478	61
Região Centro-Sul	26.749.819	86	8.247.419	88	16.854.544	93	25.101.963	91
Brasil	31.049.206	100	9.336.343	100	18.176.619	100	27.512.962	100

Fonte: UNICA, 2010

3.6 Etapas do Processo Produtivo do Açúcar e Etanol

De forma a subsidiar a discussão sobre os usos da água na indústria sucroalcooleira serão descritas de forma sumarizada as etapas de produção de açúcar e etanol, bem como as operações envolvidas na geração de energia. Não é objetivo esgotar o assunto, tampouco discutir as diversas tecnologias disponíveis, com exceção daquelas que impliquem em maior ou menor consumo de água.

Lima et al. (2001), apud Kesslerlingh (2002), apontam que uma tonelada de cana de açúcar moída produz em média 850 litros de caldo, do qual 78 a 86% é constituído de água; de 10 a 20% de sacarose; 0,1 a 2% de açúcares redutores; 0,3 a 0,5% de cinzas; e, entre 0,5 a 1% são compostos nitrogenados.

3.6.1 Recepção, preparo da cana e extração do caldo

A recepção, preparo da cana e extração do caldo são as etapas iniciais do processo de industrialização da cana de açúcar.

3.6.1.1 Recepção da cana de açúcar

Os procedimentos relacionados à recepção da cana nas unidades produtivas envolvem a pesagem, amostragem e análise da matéria-prima, e o seu descarregamento.

A pesagem, amostragem e análise da matéria-prima fornecem informações importantes ao controle operacional da usina. A amostragem é realizada utilizando-se um amostrador por sonda e o caldo é extraído em prensa hidráulica, onde são analisados: o *brix* (percentagem de

sólidos solúveis no caldo), o *pol* do caldo (percentagem de sacarose aparente no caldo), pureza e fibra residual (CONSECANA, 2004, apud ALBUQUERQUE, 2005). O descarregamento da cana é um processo mecanizado e pode ser realizado diretamente na mesa alimentadora das moendas, ou em área de estocagem para uso posterior.

3.6.1.2 Preparo da cana

Com a lavagem da cana eliminam-se as impurezas minerais a ela agregadas ao longo da etapa de produção agrícola (areia, argila, palha, etc.), com o objetivo de se obter um caldo de melhor qualidade e aumentar a vida útil dos equipamentos.

O grau de sujidade da cana que chega à unidade produtiva varia de acordo com a época da colheita, do tipo de solo e procedimentos de colheita. O valor médio de impurezas minerais em percentagem de peso da cana é de 1%, e a faixa varia de 0,14 a 3,21%. As impurezas vegetais são representadas pela palha e pontas que não são removidas na lavagem de cana (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Segundo esses autores, efetua-se a lavagem com jatos de água no topo da mesa de alimentação, que cai em contracorrente com a cana, na medida em que essa sobe a rampa através de sistema de corrente.

O efluente é despejado no fundo perfurado da mesa, e encaminhado para peneiramento (“cush-cush”) visando à remoção de materiais grosseiros (toletes de cana e palhas arrastadas durante a lavagem), que retornam à esteira de cana.

As águas residuárias geradas nessa operação apresentam alto potencial poluidor, obrigando as unidades a instalarem sistemas de tratamento desse efluente, antes do descarte na lavoura ou corpo receptor (PIACENTE, 2005).

Verifica-se, na atualidade, que as unidades de produção de açúcar e etanol vêm procedendo à reutilização da água de lavagem, após encaminhamento a tanques de decantação ou decantadores circulares. O resíduo sedimentado é destinado à lavoura e a água retorna ao processo, diminuindo o consumo de água.

Com o aumento da colheita mecanizada⁶ a lavagem da cana torna-se pouco indicada uma vez que ocorre uma maior perda de sacarose. Visando à adequação a essa nova realidade algumas usinas têm adotado a limpeza a seco.

O processo de limpeza com ar ocorre na saída da mesa alimentadora ou do transportador metálico. As impurezas são coletadas em uma câmara e a cana limpa vai para a esteira transportadora e é enviada à etapa de extração do caldo. Esse processo requer a utilização de água para a lavagem das correntes, esteiras e terra acumulada nas mesas de alimentação, ainda que ocorra uma redução significativa dos volumes requeridos.

Após a lavagem/limpeza, a cana é conduzida através de esteiras rolantes para um jogo de facas niveladoras, seguido do picador, do desfibrador e do eletroímã. O nivelador proporciona uma alimentação uniforme. O picador e o desfibrador têm como objetivo aumentar a densidade (aumentando a capacidade de moagem), e romper ao máximo as células para forçar uma maior eficiência de extração do açúcar. O eletroímã, por sua vez, visa retirar possíveis materiais ferrosos presentes na cana, evitando a quebra dos rolos das moendas.

⁶ A mecanização da colheita da cana no Estado de São Paulo ocorre em atendimento à Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002 (SÃO PAULO, 2002a), e ao Decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003 (SÃO PAULO, 2003), que estabelece a eliminação gradativa da queima de palha de cana de açúcar. De acordo com esses dispositivos legais a eliminação total da prática de queima da palha de cana de açúcar deve ocorrer até o ano de 2021 em áreas mecanizáveis.

3.6.1.3 Extração do caldo da cana

Considerando que a cana constitui-se em uma fração sólida (fibra) e uma líquida (caldo), faz-se necessário que essas frações sejam separadas. Os processos de extração em escala industrial são a moagem e a difusão.

Na moagem a extração dos líquidos da cana é feita pelo esmagamento nos rolos das moendas, que exercem forte pressão. Os três rolos (terno) de uma moenda convencional são dispostos em triângulo, tal que a fibra seja espremida duas vezes: entre o rolo superior e o de entrada, e o rolo superior e o de saída. Os rolos de entrada e saída são fixos, enquanto o rolo superior levanta e abaixa por meio de um sistema de pressão hidráulica. A cana é conduzida de um terno a outro através de esteiras intermediárias (PAYNE, 1989). Em geral, as moendas são constituídas de quatro a seis ternos (ELIA NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

Na difusão, o caldo é deslocado da cana desintegrada por um fluxo em contra corrente, ao invés de ser expelido por prensagem, ocorrendo a extração do caldo por lixiviação. O preparo da cana para um deslocamento eficiente requer a redução do tamanho de forma a permitir um leito permeável compacto, e um índice de ruptura das células de estocagem do caldo próximo a 94% (PAYNE, 1989).

No processo de extração do caldo por moagem, com o objetivo de diluir os sólidos remanescentes no bagaço e aumentar a extração, adiciona-se água ao bagaço antes de passar pelos últimos rolos. Em geral, a embebição utilizada é do tipo composta, que consiste em adicionar água entre os últimos ternos e fazer retornar o caldo extraído desse último para o anterior, e assim sucessivamente até o segundo terno. Nas usinas com destilaria anexa, o caldo do segundo terno é encaminhado para a produção de etanol, enquanto o denominado caldo misto é utilizado na fabricação de açúcar.

Segundo Elia Neto, Shintaku e Donzelli (2009), na difusão a água de embebição é aplicada no final do difusor e, em seguida, a massa passa por um conjunto de moendas para retirada do caldo residual do bagaço.

Em geral, na embebição é utilizada água condensada oriunda dos aquecedores do caldo da cana, ou seja, a própria cana fornece a água utilizada nessa etapa do processo. A água deve ser aplicada o mais quente possível, desde que não cause problemas na alimentação. A fibra torna-se plástica em altas temperaturas e assim é mais facilmente comprimida, possibilitando maior extração de caldo. No entanto, temperaturas mais altas também fazem a fibra tornar-se escorregadia, provocando problemas na alimentação (PAYNE, 1989).

Uma vez extraído o caldo, em moendas ou difusores, tem-se bagaço final com baixa umidade para ser queimado nas caldeiras de forma a suprir as necessidades de energia da unidade produtiva.

3.6.2 Fabricação do Açúcar

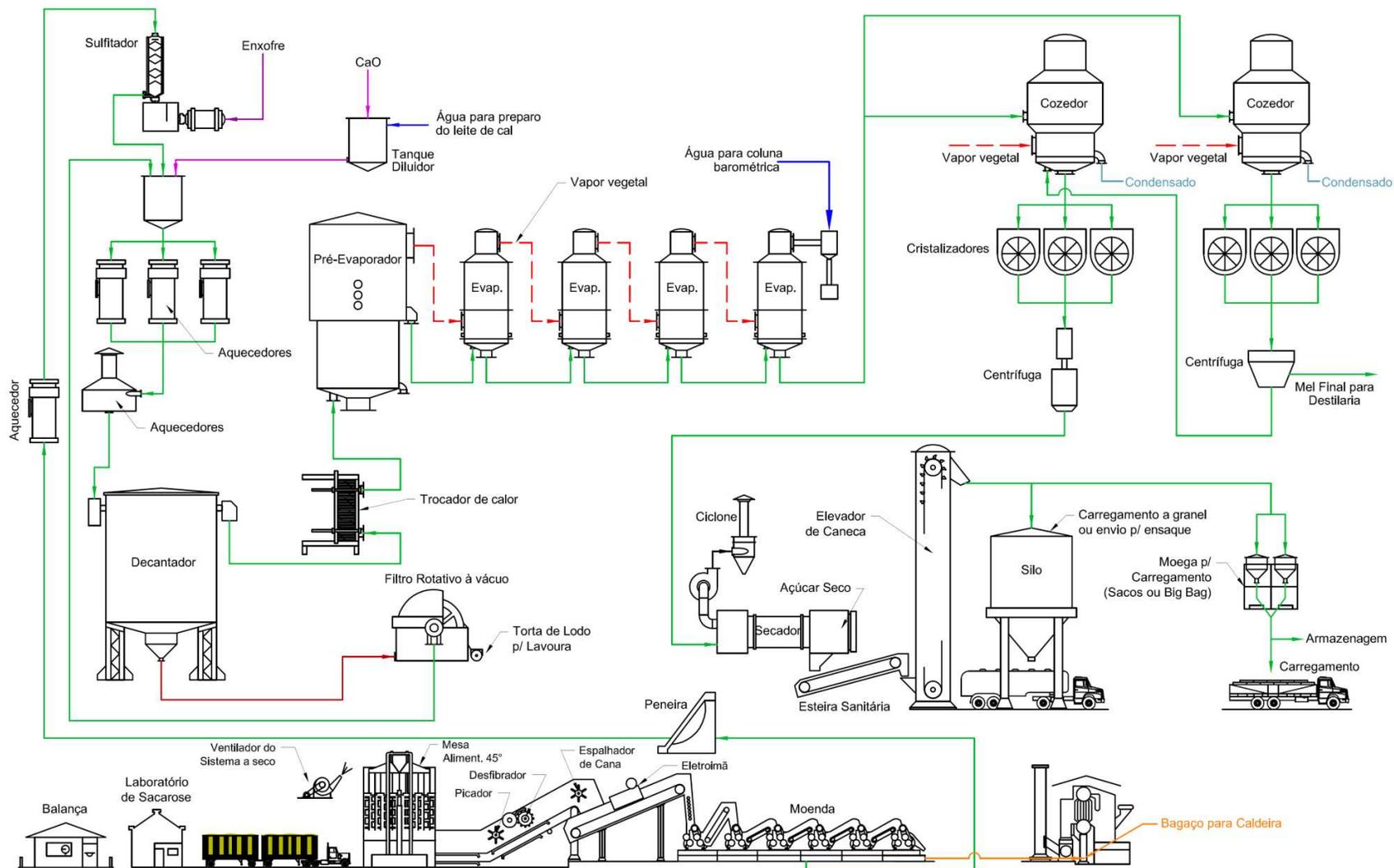
Na Figura 3.5 é mostrado o esquema geral de fabricação de açúcar, descrita neste item. Consta ainda dessa figura as etapas relativas ao preparo e moagem da cana.

3.6.2.1 Tratamento do Caldo

As impurezas solúveis e insolúveis contidas no caldo extraído precisam ser eliminadas e o pH ajustado. O tratamento do caldo se constitui na sua clarificação.

Inicia-se com o pré-aquecimento do caldo em aquecedores alimentados por vapor vegetal. Quanto se pretende fabricar açúcar branco procede-se, em seguida, à sulfitação do caldo que possibilita a redução de cor, além de exercer efeito secundário na melhoria das características de cozimento das massas.

Figura 3.5 - Fluxograma: Preparo da Cana, Extração do Caldo e Produção de Açúcar



Fonte: modificado de Elia Neto e Shintaku, 2009a.

É realizada com a adição de dióxido de enxofre, obtido através da queima de enxofre elementar em forno rotativo. A reação de obtenção desse óxido ocorre com desprendimento de calor, fazendo-se necessário o resfriamento dos gases com a utilização de água, antes da torre de sulfitação. O resfriamento evita a formação de compostos indesejáveis de enxofre.

Elia Neto e Shintaku (2009a) informam que o contato do caldo com o dióxido de enxofre ocorre na torre de sulfitação, onde o gás é absorvido pelo caldo reagindo com as impurezas, formando sólidos em suspensão que são retirados durante a etapa de decantação.

Segundo esses autores, após a sulfitação é realizado o ajuste do pH que normalmente ocorre com a adição de leite de cal, obtido da hidratação da cal virgem (CaO). A hidratação deve ser realizada com água bruta límpida, pois irá compor o caldo, podendo-se utilizar condensados vegetais. Quando se utiliza o sacarato de cálcio, a cal reage com o próprio caldo, sem que ocorra o uso de água.

O pH do caldo misto deverá ser elevado a 7,5 permitindo a obtenção do xarope com pH próximo a 6,5. Trata-se do valor recomendado para conduzir às etapas subsequentes de cristalização, fornecendo massas fáceis de cozinhar, mínimo desenvolvimento de compostos e cor indesejáveis, pequena decomposição dos açúcares redutores e perda mínima de sacarose por inversão (PAYNE, 1989).

Esse autor aponta que a eliminação de microrganismos é realizada através da esterilização proporcionada pelo aquecimento do caldo, que também permite completar as reações químicas com o agente alcalinizante, flocular as impurezas insolúveis e remover os gases (bolhas de gás aderidas aos flocos reduzem a velocidade de decantação). Para o aquecimento utiliza-se vapor de escape da caldeira ou vapor vegetal oriundo dos evaporadores. O fator predominante para a eficiência desse processo é o controle das incrustações nos tubos, tornando a limpeza periódica fundamental. As incrustações em aquecedores são relativamente moles e, na maioria dos casos, para remoção basta quebrá-las com vapor seguido por uma descarga com água.

Após o aquecimento o caldo vai para o balão flash, com a função de liberar as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que, se não forem retiradas, comprometem a decantação e clarificação. O flasheamento consiste na expansão brusca do caldo, de sua pressão na tubulação para a pressão atmosférica. Essa ebulição explosiva e violenta elimina o ar e os gases dissolvidos contidos no caldo, inclusive aquele adsorvido na superfície das partículas de bagacilho.

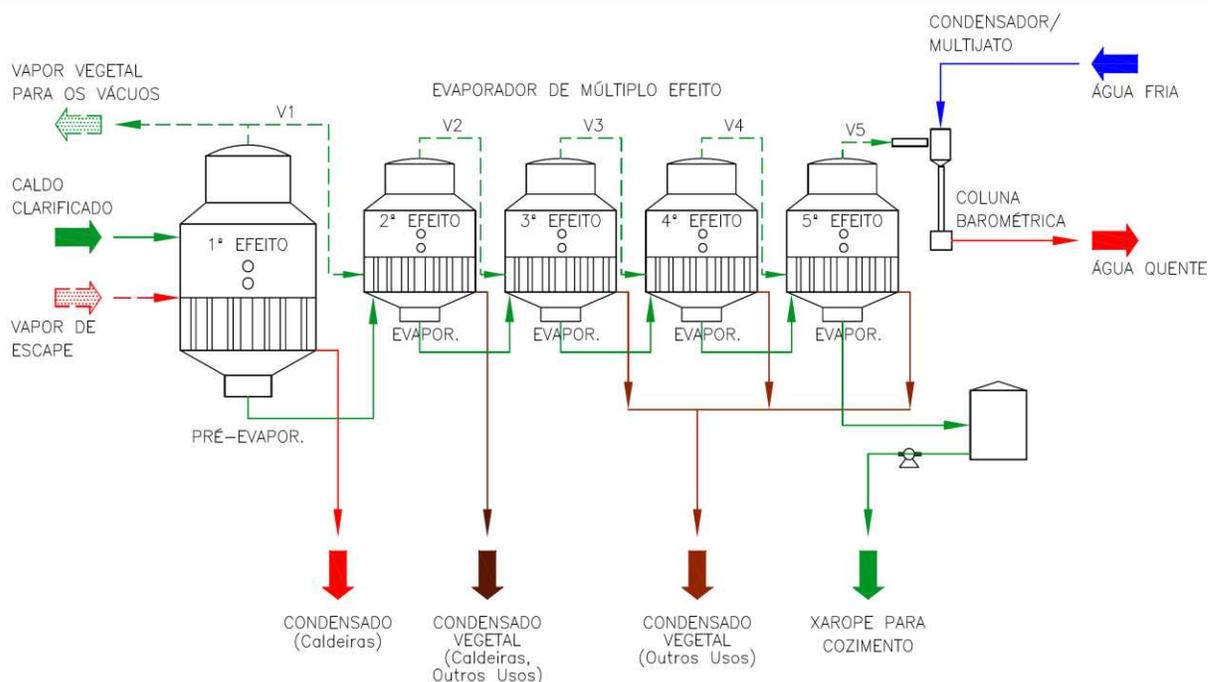
O caldo misto, aquecido e flasheado, necessita ser decantado. Antes do seu encaminhamento aos decantadores se faz necessário a adição de polímeros, que melhoram a floculação, ensejam a decantação mais rápida e menor volume de lodo, e não modificam o pH (PAYNE, 1989). O material sedimentado no decantador (lodo), que contém de 5 a 10% de sólidos insolúveis, é enviado para filtros rotativos a vácuo visando à remoção da maior parte do material insolúvel e recuperação do açúcar contido no lodo, que ocorre com a lavagem da torta. O caldo filtrado retorna ao processo, na saída da moenda, e a torta de lodo é encaminhada à lavoura.

3.6.2.2 Concentração do caldo

O caldo clarificado nos decantadores é encaminhado para evaporação onde é realizada a primeira etapa no processo de recuperação do açúcar do caldo, quando o mesmo perde água e transforma-se em xarope; em seguida há o cozimento do xarope que dá origem à massa cozida que contém sacarose cristalizada ou cristalizável (ASSAN, 2006).

A necessidade de economia de vapor obriga o uso do princípio de múltiplo efeito. Na evaporação em múltiplo efeito, o vapor da ebulição do caldo de um “corpo” é usado como fonte de calor para o “corpo” seguinte (PAYNE, 1989). Uma instalação adequada utiliza o quádruplo ou quádruplo efeito, com capacidade suficiente para evaporar a água e fornecer vapor para aquecimento do caldo e operação dos tachos de cozimento. A seção de evaporação também fornece água condensada para alimentar as caldeiras. Na Figura 3.6 mostra-se um esquema de evaporação com cinco efeitos.

Figura 3.6 - Evaporação com Quintuplo Efeito



Fonte: modificada de Elia Neto e Shintaku, 2009a.

Os vapores que saem do último corpo vão ao condensador. Esses vapores vêm acompanhados de gases incondensáveis e, como há necessidade de condensação intensa e de retirada dos mesmos, o condensador deve ser de grande potência e dotado de dispositivos que permitam sua retirada. Em geral utilizam-se condensadores barométricos nos quais a água é aspergida em grande quantidade sobre os vapores. Dividem-se em condensadores de contra corrente, de corrente paralela e de injetores múltiplos ou multijatos (ASSAN, 2006).

Esse autor informa ainda que nos dois primeiros a formação de vácuo é realizada com o auxílio de bombas de vácuo. Os multijatos, por sua vez, não necessitam de bomba, sendo a velocidade da água o agente causador do vácuo. Os vapores provenientes do último “corpo” de múltiplo efeito penetram pelo topo do condensador e a água é injetada em duas séries de jatos, uma na região superior e a outra na região média da parte cilíndrica, sendo os jatos dispostos, circunferencialmente, em ambas as séries.

O tubo ou coluna barométrica deve ser o mais vertical possível e sem nódulos, para que não se formem bolsas de gases que diminuiriam a eficiência do condensador, pois, nos multijatos, os gases incondensáveis são arrastados pela água.

Quanto mais baixa a temperatura da água utilizada nos condensadores, melhores os resultados, levando à necessidade da existência de grandes correntes, açudes ou barragens que possam fornecer, constantemente, água fria em quantidade. Caso a usina disponha de pouca água, essa é bombeada dos tanques onde estão mergulhados os tubos barométricos para torres de resfriamento ou pulverizadores, e recirculadas (ASSAN, 2006).

Arrastes de líquido com o vapor de um efeito para o “corpo” do efeito seguinte, ou para o condensador do efeito final, resultam em perda de açúcar e, além disso, causam contaminação dos condensados para alimentação de caldeiras e poluição na descarga das águas dos condensadores (PAYNE, 1989). Assim, é usual a instalação de separadores de arraste.

3.6.2.3 Cozimento e cristalização

O xarope resultante da concentração do caldo misto nos evaporadores é cozido de maneira que ocorra a cristalização da sacarose. O produto final desta operação é uma mistura de cristais e mel (solução açucarada).

Os cozedores (ou vácuos) são evaporadores de simples efeito. Os vapores liberados no cozimento são encaminhados a condensadores barométricos, em geral do tipo multijato, requerendo grandes quantidades de água para sua condensação.

A taxa de evaporação no cozimento varia conforme o sistema de produção de açúcar adotado, com taxas de 140 kg/t cana açúcar em sistemas de duas massas, que são a maioria dos casos (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Esses autores apontam que a evaporação da água dá origem a uma mistura de 45% de cristais envolvidos em mel, que recebe o nome de massa “A”. Essa massa é descarregada nos cristalizadores onde ocorre seu lento resfriamento, recuperando parte da sacarose que ainda se encontra dissolvida no mel.

Visando a dissolver o açúcar contido nos méis se utiliza água (normalmente condensados), retornando a solução diluída para o cozimento, para manter a qualidade dos cristais.

3.6.2.4 Centrifugação

A massa cozida de açúcar é uma suspensão de cristais de açúcar e mel, e a separação dos cristais de sacarose é feita em centrífugas (em batelada ou contínuas).

Sob a força centrífuga o açúcar mais denso é impelido a se afastar do líquido mais leve, o mel, por meio de uma tela perfurada. O mel, em seguida, abre caminho através dos espaços entre os cristais e sai através das perfurações. A lavagem com água quente é necessária para reduzir o filme de mel de modo a se atingir o *pol* desejado para o açúcar (PAYNE, 1989).

Elia Neto e Shintaku (2009a) informam que a lavagem com água é normalmente associada a uma lavagem com vapor para aumentar a temperatura da massa cozida no cesto, aumentando a fluidez do mel residual.

O mel que atravessa a tela perfurada é reenviado para o processo de cozimento para recuperação do açúcar ainda presente, resultando na massa “B”. Já os cristais, denominados de açúcar, ficam retidos no cesto e são enviados para secagem, acondicionamento e armazenagem.

Segundo Stupiello (1987), apud Piacente (2005), o mel proveniente da massa de menor pureza, que foi várias vezes cozido e centrifugado, é denominado de mel final ou melaço que é

enviado para a destilaria para produção de etanol, ou comercializado como subproduto “in natura”.

3.6.2.5 Secagem e acondicionamento de açúcar

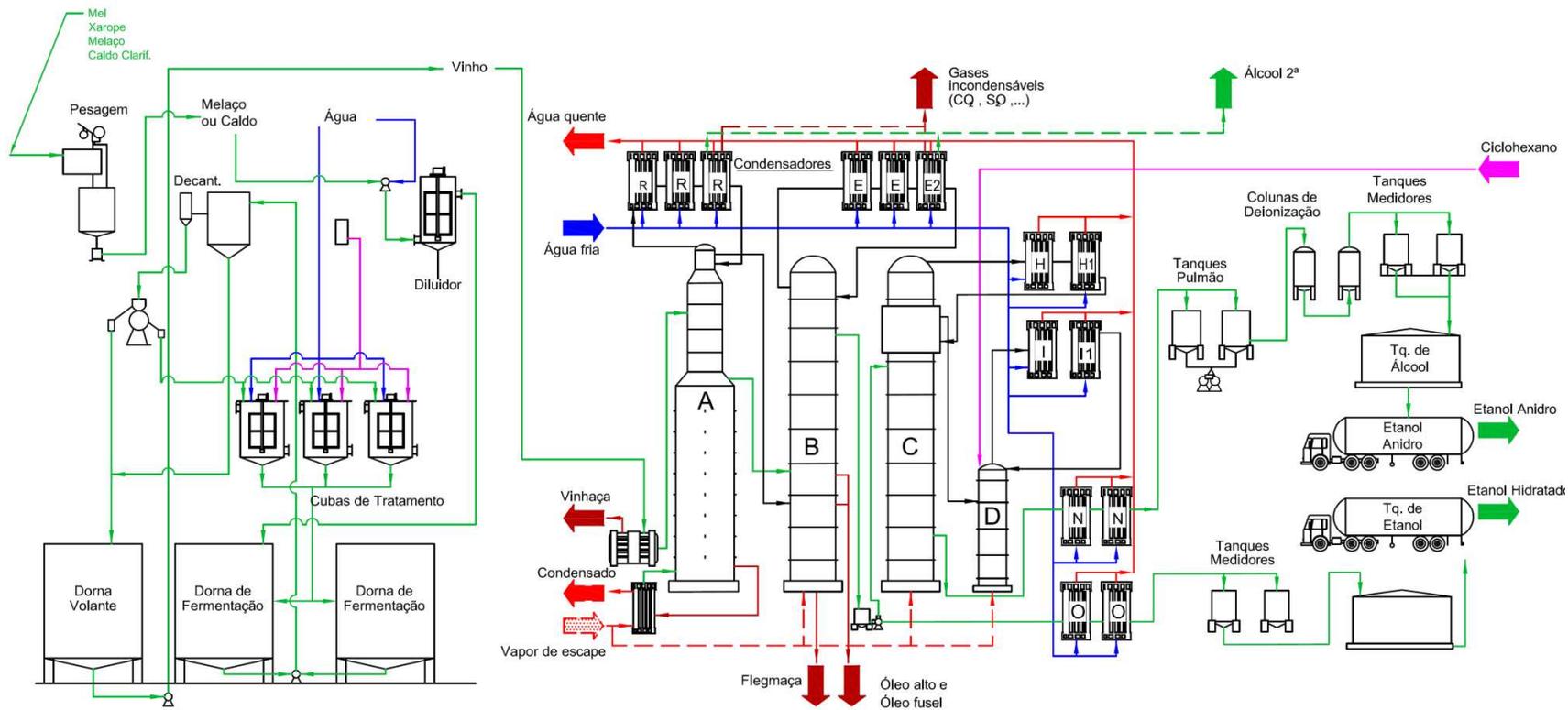
O açúcar é enviado ao secador rotativo para retirada da umidade contida nos cristais. Após a secagem, é recolhido em uma moega de fundo afunilado que o despeja, de forma descontínua, diretamente na embalagem localizada em cima de uma balança. Na embalagem a granel o açúcar é levado ao silo armazenador para ser ensacado e estocado (ELIA NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

3.6.3 Fabricação do Etanol

O etanol pode ser produzido a partir da fermentação do mel final ou melaço, resultante do processo de fabricação de açúcar, ou ainda do caldo extraído nas moendas. Nas unidades autônomas todo o caldo extraído é encaminhado para fermentação, enquanto nas unidades com destilaria anexa geralmente ocorre a composição das duas formas.

Na Figura 3.7 mostra-se o esquema geral da fabricação do etanol que envolve as etapas de tratamento e regeneração do caldo, preparo do mosto, fermentação e destilação.

Figura 3.7 - Fluxograma: Produção de Etanol



Fonte: modificado de Elia Neto e Shintaku, 2009a.

3.6.3.1 Tratamento do caldo

O caldo extraído da moenda necessita passar por tratamento de forma similar à que ocorre na fabricação do açúcar. No entanto, não é necessária a sulfitação, que ocorre para a fabricação do açúcar branco (ELIA NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

3.6.3.2 Regeneração do caldo

O caldo decantado deve ser resfriado à temperatura entre 30° e 33°C antes de ser enviado às dornas de fermentação, operação denominada regeneração do caldo. Utiliza-se água como refrigerante, e em algumas unidades, circula-se o caldo misto proveniente das moendas (MARAFANTE, 1993, apud ALBUQUERQUE, 2005).

3.6.3.3 Preparo do mosto

O mosto constitui-se numa solução de açúcar cuja concentração é ajustada para facilitar a fermentação. Em unidades com destilaria anexa é constituído por uma mistura de melaço e caldo. Se necessário utiliza-se água para ajuste do *brix*.

De acordo com Elia Neto, Shintaku e Donzelli (2009), após o preparo do mosto, que consiste basicamente no ajuste do *brix* para obter o teor alcoólico desejado na fermentação, o mesmo é resfriado a aproximadamente 35°C.

3.6.3.4 Fermentação

O processo de transformação de açúcar em etanol, por ação de levedura, é denominado fermentação alcoólica, e se desenvolve em condições de anaerobiose, ou seja, em ausência de oxigênio livre. A fermentação pode ser realizada por batelada ou de forma contínua, ou por uma associação das duas tecnologias.

O mosto é inoculado com leite de leveduras constituído por uma suspensão aquosa, em meio ácido, dos microrganismos *Saccharomyces sp.* (ASSAN, 2006).

É o início da primeira etapa do processo contínuo de fermentação, realizada em dornas. Em seguida, o produto é centrifugado e as leveduras recuperadas, tratadas e enviadas ao início do processo de fermentação. O produto da fermentação, chamado de vinho, é encaminhado para a destilaria (PIACENTE, 2005).

Elia Neto, Shintaku e Donzelli (2009) informam que a fermentação com uso de levedura é um processo exotérmico. Como a temperatura deve ser mantida abaixo de 34°C para otimizar a ação da levedura, se faz necessário o resfriamento das dornas, que ocorre através de trocadores de calor (serpentinhas ou placas), com uso de água fria como líquido refrigerante.

Considerando que no processo de transformação dos açúcares em etanol há despreendimento de gás carbônico, as dornas devem ser fechadas para recuperar o etanol arrastado por esse gás. Segundo Elia Neto, Shintaku e Donzelli (2009), o CO₂ é canalizado e lavado em torres de absorção (com recheio ou pratos valvulados), e o etanol recuperado retorna ao processo.

3.6.3.5 Destilação

A destilação é um processo físico de separação de líquidos contidos em uma mistura, baseada nos diferentes pontos de ebulição de seus componentes. À pressão normal o etanol etílico evapora-se a 78,3°C, enquanto a água destilada ferve a 100°C (LEÃO, 2002, apud ALBUQUERQUE, 2005).

O vinho é depurado duas vezes em uma coluna de destilação. Na primeira elimina-se os ésteres e aldeídos, e, na segunda é fracionado em vinhoto (também chamado vinhaça) e no flegma (vapores com 40° a 50° GL) que é o produto final dessa etapa de destilação. O flegma é novamente destilado em uma complexa operação de purificação denominada retificação, resultando no etanol hidratado (96° GL), e nos resíduos flegmaça e óleo fúsel (PIACENTE, 2005). Essa etapa do processo envolve a utilização de condensadores fazendo-se necessária a utilização de volumes expressivos de água.

A vinhaça, rica em matéria orgânica, nitrogênio, potássio, fósforo e água, é utilizada na lavoura para irrigação da cana, na chamada “fertirrigação”. Segundo Stupiello (1987), apud Piacente (2005), o óleo fúsel é reempregado como matéria prima na refinação, de onde se extraem álcoois com diversos graus de pureza para a elaboração de outras substâncias químicas. Pode ser resfriado, lavado, decantado e armazenado para posterior comercialização.

A flegmaça, por sua vez, constitui uma solução aquosa que pode ser reciclada no processo (para o preparo do fermento, por exemplo), ou descartada como efluente.

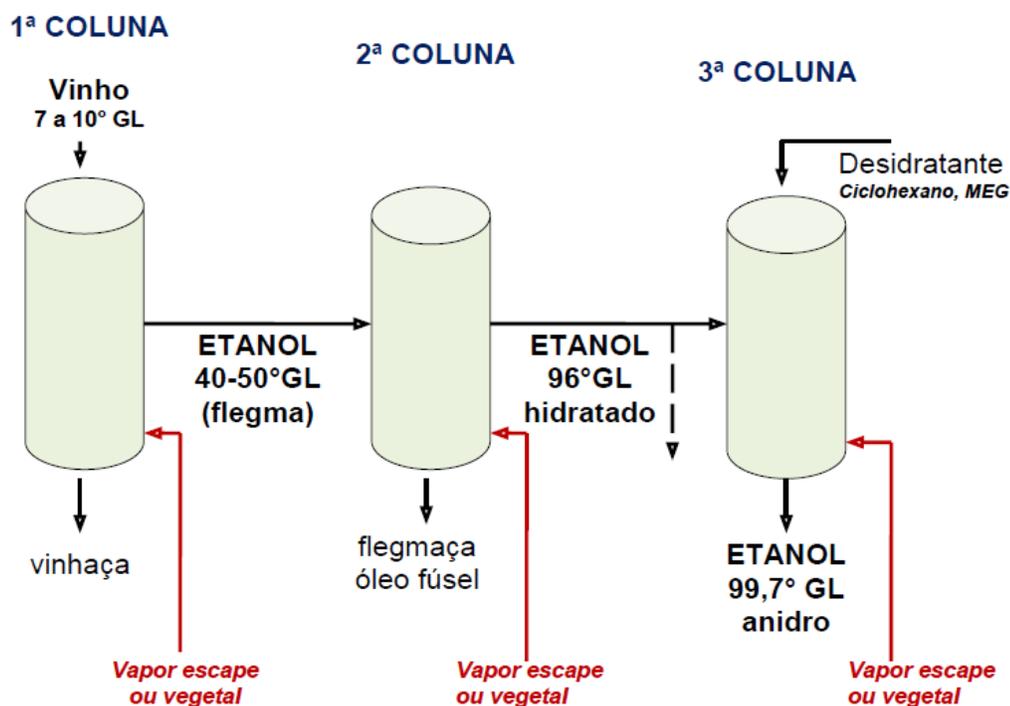
O etanol anidro é obtido pela adição de ciclohexano (no passado utilizava-se benzol) como desidratante. Essa necessidade surge do fato de que o etanol hidratado constitui uma mistura azeotrópica (componentes não são separados por um processo de destilação simples).

A adição do ciclohexano forma uma mistura ternária com a água e o etanol, cujo ponto de ebulição é menor do que o da mistura binária inicial, permitindo a retirada do etanol no fundo da coluna com aproximadamente 99,7°GL. Após a separação, o desidratante é recuperado e

reaproveitado (Figura 3.8). Algumas usinas utilizam um sistema conhecido como peneira molecular para fazer a desidratação, sem a necessidade de utilização do ciclohexano (COSAN, 2005).

O etanol produzido é resfriado, medido, analisado para controle de qualidade e armazenado em tanques cilíndricos próximos da destilaria, de onde é encaminhado para comercialização.

Figura 3.8 - Esquema de Destilação com Produção de Etanol Anidro



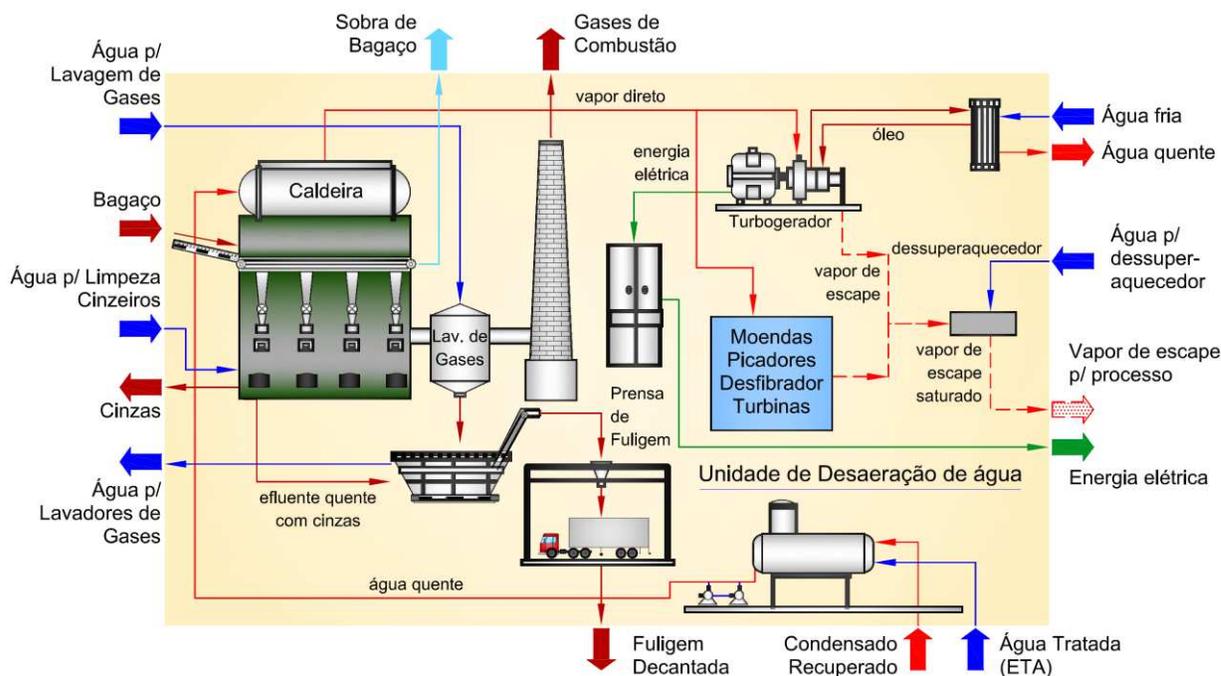
Fonte: elaborada pela autora.

3.6.4 Geração de Energia

A energia elétrica, mecânica e térmica, utilizada na fabricação do açúcar e etanol, é gerada na própria usina através da queima do bagaço de cana (biomassa), no denominado

processo de cogeração. Os complexos industriais brasileiros do setor de açúcar e etanol têm potencial para operarem de forma autossuficiente com relação ao uso da energia. Na Figura 3.9 é mostrado o esquema geral de geração de energia nessas unidades industriais.

Figura 3.9 - Fluxograma: Área de Geração de Energia



Fonte: Elia Neto e Shintaku, 2009a.

O bagaço queimado nas caldeiras gera vapor, que é expandido em uma turbina a vapor, onde ocorre a transformação de parte da energia nele contido em energia mecânica para movimentação dos equipamentos de grande porte (turbinas das moendas, picadores, desfibradores, turbo-bombas, turbo-ventiladores). Outra parte é convertida em energia elétrica no gerador acoplado à turbina a vapor, destinada ao consumo próprio da usina e seu excedente disponibilizado às concessionárias de energia (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Esses autores explicam que o vapor que deixa o escape da turbina é utilizado como energia térmica para o processo, que após seu uso é condensado e retorna para a caldeira. Os

vapores saem superaquecidos das máquinas e necessitam ter sua temperatura rebaixada com a injeção de água fria.

A caldeira ao queimar o bagaço produz cinzas e gases que são eliminados para a atmosfera, podendo poluir o ar e afetar a saúde dos trabalhadores das unidades produtivas e das comunidades próximas. Em estudos realizados pela COPERSUCAR (1983), apud Elia Neto e Shintaku (2009a) foram indicados que na utilização do bagaço como material combustível é produzido material particulado da ordem de 2,2 a 3,6 kg/t cana, em matéria seca, tendo-se que desse total, aproximadamente 20% depositam-se nas fornalhas, cinzeiros e salões das caldeiras e, o restante, é arrastado com os gases para a atmosfera.

Para conter a emissão de poluentes, e permitir que se enquadrem aos parâmetros exigidos pela legislação ambiental vigente, são utilizados os lavadores de gases via úmida, os quais demandam razoável quantidade de água e geram igual volume de água residuária. Esses gases são retirados da caldeira de maneira forçada, por ventiladores, sendo arrastadas, além da fumaça, partículas grosseiras como fuligem, bagacilho semi-queimado e areia, dependendo da qualidade do bagaço (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Os sólidos não arrastados pelos gases, depositados nos cinzeiros das caldeiras, também precisam ser removidos, onde a água é o veículo de transporte desses sólidos. Essa remoção permite evitar a obstrução do equipamento e a perda de eficiência.

3.7 A Água na Indústria Sucroalcooleira

Neste item são apresentados os usos da água nas diversas etapas do processo de produção de açúcar e etanol, bem como na geração de energia. Apontam-se ainda os efluentes gerados e suas principais características.

3.7.1 Uso de Condensados

Além do uso racional dos recursos hídricos disponíveis, a pesquisa de novas fontes desses recursos é uma alternativa que deve ser avaliada de forma a buscar a sustentabilidade do setor.

A água presente da cana se configura como uma importante fonte desse recurso. Uma tonelada de cana de açúcar moída produz, em média, 850 litros de caldo, do qual 78 a 86% é constituído de água, ou seja, 663 a 731 litros de água por tonelada de cana moída (LIMA et al, apud KESSERLINGH, 2002).

A água contida na cana necessita ser evaporada, o que ocorre principalmente no processo para obtenção do açúcar (aquecimento e evaporação do caldo e cozimento do açúcar). Os condensados obtidos nesse processo podem ter usos diversos, dependendo da sua qualidade.

Os condensados têm origem no vapor vegetal (água evaporada do caldo) e no vapor de escape (água das caldeiras após uso do vapor direto para suprir as necessidades de energia térmica na usina). As principais fontes de condensado na fábrica de açúcar e seus usos são resumidos na Tabela 3.8.

Considerando que a necessidade de geração de vapor é de 453 kg/t cana total (mix de 50% de produção industrial de açúcar/etanol), verifica-se que os condensados da fábrica suprem a demanda de água da caldeira em 334 kg/t cana total (cerca de 74% da necessidade geral de vapor da usina). No processo industrial podem ser reutilizados 241 kg/t cana total (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009b).

O reaproveitamento da água condensada depende da sua qualidade, cujo grau de exigência é maior para o uso em caldeiras. No processo industrial as demandas ocorrem na extração e tratamento do caldo (embebição das moendas/difusores, preparo do leite de cal, preparo de polímero, lavagem da torta dos filtros/prensa desaguadora), na fabricação de açúcar (diluição de méis e magmas, lavagem de açúcar, retentor de pó de açúcar), na fermentação do

mosto para fabricação de etanol (preparo do mosto, preparo do pé de cuba e lavagem de gases CO₂) e, na área de energia (dessuperaquecimento do vapor de escape). Elia Neto e Shintaku (2009b) informam que os processos indicados demandam 509 L/t cana total, podendo o condensado da fábrica suprir cerca de 47% dos usos.

Tabela 3.8 - Produção e Uso de Condensados da Fábrica de Açúcar

Efluente Condensado	Tipo	Vazão Específica	Reaproveitamento	
			Caldeiras	Processo
Do aquecimento do caldo				
Aquecedores p/ açúcar	escape	160 kg/t cana açúcar	-	x
Aquecimento parcial para etanol	escape	50 kg/t cana etanol	-	x
Da evaporação do caldo (5 efeitos com sangria no pré-evaporador para aquecimento)				
Pré-evaporador (1º efeito)	escape	414 kg/t cana açúcar	x	-
2º efeito	vegetal 1	84 kg/t cana açúcar	x	-
3º efeito	vegetal 2	84 kg/t cana açúcar	-	x
4º efeito	vegetal 3	84 kg/t cana açúcar	-	x
5º efeito	vegetal 4	84 kg/t cana açúcar	-	x
Do cozimento do açúcar				
Dos cozedores a vácuo	vegetal 1	170 kg/t cana açúcar	x	x
Do retardamento ⁽¹⁾	diversos	20 kg/t cana açúcar	-	x
Total		kg/t cana açúcar	668	482
Mix de 50% ⁽²⁾		kg/t cana total	334	241

Notas: ⁽¹⁾ O uso de água para o retardamento é praticamente um circuito fechado, utilizando-se o condensado vegetal ou de escape para produzir vapor no vácuo (retornando-o para a caldeira) sendo um uso esporádico não considerado no total; e,

⁽²⁾ Produção de 50% de açúcar e 50% de etanol.

Fonte: Elia Neto e Shintaku, 2009b.

Esses autores apontam que, por outro lado, as perdas por evaporação e purgas nos circuitos fechados, bem como a incorporação nos produtos e resíduos é da ordem de 0,9 m³/t cana

total, superando a quantidade de água contida na cana, na situação média considerada. Essa situação remete à necessidade de adoção de práticas de racionalização do uso da água.

3.7.2 Usos da Água

A produção de açúcar e etanol envolve volumes consideráveis de água, tanto na lavoura da cana, quando a irrigação é requerida, como no processo de industrialização. Essa constatação levou à ideia disseminada entre as entidades ligadas à gestão ambiental e de recursos hídricos de que o setor sucroalcooleiro faz uso intensivo dos recursos hídricos.

No Brasil, notadamente na região Centro-Sul, não se utiliza água para a irrigação plena dos canaviais, ocorrendo a irrigação de salvamento ou suplementar com lâminas de água pequenas, e normalmente utilizando-se águas residuárias do processo industrial (ELIA NETO, 2008)

Os valores médios de uso da água nesse processo industrial, estabelecidos a partir de pesquisas efetuadas junto ao setor sucroalcooleiro ao longo de anos, encontram-se na Tabela 3.9, e foram tomados com base em uma unidade produzindo 50% de açúcar e 50% de etanol. Verifica-se, nessa situação, que para cada tonelada de cana processada seriam requeridos cerca de 22 m³ de água.

É importante destacar que esse valor não reflete o consumo de água pelo setor sucroalcooleiro, uma vez que práticas de gestão de recursos hídricos têm sido adotadas, a exemplo do reúso da água em diversas etapas do processo produtivo.

São ainda apontados os usos específicos de água para cada etapa de produção relacionando-os com as quantidades de cana total, cana para açúcar, produção de etanol ou quantidade de vapor gerado, conforme o caso.

Tabela 3.9 - Usos Médios da Água: Unidades Produtoras de Açúcar e Etanol

Setor	Finalidade		Uso Específico	Uso Médio	
				(m ³ /t cana)	(%)
Alimentação, preparação e extração (moendas e difusores)	Lavagem de Cana		2,2 m ³ /t cana total	2,2	9,9
	Embebição		0,25 m ³ /t cana total	0,25	1,1
	Resfriamento de mancais		0,035 m ³ /t cana total	0,035	0,2
	Resfriamento óleo		0,130 m ³ /t cana total	0,13	0,6
	<i>Subtotal</i>			2,615	11,82
Tratamento de Caldo	Resfriamento Coluna Sulfitação ⁽¹⁾		0,10 m ³ /t cana para açúcar	0,05	0,2
	Preparo de Leite de Cal		0,03 m ³ /t cana total	0,03	0,1
	Preparo de polímero ⁽¹⁾		0,015 m ³ /t cana total	0,008	0,0
	Aquecimento do caldo	p/ açúcar ⁽¹⁾	160 kg vapor/t açúcar	0,080	0,4
		p/ etanol ^{(2) (4)}	50 kg vapor/t etanol	0,025	0,1
	Lavagem da torta de filtro		0,03 m ³ /t cana total	0,03	0,1
	Condensadores dos Filtros		0,30 a 0,35 m ³ /t cana total	0,35	1,6
<i>Subtotal</i>			0,573	2,59	
Fábrica de Açúcar ⁽¹⁾	Vapor para evaporação		0,414 t/t cana p/ açúcar	0,207	0,9
	Condensadores/Multijatos Evaporadores		4 a 5 m ³ /t cana p/ açúcar	2,25	10,2
	Vapor para cozimento		0,170 t/t cana açúcar	0,085	0,4
	Condensadores/Multijatos Cozedores		8 a 15 m ³ /t cana p/ açúcar	5,75	26,0
	Diluição de Méis e Magmas		0,05 m ³ /t cana p/ açúcar	0,03	0,1
	Retardamento do cozimento		0,02 m ³ /t cana p/ açúcar	0,01	0,0
	Lavagem do Açúcar (1/3 água e 2/3 vapor)		0,03 m ³ /t cana p/ açúcar	0,015	0,1
	Retentor de pó de açúcar		0,04 m ³ /t cana p/ açúcar	0,02	0,1
<i>Subtotal</i>			8,367	37,82	
Fermentação ⁽²⁾	Preparo do Mosto		0 a 10 m ³ /m ³ etanol residual	0,1	0,5
	Resfriamento do Caldo		30 m ³ /m ³ etanol	1,25	5,6
	Preparo do Pé de Cuba		0,01 m ³ /m ³ etanol	0,001	0,0
	Lavagem gases CO ₂ fermentação		1,5 a 3,6 m ³ /m ³ etanol	0,015	0,1
	Resfriamento de Dornas		60 a 80 m ³ /m ³ etanol	3,00	13,6
<i>Subtotal</i>			4,366	19,73	

continua...

Tabela 3.9 - Usos Médios da Água: Unidades Produtoras de Açúcar e Etanol
conclusão

Setor	Finalidade	Uso Específico	Uso Médio	
			(m ³ /t. cana)	(%)
Destilaria ⁽²⁾	Aquecimento (vapor)	3,5 a 5 kg/m ³ etanol	0,36	1,6
	Resfriamento Condensadores	80 a 120 m ³ /m ³ etanol	3,5	15,8
	Subtotal		3,86	17,45
Geração de Energia	Produção de vapor direto	400 a 600 kg/t cana total	0,5	2,3
	Dessuperaquecimento	0,03L/kg vapor	0,015	0,1
	Lavagem gases da caldeira	2,0 m ³ /t vapor	1,00	4,5
	Limpeza dos cinzeiros	0,5 m ³ /t vapor	0,25	1,1
	Resfriamento óleo e ar turbogeradores	15L/kW	0,5	2,3
	Água torres de condensação ⁽³⁾	38 m ³ /t vapor	6,0 ⁽³⁾	27,1
	Subtotal		2,265	10,24
Outros	Limpeza de Pisos e Equipamentos	0,05 m ³ /t cana total	0,05	0,2
	Uso Potável	70L/funcionário.dia	0,03	0,1
	Subtotal		0,08	0,36
TOTAL			22, 126	100%

Notas: ⁽¹⁾ itens que não participam do processo de fabricação do etanol;

⁽²⁾ itens que não participam do processo de fabricação de açúcar;

⁽³⁾ itens que participam apenas no caso de produção de energia excedente não sendo computados nas somas;

⁽⁴⁾ recuperando-se o calor do caldo para o mosto.

Fonte: Elia Neto e Shintaku, 2009a.

Da análise da Tabela 3.9 verifica-se que no setor de alimentação, preparação e extração do caldo (moendas e difusores), a lavagem da cana é que demanda maior uso de água, da ordem de 2,2 m³/t cana total, em média. Como, em geral, as águas utilizadas nessa etapa circulam em circuito fechado, se verifica uma redução dos volumes de água captados.

De acordo com Elia Neto e Shintaku (2009a) a quantidade de água utilizada na lavagem da cana depende da inclinação da mesa de recepção da cana. As mesas planas ou com baixa inclinação (12° a 18°), usadas no passado, requeriam maior quantidade de água (cerca de 10 m³/t

cana total), enquanto que nas mesas atuais, com inclinação de 45°, ocorre um maior contato entre a cana e a água, aumentando a eficiência da lavagem e requerendo taxas de uso de água menores, em torno de 5m³/t cana total. Com a não lavagem da cana picada, colhida mecanicamente, e considerando que a usina pode receber os dois tipos de cana (inteira e picada) estimou-se o uso de água para lavagem da ordem de 2,2 m³/t cana total.

Segundo esses autores, a alternativa tecnológica para essa etapa é a eliminação do uso da água, utilizando-se o processo de limpeza a seco. Nesse sistema necessita-se de pequena parcela de água para limpeza das correntes, esteiras e mesas alimentadoras.

A embebição das moendas é realizada, em geral, com água condensada oriunda da própria cana, tendo-se uma taxa de embebição na faixa de 25 a 30%. Para evitar entupimento e corrosão, o resfriamento dos mancais da moenda deve ser realizado com água limpa e fria, estimando-se para uma moenda de 6 ternos, com potência específica de 13 CV/t, uma taxa de uso de 0,035 m³/t cana total (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Esses autores apontam que o resfriamento do óleo dos equipamentos da área de preparo e extração (picadores, desfibradores e redutores) deve ser realizado com água limpa, preferencialmente potável, com uma taxa média de uso de 0,13 m³/ t cana.

O uso médio de água no tratamento do caldo para produção de açúcar e etanol é da ordem de 0,573 m³/t cana, conforme especificado na Tabela 3.9, sendo que desse total cerca de 30% é utilizado no resfriamento da coluna de sulfitação, preparo do leite de cal e polímero, e lavagem da torta do filtro rotativo a vácuo.

Elia Neto e Shintaku (2009a) informam que a água para lavagem da torta do filtro deve ser de boa qualidade, pois irá compor o caldo, e com temperatura de 75° a 80°C, de forma a melhorar a extração e manter quente a cera contida na torta evitando impermeabilizar o sistema, sendo comum a utilização de condensado. Faz-se necessária ainda a lavagem da tela dos filtros para sua desobstrução, utilizando água numa quantidade variável, que normalmente é enviada para compor a embebição das moendas ou para diluir a própria torta.

De acordo com esses autores, a utilização de prensa desaguadora para filtragem da torta, por sua vez, requer uma maior quantidade de água, além da adição de polímero (8 a 15 ppm), e de leite de cal para garantir um pH de 8,0 a 8,5.

Na condensação dos vapores do filtro rotativo a vácuo e na coluna barométrica do condensador, que sela o sistema de vácuo, é utilizada água fria. Em geral, o sistema opera com um condensador barométrico para condensação do vapor e uma bomba de vácuo para remoção do ar. Segundo Elia Neto e Shintaku (2009a) a quantidade de água necessária é de 0,3 m³/t cana total.

Alternativamente, são utilizados multijatos, com a dupla função de condensação dos vapores e arraste do ar, que requerem cerca de 20 a 25% mais água para condensar os vapores e arrastar o ar do condensador. Elia Neto e Shintaku (2009a) informam que a média de uso de água do setor sucroalcooleiro nessa operação é de 0,35 m³/t cana.

A fábrica de açúcar, por sua vez, se configura como a unidade onde o uso da água é intenso, respondendo por cerca de 38% do total (Tabela 3.9). A maior demanda de água concentra-se nos condensadores barométricos e/ou multijatos dos evaporadores e cozedores.

O total de água evaporada nos evaporadores é da ordem de 0,75 t/t cana, sendo que o vapor vegetal da última caixa é condensado no condensador barométrico e incorporado na água de resfriamento (0,084 t/t cana). O condensador barométrico dos evaporadores demanda um total de água de cerca de 4m³/t cana para açúcar, valor que considera o uso de água para formação do selo na bomba de ar do condensador. Nos multijatos essa demanda é de 20 a 25%, ou seja, 5 m³/t cana para açúcar (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

Esses autores apontam que a demanda de água de resfriamento dos condensadores barométricos dos cozedores é da ordem de 8 m³/t cana para açúcar, enquanto que nos multijatos essa demanda é de 9,5 m³/t cana para açúcar. Considerando que as operações são por batelada e as taxas de evaporação variam com o tempo, existindo diversos equipamentos funcionando em diferentes estágios, foi adotado um coeficiente de majoração de 50% de água no circuito, para

garantir a água necessária, atingindo-se taxas de uso de água variando de 8 a 15 m³/t cana para açúcar.

Na produção de etanol a demanda de água representa 37% do total requerido, considerando uma unidade que produza 50% de açúcar e 50% de etanol, conforme consta da Tabela 3.9.

O resfriamento das dornas de fermentação e dos condensadores da destilaria requer os volumes mais significativos de água, verificando-se que não é desprezível o uso da água para o resfriamento do caldo (mosto) para fermentação (30m³/m³ etanol).

Elia Neto e Shintaku (2009a) apontam que a quantidade de água para resfriamento das dornas é da ordem de 70 L água/L etanol, utilizando-se uma taxa de 60 a 80 litros para cada litro de etanol produzido, ou cerca de 6m³/t cana para etanol, considerando uma produtividade média de 85 L etanol/t cana. A água deve ser fria e isenta de sólidos. Na lavagem dos gases da fermentação (CO₂) a quantidade de água utilizada é de 3,6 m³/m³ etanol (ou 0,31 m³/t cana para etanol) quando se utiliza torre de lavagem de gases e, no caso de torre com pratos valvulados, 1,5 m³/m³ etanol (ou 0,13 m³/t cana para etanol).

A condensação dos vapores alcoólicos das colunas de destilação também requer grandes volumes de água. A taxa de uso de água para condensação e resfriamento do etanol, segundo esses autores, é estimada em 80 a 120 litros por litro de etanol produzido, respectivamente para hidratado e anidro, ou ainda 7 a 10 m³/t cana para etanol.

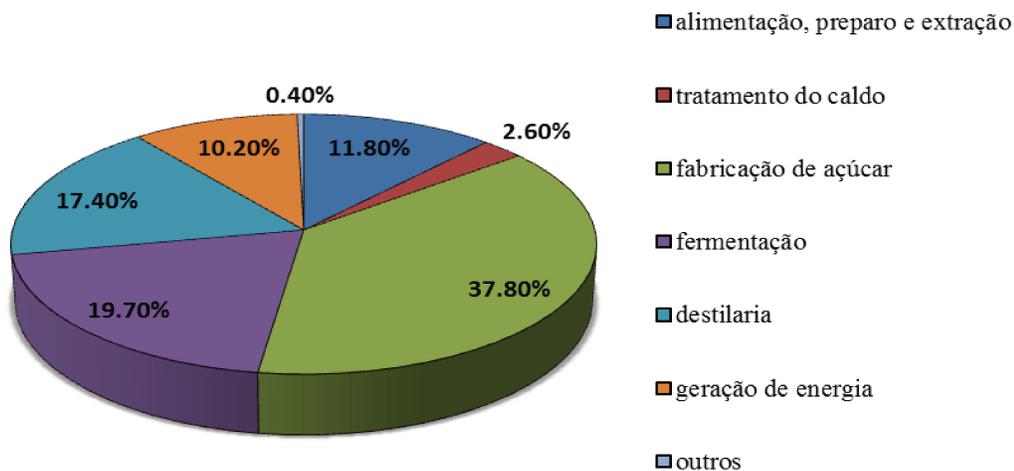
Na área de geração de energia o uso médio de água não é elevado se comparado aos demais. Segundo Elia Neto e Shintaku (2009a) faz-se necessário o uso de água para a geração de vapor direto, inicialmente usado para gerar a força motriz, devendo sobrar energia suficiente no vapor de escape para as necessidades térmicas do processo. Os usos de vapores de baixa pressão como fonte de energia térmica para o processo é uma modalidade de reúso de água na forma de vapor que já foi utilizado nas máquinas. O vapor direto, após seu uso, transforma-se em vapor de escape que, após o reúso, torna-se água condensada, que juntamente com uma parte de água tratada de reposição (“make-up”), é desaerada e alimenta novamente a caldeira.

A utilização de lavadores de gases das caldeiras requer um volume de água da ordem de 2m³/t vapor. Considerando uma produção de vapor média de 500 kg/t cana, a quantidade de água necessária é de 1 m³/t cana. A limpeza dos cinzeiros das caldeiras mais antigas é realizada com água de forma contínua, requerendo 0,25m³/t cana, para uma produção média de vapor de 500 kg/t cana, conforme consta da Tabela 3.9.

As quantidades de água para limpeza de pisos e equipamentos e uso potável são muito variáveis. Para a limpeza de pisos e equipamentos, em geral, é utilizada água de reúso, tendo-se como estimativa aceitável 50L/t cana, enquanto que para uso doméstico a Tabela 3.9 aponta um uso médio de 30L/t cana, que é oriunda de poços profundos ou águas superficiais tratadas em ETA.

Verifica-se que nas usinas com destilaria anexa, que produzem 50% de açúcar e 50% de etanol, as operações de lavagem da cana, concentração do caldo (multijatos/condensadores), resfriamento de dornas e condensação do vinho para obtenção de etanol, envolvem um volume de água de cerca de 87%. Na Figura 3.10 é possível visualizar essa distribuição.

Figura 3.10 - Indústria Sucroalcooleira: Usos Setoriais da Água



Fonte: modificada de Elia Neto e Shintaku, 2009a.

No Estado de São Paulo a utilização de recursos hídricos pelo setor sucroalcooleiro deverá ser minimizada tendo em vista que a Resolução SMA nº 67, de 18 de setembro de 2008 (SÃO PAULO, 2008a), estabelece que o licenciamento ambiental de novos empreendimentos e de ampliações de empreendimentos existentes do setor, ficará condicionado à demonstração de minimização da utilização de recursos hídricos, cujos limites foram estabelecidos em função da localização.

Essas áreas foram definidas através da Resolução Conjunta SMA-SAA Nº 004, de 18 de setembro de 2008 (SÃO PAULO, 2008b), que levou em conta a aptidão edafoclimática para a cana de açúcar, restrições à colheita mecânica, disponibilidade de águas superficiais, importância para proteção à biodiversidade e vulnerabilidade das águas subterrâneas. As áreas foram classificadas como:

- ✓ adequada: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana de açúcar e sem restrições ambientais específicas;
- ✓ adequada com limitações ambientais: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para cultura da cana de açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA-FAPESP; e, as bacias hidrográficas consideradas críticas;
- ✓ adequada com restrições ambientais: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana de açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e, áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAEE - 1997; e,
- ✓ inadequada: corresponde às Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI estaduais e federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das Áreas de Proteção Ambiental - APAs; às áreas com restrições

edafoclimáticas para cultura da cana de açúcar; e, às áreas com declividade superior a 20%.

A Resolução SMA 67/2008 (SÃO PAULO, 2008a) estabelece que nas áreas classificadas como adequadas e adequadas com limitações ambientais deverá ocorrer a minimização da utilização de recursos hídricos, adotando o limite máximo de 1 m³ de água por tonelada de cana moída. Nas áreas adequadas com restrições ambientais esse limite é de 0,7 m³/t cana moída.

Essa Resolução estabelece ainda que para a renovação da Licença de Operação dos empreendimentos já licenciados o empreendedor deverá apresentar um plano de adequação a essas condicionantes. A renovação da Licença de Operação de usinas de açúcar deve ocorrer a cada 03 (três) anos, e de unidades de fabricação de etanol a cada 02 (dois) anos, conforme determina o Decreto Estadual nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002 (SÃO PAULO, 2002b), que dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

3.7.3 Principais Efluentes da Indústria Sucroalcooleira e Tecnologias de Tratamento

Verifica-se que as etapas de lavagem de cana, concentração do caldo na produção de açúcar (condensadores/multijatos dos evaporadores e cozedores), e resfriamento das dornas e condensadores na produção de etanol, envolvem volumes expressivos de água, que se constituem, juntamente com as águas de lavagem de pisos e a vinhaça, nos principais efluentes gerados nas unidades de produção de açúcar e etanol.

A água utilizada na lavagem da cana ou no escoamento de resíduos quando se emprega a limpeza a seco é, em geral, captada no início da safra e quase sempre recirculada, operando em

circuito fechado. Para tanto se faz necessária a remoção dos sólidos suspensos e sedimentáveis, e a correção do pH entre 9 e 10, de forma a evitar corrosão dos equipamentos (ELIA NETO; SHINTAKU, 2009a).

A fermentação da sacarose presente nesse efluente confere ao mesmo um caráter ácido. Em geral, utiliza-se hidróxido de cálcio para a correção do pH. Os sólidos são removidos em tanques de decantação, e encaminhados à lavoura de cana. Os volumes de material sedimentado variam em função das especificidades de cada unidade industrial. Albuquerque (2005) estudou duas unidades de produção de açúcar e etanol e verificou que a massa de sedimentos na primeira unidade foi de 6,25 kg/t de cana, enquanto que na segunda foi de 21 kg/t de cana, com teor de umidade de 70%. Em caso de lançamento em corpos de água os efluentes necessitam de tratamento em lagoas de estabilização.

Segundo Elia Neto e Shintaku (2009a), o efluente do resfriamento dos condensadores ou multijatos do filtro rotativo a vácuo pode conter impurezas orgânicas arrastadas pelo caldo (pH ácido e $DBO_{5,20}$ baixa), e temperatura em torno de 50°C. É encaminhado para destino final ou reúso com os efluentes dos condensadores barométricos/multijatos dos evaporadores e cozedores.

As águas dos condensadores barométricos e as águas condensadas dos evaporadores têm sua origem na concentração do caldo. O cuidado fundamental é evitar os arrastes de sacarose que saem em forma de gotículas de caldo, carregadas pelas rápidas correntes de vapor existentes nesses equipamentos. O arraste cresce com o vácuo, sendo o último da série de evaporadores o mais prejudicado. Em função da existência ou não de separadores de arraste e dependendo da eficiência desses, as perdas de caldo de cana concentrado em sistemas de evaporação múltiplo efeito chegam a variar de 3% até menos de 0,1% (CENTURION; TARALLI, 1978).

Por sua vez, as caixas de vácuo para o cozimento do açúcar utilizam um sistema hidrojetor na saída de cada caixa para criar vácuo interno, diminuindo o tempo de cozimento. O vapor que passa pela caixa carrega açúcar para o sistema hidrojetor, que acaba por descartar água e açúcar. A instalação de eliminadores de arraste permite diminuir as perdas de açúcar e, conseqüentemente, a carga poluidora de origem orgânica presente nesses efluentes.

Esses efluentes, apesar de apresentarem baixos teores de $DBO_{5,20}$, possuem elevada carga poluidora, uma vez que os volumes de água envolvidos são relativamente altos. Outra característica que merece ser ressaltada é a temperatura dessas águas que pode atingir até $50^{\circ}C$, conforme relatado por Elia Neto (2008). A sua reutilização implica na redução da temperatura, que pode ocorrer em sistemas de resfriamento de água, tais como: lagoas de resfriamento, lagoas de nebulização ou torres de resfriamento. As perdas de água no sistema de resfriamento evaporativo são parcialmente compensadas pelo vapor condensado no condensador a vácuo.

Para o lançamento em corpos receptores se faz necessário o atendimento aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005a), a temperatura de lançamento deverá ser inferior a $40^{\circ}C$, sendo que a variação da temperatura do corpo receptor não poderá exceder $3^{\circ}C$ na zona de mistura. Assim pode ser necessária a utilização de sistemas de resfriamento, caso a temperatura do efluente não atenda a esse padrão.

O resfriamento do caldo (mosto) para fabricação do etanol gera um efluente com temperatura de cerca de $45^{\circ}C$, que é tratado em conjunto com os demais efluentes da destilaria.

As águas de resfriamento de dornas e condensadores nas unidades de produção de etanol apresentam valores de $DBO_{5,20}$ da mesma ordem das águas de captação, uma vez que são utilizadas apenas para resfriamento. De acordo com Kesserlingh (2002) eventuais aumentos na $DBO_{5,20}$ ou DQO podem ter origem na contaminação por águas de lavagem de pisos (mesma rede de lançamento), no vazamento de fermentados pelas serpentinas de dornas, ou mesmo pela perda de etanol nos condensadores.

As temperaturas nos efluentes do resfriamento das dornas são menores que $35^{\circ}C$, enquanto que no resfriamento dos condensadores alcançam até $50^{\circ}C$.

Os efluentes da destilaria são tratados conjuntamente, com o objetivo de diminuir a temperatura, em torres de resfriamento ou tanques aspersores, sendo, em geral, mantidos em circuito fechado.

Por sua vez, os efluentes dos lavadores de gases das caldeiras têm como característica principal as altas temperaturas, que podem chegar a 80°C. São tratados em lagoas de decantação-floação e, em geral, recirculados. O material retido nas lagoas é enviado à lavoura como resíduo sólido (ELIA NETO; SHINTAKU 2009a).

A vinhaça, por sua vez, é o principal efluente da produção de etanol considerando o seu volume e potencial poluidor. De acordo com Elia Neto e Shintaku (2009a), possui temperatura alta, elevada DBO_{5,20}, altas concentrações de sólidos, e vem sendo utilizada na lavoura, para irrigação da cana, por ser rica em potássio, nitrogênio e micronutrientes. É também reutilizada para aquecer o vinho que será destilado.

A flegmaça, originada na segunda coluna (ou coluna B) da retificação do etanol é um efluente quente (90°C), com expressiva quantidade de matéria orgânica (DBO_{5,20} da ordem de 1.170 mg/L), pH ácido e presença de sais dissolvidos. Em geral é incorporada à vinhaça ou às águas residuárias e aplicada na fertirrigação (ELIA NETO; SHINTAKU 2009a).

As águas de lavagem de pisos e equipamentos (evaporadores, vácuos, dentre outros) não envolvem grandes volumes, No entanto, segundo Kesserlingh (2002), constituem-se em águas contaminadas, geralmente por açúcar, presente nos equipamentos e eventuais derramamentos de açúcar e resíduos de bagaço nos pisos. Podem conter ainda alta concentração de sólidos sedimentáveis, além de óleos e graxas quando proveniente da seção das moendas.

Na Tabela 3.10 são mostrados dados relativos à demanda bioquímica de oxigênio e temperatura dos efluentes, conforme estudo realizado pela COPERSUCAR em 1985 (apud KESSERLINGH, 2002). Observa-se que nos circuitos fechados os valores de DBO_{5,20} são elevados devido à concentração de carga orgânica.

Tabela 3.10 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) e Temperatura dos Efluentes Líquidos de Indústrias Sucroalcooleiras

Efluente	DBO_{5,20} (mg/L O ₂)	Temperatura (°C)
Águas de colunas barométricas (circuito fechado)	50-1000	40-45
Águas de lavagem de cana (circuito aberto)	120-300	25-35
Águas de lavagem de cana (circuito fechado)	2000-4000	
Águas condensadas	100-500	70-80
Águas de lavagem de piso e equipamentos	800-1500	25-50
Águas de resfriamento de dornas e condensadores	-	35-45
Vinhaça	20.000	85-90

Fonte: COPERSUCAR (1985), apud Kesserlingh (2002).

Na Tabela 3.11, por sua vez, resumem-se características dos efluentes gerados na fabricação de açúcar e etanol, de acordo com Elia Neto e Shintaku (2009a).

Tabela 3.11 - Produção de Açúcar e Etanol: Resumo das Características dos Efluentes

Efluente	Vazão Específica	pH	T (°C)	RS (mL/L)	DQO (mg/L)	DBO_{5,20} (mg/L)	OG (mg/L)
Lavagem de cana	2 a 5 (m ³ /t cana)	5 a 6	amb.	5 a 10	280 a 700	180 a 500	0
Resfriamento de equipamentos (moendas,turbinas e turbo geradores)	0,715 (m ³ /t cana)	7	<30	<0,5	0	0	-
Colunas barométricas e multijatos (fábrica de açúcar)	70 a 100 (L/kg açúcar)	6 a 7	45	<0,2	20 a 80	10 a 40	0
Resfriamento Destilaria	Caldo p/ mosto	30 (L/L etanol)	7	<45	0	0	0
	Dornas	60 a 80 (L/L etanol)	7	<35	0	0	0
	Condensadores	80 a 120 (L/L etanol)	7	50 a 60	0	0	0
	Total	200 (L/L etanol)	7	50	0	0	0
Lavagem de gases da caldeira	2 (L/kg vapor)	8	80	50 a 100	200 a 300	100 a 150	-
Condensados	Vapor escape	40 a 50 (L/kg açúcar)	7	80	0	0	0
	Vapor vegetal	50 a 60 (L/kg açúcar)	5 a 6	60 a 80	0	600 a 1.500	300 a 800
Limpeza de pisos e equipamentos	50 (L/t cana)	5 a 6	amb.	<0,5	1.000 a 3.000	800 a 1.500	>20
Esgoto doméstico	70 (L/func.dia)	6 a 7	amb.	5-20	600	300	-
Vinhaça e flegmaça	12 a 18 (L/L etanol)	4 a 4,5	80	3-5	25.000 a 40.000	15.000 a 20.000	8

Fonte: Elia Neto e Shintaku, 2009a.

4 METODOLOGIA

Para realizar os trabalhos e cumprir com os objetivos propostos, foram adotados os seguintes passos:

- ✓ revisão bibliográfica;
- ✓ levantamento de dados nas unidades produtivas em estudo;
- ✓ medição de vazão nos principais circuitos de água;
- ✓ avaliação da qualidade das águas e efluentes nos principais circuitos identificados; e,
- ✓ simulação dos preços cobrados pelo uso da água.

4.1 Levantamento de Dados nas Unidades Produtivas em Estudo

O levantamento de dados permitiu caracterizar as duas unidades produtivas objeto de estudo com relação ao seu porte, localização, disponibilidade hídrica, processo produtivo e usos da água. Ocorreu durante as diversas visitas realizadas no período de 2007 a 2010 (com ênfase no ano de 2008) e, foi priorizado, num primeiro momento, o entendimento das operações unitárias envolvidas na fabricação de açúcar e etanol, bem como os usos da água nos circuitos associados à lavagem/limpeza da cana, extração e tratamento do caldo, concentração do caldo na fábrica de açúcar, fermentação e destilação na fábrica de etanol e, geração de energia.

Nas duas unidades as visitas foram acompanhadas por profissionais da área operacional, permitindo a discussão das especificidades associadas aos processos, bem como aos usos da água. Realizou-se ainda entrevistas com os gerentes dessas unidades.

Foram disponibilizados dados relativos à produção, equipamentos, vazões, projetos em andamento, e os planos de melhoria ambiental e de aplicação de vinhaça apresentados à CETESB. Esse último para atendimento à Norma Técnica CETESB P4.231 (CETESB, 2006).

4.2 Medição de Vazão

Realizou-se a medição de vazão nas tubulações utilizando um aparelho medidor de vazão ultrassônico portátil e, nos canais de adução, utilizou-se de micro molinete. Em visitas preliminares às unidades produtivas foi possível identificar os pontos de medições de vazão, e selecionar o tipo de equipamento a ser utilizado. Os pontos de interesse para essas medições foram, prioritariamente, aqueles relativos às etapas onde os usos da água foram identificados como mais significativos (item 3.7.2), associados aos circuitos para os quais se dispunham de informações fornecidas pelas unidades em estudo (tabelas 5.5 e 5.6 - item 5.3.1).

A opção de usar medidores ultrassônicos nas tubulações se deveu ao fato de que esses equipamentos permitem realizar medições de forma não intrusiva, o que significa medir fluxo a partir da superfície do tubo. Os sensores são montados na tubulação e as medições de fluxo efetuadas sem interrompê-lo, além de não necessitar da parada do processo de fabricação para a instalação do equipamento.

Possui a vantagem de disponibilizar diversos sensores, possibilitando a medição em tubulações de diferentes diâmetros, sendo necessária a configuração dos parâmetros relativos às dimensões da tubulação e características do líquido, no caso água.

O sistema de medição utilizado compõe-se de um medidor de vazão ultrassônico portátil, Modelo UNIFLOW 1010PTR-TIGZ e sensores 1011PPS-C3, 1011PPS-D2, e 1011PPS-E2. As medições foram realizadas por empresa especializada contratada pela Fundação de Desenvolvimento da Unicamp - FUNCAMP, com leituras efetuadas a cada minuto, durante dez minutos, calculando-se a média simples das vazões medidas, excluindo-se aquelas que

apresentaram erro de leitura. Visando minimizar interferências se procedeu à retirada das camadas de tinta que cobriam as tubulações, nos pontos em que os sensores foram instalados.

O medidor de vazão em questão possui os princípios de funcionamento denominados “tempo de trânsito” e “Doppler”, e instalam-se os sensores do instrumento distanciados em relação à perpendicular da tubulação. Os dois sensores emitem e recebem o sinal de medição, sendo que o sinal transmitido a favor do sentido do fluxo sofre uma aceleração, e o sinal emitido contra o sentido de fluxo sofre um atraso. Essa aceleração/atraso gera uma diferença de tempo diretamente proporcional à velocidade do fluxo do líquido.

Dessa forma:

$\Delta t=0 \rightarrow$ velocidade do líquido=0

$\Delta t=X \rightarrow$ velocidade do líquido $\propto X$

O instrumento, após ter o valor da velocidade do líquido, faz uma operação matemática utilizando os dados de material construtivo, espessura e diâmetro da tubulação gerando o valor da vazão do líquido, que pode ser configurado para diversas unidades de leitura.

Outra vantagem desse princípio é que o sinal de medição atravessa totalmente a tubulação na linha central (em referência ao diâmetro) permitindo que sejam obtidas todas as velocidades existentes no líquido, gerando assim um sinal de medição equivalente à média geral das velocidades obtidas, proporcionando uma precisão da ordem de 1 a 2% do valor medido.

No aparelho é realizada, em cada ponto a ser medido, uma série de cálculos no momento da instalação do software e, ao término da instalação, o mesmo informa o nível mínimo de sinal que o medidor pode funcionar antes de entrar em falha. Esse nível mínimo varia de ponto para ponto e, em média, ocorre em torno de 8 (oito).

Segundo a empresa responsável pelas medições, as variáveis que podem interferir nos resultados obtidos são:

- ✓ o fluido a ser medido não estar preenchendo toda a secção do tubo;
- ✓ o líquido apresentar sólidos em suspensão acima de 30%;

- ✓ o líquido apresentar alta aeração;
- ✓ a tubulação ter grande quantidade de incrustação interna;
- ✓ tubulações com revestimento interno devem apresentar boa adesão do revestimento ao tubo;
- ✓ posicionamento dos sensores. De modo a obter boa precisão de indicação do medidor, é necessário manter os sensores posicionados em um trecho reto mínimo de 10 diâmetros a montante, e 5 diâmetros a jusante. Caso não seja possível, o tubo deverá ter um trecho reto mínimo equivalente à régua de montagem dos sensores, o que implicará numa possível perda de precisão de indicação;
- ✓ tubulações pintadas, pois a tubulação pode possuir várias camadas de tinta ou a mesma ser muito espessa provocando a atenuação do sinal; e,
- ✓ temperatura do líquido, que deve estar na faixa de -20 a 119 °C.

A empresa informou ainda que a aeração pode ser indicada pelo instrumento não apenas pela presença de gases dissolvidos no fluido, mas também quando há cavitação da bomba e sólidos em suspensão no fluido. Não existe consenso sobre um valor máximo de aeração e também não há nenhuma menção nas especificações ou no manual do fabricante do medidor. O medidor de vazão funciona até o momento que a aeração não permite mais a condução/propagação do sinal ultrassônico.

Visando minimizar interferências se procedeu à retirada das camadas de tinta que cobriam as tubulações, nos pontos em que os sensores foram instalados. Na Figura 4.1 são ilustrados aspectos das medições de vazão utilizando esse aparelho.

Foi necessário levantar as características das tubulações (diâmetro, tipo de material, espessura da parede), e do fluido (tipo, temperatura, concentração de sólidos suspensos). Dessa forma, depois de identificadas as tubulações possíveis de se aplicar esse método de medição de vazão, considerando as interferências anteriormente relacionadas, realizou-se um inventário das mesmas com anotação das grandezas necessárias. A água foi o fluido objeto de estudo e suas características eram conhecidas, uma vez que as análises laboratoriais realizadas no âmbito desse estudo já haviam ocorrido (item 5.5).

Figura 4.1 - Medidor de Vazão Ultrasônico Portátil



(a)



(b)

Notas: (a) sensores de medição; e, (b) equipamento de leitura das vazões.

Fonte: elaborada pela autora.

Por sua vez, as medições vazões nos canais de adução a céu aberto foram realizadas por técnico do Departamento de Recursos Hídricos, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP.

Utilizou-se um micro molinete, considerando as pequenas dimensões dos canais. O aparelho mede o número de rotações, no período de tempo estabelecido, e cada hélice tem uma equação para o cálculo da velocidade a partir do número de rotações medidas por segundo. Essa relação é tipicamente linear, do tipo:

$$V = n.a + b \quad (4.1)$$

Onde:

V - velocidade

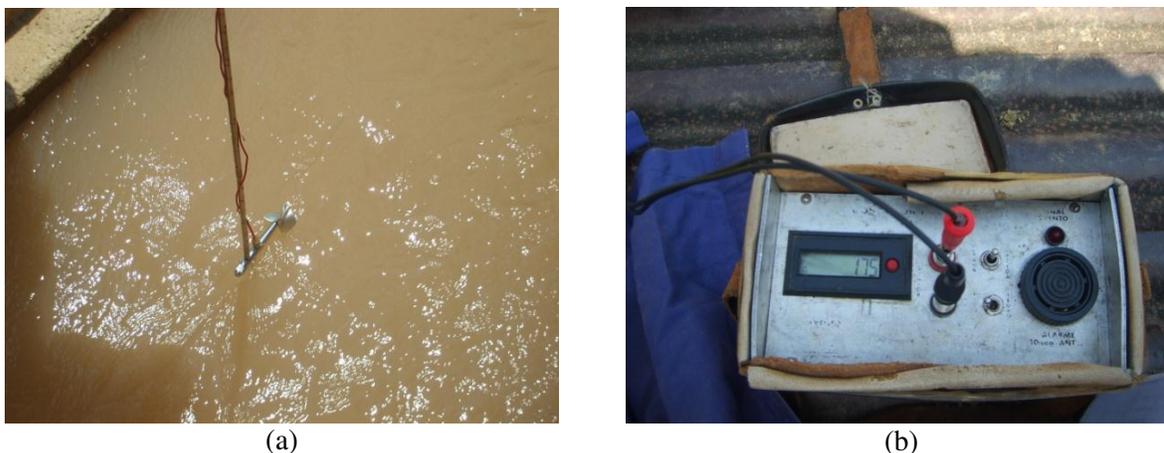
n – número de rotações por segundo; e,

a, b – constantes, sendo a “o passo da hélice”, e b “a velocidade de atrito”.

A hélice é ajustada na haste a uma altura correspondente a 60% da altura do nível de água na canaleta onde é efetuada a medição, e posicionada na direção da contra corrente do fluxo. O equipamento conta com um contador digital de parada automática que registra todas as

rotações do molinete, ajustado para emitir um impulso a cada revolução. Esses impulsos acionam um contador de impulsos (eletromecânico ou eletrônico) que fica acoplado a um cronômetro de contagem regressiva. Após o tempo pré-programado (foi estabelecido 01 minuto no presente estudo), o cronômetro atinge o valor zero e o contador para, indicando o total de rotações do molinete no período (SANTOS et al., 2001). Na Figura 4.2 é possível visualizar o molinete e o contador digital utilizado.

Figura 4.2 – Micro Molinete para Medição de Vazão



Notas: (a) micro molinete - hélice presa à haste; e, (b) contador digital.
Fonte: elaborada pela autora

No desenvolvimento dos trabalhos utilizou-se um Molinete Fluviométrico AOTT nº 16785, hélice 3 nº 17247. A equação do molinete utilizado é:

$$V = 0,2540n + 0,005. \quad (4.2)$$

4.3 Caracterização Qualitativa

Visando a caracterizar qualitativamente as águas envolvidas nos processos produtivos foram coletadas amostras simples de água e efluentes. Em 2008, as coletas foram realizadas por

técnicos da CETESB - Agência Ambiental de Sorocaba e analisadas no Setor de Laboratório de Sorocaba dessa Agência Ambiental. Procedeu-se o acompanhamento das coletas.

Os parâmetros avaliados pela CETESB (2008) foram: temperatura do ar e da água (°C), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), demanda bioquímica de oxigênio – $\text{DBO}_{5,20}$ ($\text{mg}/\text{L O}_2$), demanda química de oxigênio – DQO ($\text{mg}/\text{L O}_2$), sólidos totais (mg/L), sólidos filtráveis (mg/L), sólidos não filtráveis (mg/L), sólidos sedimentáveis (mL/L) e, turbidez (UNT).

Em 2010, as amostras foram coletadas pela autora apenas no circuito da fabricação de açúcar da Unidade I e analisadas no laboratório da Estação de Tratamento de Esgotos Sorocaba 1, operado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE Sorocaba. Nessa oportunidade, avaliaram-se os parâmetros: temperatura do ar e da água (°C), $\text{DBO}_{5,20}$ ($\text{mg}/\text{L O}_2$) e, DQO (mg/LO_2) (SAAE, 2010).

As análises foram realizadas com base nos métodos de ensaio constantes da 20^a Edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA-AWWA-WEF), conforme consta dos relatórios de ensaio disponibilizados pela CETESB (2008) e SAAE (2010).

As avaliações de pH foram realizadas nos laboratórios das unidades em estudo. A Unidade I dispõe de um medidor de pH digital, marca Digimed, enquanto que a unidade II conta com um medidor de pH digital, marca Gehaka (modelo PG 1800). A opção de realizar as avaliações de pH nas próprias usinas se deveu à necessidade de análise imediata desse parâmetro, após a coleta, que não permite a adoção de práticas de preservação.

As temperaturas do ar e da água foram avaliadas em campo. As amostras para determinação dos demais parâmetros foram coletadas com auxílio de um balde metálico, transferidas para frascos de polietileno, acondicionadas em caixas térmicas, refrigeradas e transportadas até o laboratório. As amostras de DQO foram preservadas com adição de H_2SO_4 até atingir o $\text{pH} < 2$, medido em campo com utilização de papel indicador universal de pH 0-14, marca Merck.

O teor de umidade do material sedimentado no tanque de decantação de sólidos da limpeza da cana na Unidade II foi avaliado em seu laboratório industrial com o auxílio de um analisador de umidade por infravermelho, marca Gehaka, modelo IV 2002. A amostra foi homogeneizada e transferiu-se cerca de 3 cm³ para uma bandeja de 10 cm de diâmetro que foi colocada no analisador. A temperatura foi regulada para 150°C e a leitura efetuada após 30 minutos, quando o aparelho estabilizou a umidade em 76,97%.

4.4 Simulação dos Preços cobrados pelo Uso da Água

Para simulação dos preços envolvidos na cobrança pelo uso da água nas duas unidades envolvidas foi aplicada a equação 3.1 (item 3.4.4):

$$Preço\ Total = P_{cap} + P_{cons} + P_{lanç},$$

Onde:

P_{cap} = preço da captação

P_{cons} = preço do consumo

$P_{lanç}$ = preço do lançamento

Essa equação foi estabelecida pela Deliberação CRH n° 63/2006 (SÃO PAULO, 2006c) e aplicaram-se os coeficientes ponderadores que constam do Decreto n° 55.008/2009 (SÃO PAULO, 2009), cujo detalhamento encontra-se no item 3.4.4. Os volumes anuais captados, lançados e consumidos foram calculados com base nas vazões horárias informadas pelas unidades em estudo (tabelas 5.5 e 5.6) que, segundo as mesmas, constam das outorgas fornecidas pelo DAEE.

Simularam-se os preços da cobrança para a situação atual, e para as hipóteses de fechamento de todos os circuitos, e de manutenção de todos os circuitos abertos.

As cargas orgânicas lançadas resultaram do produto das vazões de lançamento e as concentrações de $DBO_{5,20}$ dos efluentes obtidas nas análises laboratoriais realizadas para a caracterização qualitativa efetuada no âmbito desse estudo (item 5.5), ou na literatura pesquisada (item 3.7.3).

No item 5.6 são detalhados os critérios e procedimentos utilizados nas simulações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Unidades Industriais Objeto de Estudo

As unidades produtivas de açúcar e etanol estudadas situam-se na UGRHI-10 e serão denominadas Unidade I e Unidade II.

A cana que chega à Unidade I é oriunda de propriedades agrícolas da empresa (55%) e de fornecedores externos (45%). Em 2008, a cana recebida teve um percentual aproximado de 52% colhida mecanicamente, e 48% colhida manualmente, após queima.

Na Unidade II, por sua vez, toda a cana processada é oriunda de fornecedores externos. Em 2008 a cana crua, colhida mecanicamente, representou 25% do total recebido, percentual esse que, em 2009, foi de 30%.

De acordo com as determinações estabelecidas na Lei nº 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2002a) e Decreto nº 47.700/2003 (SÃO PAULO, 2003) a queima da palha da cana deve ser eliminada até 2021. No entanto, o Governo do Estado de São Paulo e a UNICA, representando o setor sucroalcooleiro, assinaram, no dia 4 de junho de 2007, o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro (UNICA, 2011), que dentre as diversas diretrizes técnicas, se destaca aquela que antecipa para 2014, ou seja, em 14 anos, o prazo legal para o fim da colheita da cana de açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas mecanizáveis, cultivadas pelas usinas.

Os dados de produção, fornecidos pelas unidades do estudo, relativos às safras de 2008/2009⁷ e 2009/2010⁸, são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Produção de Açúcar e Etanol nas Unidades em Estudo

Unidades Produtivas	Produção de Cana de Açúcar (t)	Produção de Açúcar (t)	Produção de Etanol (m ³)		
			Anidro	Hidratado	Total
Safra 2008/2009					
Unidade I	1.489.255	78.014	22.630	43.140	65.770
Unidade II	941.191	38.012	0	39.793	39.793
Safra 2009/2010					
Unidade I	1.425.783	73.515	16.840	38.330	55.170
Unidade II	899.222	33.975	0	33.797	33.797

Fonte: USR, 2008a, 2009; USM, 2010.

Verifica-se que a Unidade I possui uma capacidade de produção maior que a Unidade II. A produção de cana de açúcar na primeira foi da ordem de 37% superior à segunda, enquanto que as produções de açúcar e etanol na Unidade I foram superiores, 52% e 39% às da Unidade II, respectivamente. Observe-se que nessa última não é produzido etanol anidro.

As duas unidades estão inseridas em áreas classificadas como adequadas pelo Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, estabelecido pela Resolução Conjunta SMA-SAA nº 004/ 2008 (SÃO PAULO, 2008b).

A Unidade I situa-se às margens do rio Sorocaba, no seu baixo curso, a 43 km da sua foz no rio Tietê. A vazão média de longo período (Q_M) e a vazão de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) do rio Sorocaba nesse trecho são, respectivamente, da ordem de 53,7 m³/s e 13,4 m³/s, conforme consta do Relatório de Situação de Recursos Hídricos elaborado pela Secretaria Executiva do CBH-SMT (CBH-SMT, 1997). Está inserida na sub-bacia

⁷ Período de safra: abril/maio de 2008 a dezembro de 2008

⁸ Período de safra: abril/maio de 2009 a dezembro de 2009

do Baixo Sorocaba - SB3, que apresenta uma disponibilidade hídrica de 2,27 m³/s, conforme apontado no item 3.4.2.

A Unidade II, por sua vez, está instalada às margens do Ribeirão Pau D' Alho, a 3 km da sua foz no Ribeirão do Quilombo, afluente do rio Tietê. O Ribeirão Pau D' Alho tem uma extensão de 12 km, uma bacia de drenagem da ordem de 54,2 km², e na foz a vazão média de longo período e a vazão de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos são, respectivamente, de 0,39 m³/s e 0,08 m³/s (CBH-SMT, 1997). A Unidade está inserida na sub-bacia do Médio Tietê Médio - SB2, que tem uma disponibilidade hídrica de 1,06 m³/s (item 3.4.2).

Observa-se, a partir dessas informações, que as vazões dos corpos de água utilizados para suprir as necessidades dessas duas unidades industriais são distintas. Enquanto a Unidade I se abastece em um corpo hídrico de porte, a Unidade II o faz em um pequeno ribeirão.

Essa situação se reflete na postura adotada em cada unidade no que se refere à utilização desse recurso natural. Enquanto a Unidade II possui circuitos fechados em praticamente todos os setores de produção, a Unidade I recircula as águas utilizadas na lavagem da cana e nos condensadores barométricos/multijatos da fábrica de açúcar (essa última a partir da safra 2009/2010). A Unidade II adota ainda a limpeza da cana a seco, utilizando água apenas para a lavagem das esteiras e mesas de alimentação.

No entanto deve-se observar que na sub-bacia onde se localiza a Unidade I (SB3) as demandas cadastradas superam em quase 3 vezes a disponibilidade hídrica, característica menos acentuada na SB2, onde insere-se a Unidade II, conforme consta da Tabela 3.3.

5.2 Os Processos Produtivos e Usos das Águas

Informações sobre os processos produtivos e usos das águas envolvidos nas duas unidades industriais foram obtidas durante as visitas realizadas a essas unidades ao longo do

período de desenvolvimento dos estudos. Além de entrevistas, foram disponibilizados relatórios, projetos e dados operacionais pelas empresas. Na Tabela 5.2 sumarizam-se informações sobre a origem e destino das águas utilizadas nessas unidades.

5.2.1 Unidade I

Toda a água utilizada no processo industrial, oriunda de fontes externas, é captada no rio Sorocaba. Para tanto a empresa implantou um canal de desvio nesse rio que aduz as águas ao poço da casa de bombas, situado às suas margens (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Unidade I: Captação de Água no Rio Sorocaba



(a)



(b)

Notas: (a) Rio Sorocaba ao fundo, desvio no primeiro plano e, casa de bombas à direita; e, (b) interior da casa de bombas.

Fonte: elaborada pela autora

Tabela 5.2 - Origem e Destino das Águas nas Unidades Produtivas Estudadas

Setor	Finalidade	Origem da Água		Destino dos Efluentes	
		Unidade I	Unidade II	Unidade I	Unidade II
Alimentação	Lavagem de Cana	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Álho, água da lagoa de aspersão de açúcar	Recirculado/lavoura	Recirculado/lavoura
Extração (moendas)	Embebição	Condensado	Condensado/Poço artesiano 2	Incorporado ao caldo	Incorporado ao caldo
	Resfriamento de Mancais	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado
Tratamento de Caldo	Preparo de Leite de Cal e Polímero	R. Sorocaba-ETA	Poço artesiano 2	Incorporado ao processo	Incorporado ao processo
	Resfriamento da Coluna de Sulfitação	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado (limpeza cana)
	Embebição dos Filtros	Condensado	Condensado	Incorporado ao caldo	Incorporado ao caldo
	Condensadores dos Filtros	R. Sorocaba, condensado	Condensado	Recirculado	Recirculado
Concentração do Caldo Fábrica de Açúcar	Condensadores/Multi jatos: Evaporadores	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	Recirculado	Recirculado
	Condensadores/Multi jatos: Cozedores	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	Recirculado	Recirculado
	Diluição de Méis	Condensado	Condensado	Incorporado aos méis	Incorporado aos méis
	Resfriamento dos Cristalizadores	R. Sorocaba (ETA)	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado
	Lavagem de Açúcar	R. Sorocaba (ETA)	Condensado	Recirculado	Recirculado
Geração de Energia	Lavagem de Gases: Chaminés Caldeiras	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho, água limpeza cana	R. Sorocaba	Recirculado
	Resfriamento dos Turboogeradores	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado
	Produção de vapor	R. Sorocaba (ETA), condensado	Poço artesiano 2, condensado	Caldeiras, evaporadores, cozedores, destilaria	Caldeiras, evaporadores, cozedores, destilaria
Fermentação Fábrica de Etanol	Resfriamento do Caldo	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado
	Preparo do Mosto	R. Sorocaba	Poço artesiano 2	Incorporado ao processo	Incorporado ao processo
	Preparo do Pé de Cuba	R. Sorocaba	Poço artesiano 2	Incorporado ao processo	Incorporado ao processo
	Resfriamento de Dornas	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado, Rib. Pau D' Alho
Destilaria Fábrica de Etanol	Resfriamento de Condensadores	R. Sorocaba	Rib. Pau D' Alho	R. Sorocaba	Recirculado Rib. Pau D' Alho
	Flegmaça	Processo Produtivo	Processo Produtivo	Lavoura, limpeza trocadores de calor	Lavoura
	Vinhaça	Processo Produtivo	Processo Produtivo	Lavoura	Lavoura, pré-aquecimento
Outros	Limpeza de Pisos e Equipamentos	R. Sorocaba-ETA	Condensado Poço 2-destilaria	Lavoura	Recirculado/lavoura
	Uso Potável	R. Sorocaba-ETA, Mina Salmoura	Poço artesiano 1	Fossas sépticas	F. sépticas/Rib. Pau D' Alho

Fonte: elaborada pela autora.

Na Unidade I a cana colhida manualmente, após queima da palha é submetida ao processo de lavagem para retirada de material estranho (areia, argila, palha, etc.), em mesas com inclinação de 45°, que possibilita a lavagem com menor volume de água. A cana crua, colhida mecanicamente, que chega à Usina picada, não é submetida à lavagem, de forma a evitar maiores perdas de açúcar. Em época chuvosa, quando muita terra é trazida junto com a cana, se procede à lavagem das esteiras.

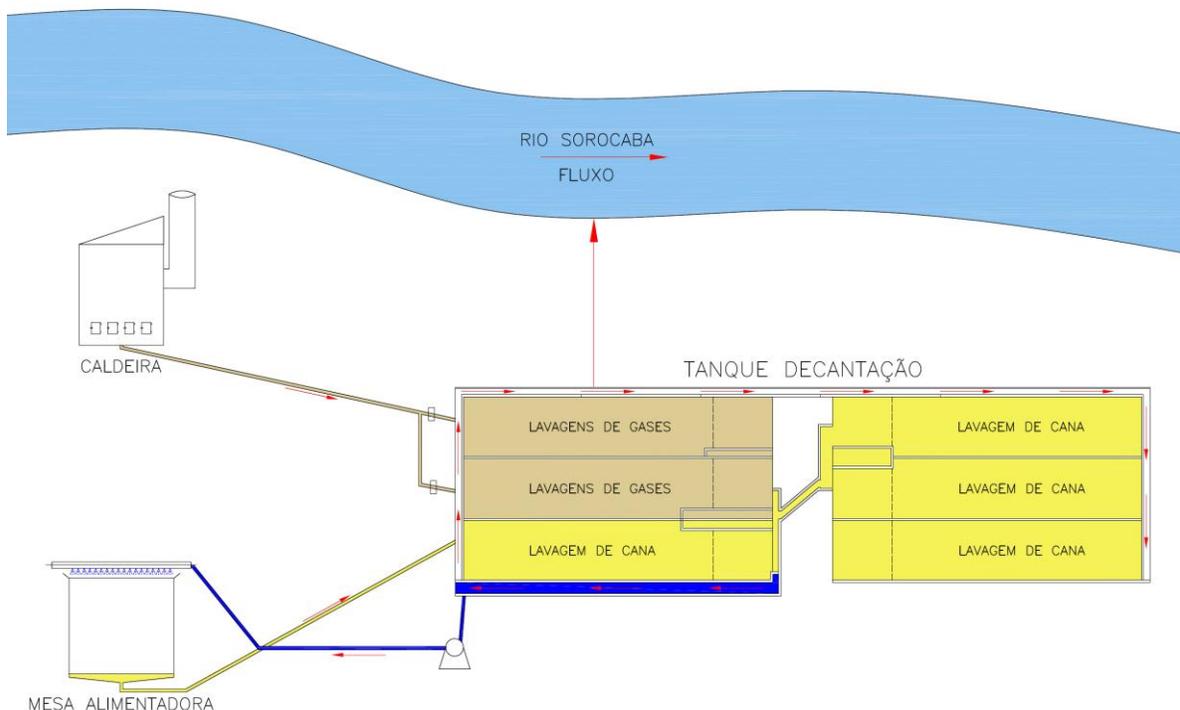
Na lavagem da cana utiliza-se circuito fechado da água, que é encaminhada por gravidade aos tanques de decantação, para remoção dos sólidos decantáveis e recirculação da água (Figura 5.2). Existem quatro tanques retangulares, construídos em concreto, com volume útil de 1.004 m³ cada, verificando-se a utilização de dois deles de cada vez. Todas as sobras de águas de lavagem de pisos, moendas, dentre outras, são encaminhadas para esses tanques, resultando por vezes em um excedente, que é enviado para a irrigação da área agrícola, juntamente com as águas residuárias.

Na embebição das moendas se utiliza 100 % de condensados e, esporadicamente, um pouco de água fria oriunda da Estação de Tratamento de Água existente na Unidade.

Segundo informações da Usina (USM, 2010) a média de açúcares presente na cana processada é de 130 a 140 kg açúcar/t cana, com uma eficiência de cerca de 92%, o que resulta em 128,8 kg açúcar/t cana.

Na etapa de tratamento do caldo, o lodo produzido no decantador é encaminhado para quatro filtros rotativos a vácuo. Nos filtros 1 e 2 o vácuo é produzido por hidrojetores ou multijatos e, nos filtros 3 e 4, por bombas de vácuo. A água utilizada nos hidrojetores e no resfriamento dos anéis das bombas de vácuo é captada no rio Sorocaba e, até 2008, era também lançada nesse corpo de água, sendo que atualmente é parcialmente recirculada (por dificuldades operacionais), devendo num futuro próximo entrar em circuito fechado. A torta de filtro é encaminhada à lavoura em estado bruto.

Figura 5.2 - Unidade I: Tanques de Decantação da Água de Lavagem de Cana e dos Lavadores de Gases de Combustão das Caldeiras



Fonte: adaptada de USM, 2008

Os evaporadores para concentração do caldo são submetidos à limpeza com água captada no rio Sorocaba, uma vez por semana, e os efluentes são encaminhados ao tanque de águas residuárias, para posterior envio à lavoura. Por sua vez, os cinco cozedores são submetidos à limpeza diária, e os efluentes encaminhados para a fabricação de etanol, por conterem grande quantidade de açúcares (USM, 2010).

Nos últimos evaporadores (ou últimos efeitos) e nos cinco cozedores estão instalados multijatos/colunas barométricas. A água utilizada nos multijatos era captada no rio Sorocaba e lançada nesse corpo de água, juntamente com os vapores condensados, até o fim da safra de 2008.

A partir de 2009, entrou em operação o sistema fechado de resfriamento por aspersão das águas utilizadas nos multijatos dos cozedores e dos evaporadores, e nos condensadores

barométricos/multijatos dos filtros rotativos a vácuo. O sistema consiste em um tanque aspersionador (“spray pond”) que recebe os efluentes quentes da fábrica e os asperge para a atmosfera, através de 430 bicos aspersores regularmente dispostos e sob pressão de bombeamento, provocando através do contato ar-água a troca de calor (FIESP, 2010). Na Figura 5.3 é mostrado esse tanque aspersionador em operação.

Figura 5.3 – Unidade I: Tanque Aspersionador da Fábrica de Açúcar



Fonte: elaborada pela autora.

O dimensionamento do sistema foi efetuado considerando a produção de açúcar atual (500 t/dia ou 10.000 sacos/dia) e futura (600 t/dia ou 12.000 sacos/dia). As vazões de projeto resultaram em 3.087 m³/h e 3.442 m³/h, para a produção atual e futura, respectivamente (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Unidade I: Vazões de Água na Fabrica de Açúcar

Equipamentos	Vazões de condensação (m ³ /h)	
	10.000 sacos/dia	12.000 sacos/dia
Multijatos do vácuo (cozedores)	1.413	1.413
Multijatos evaporação	1.241	1.596
Multijatos/condensadores dos filtros rotativos	433	433
Total	3.087	3.442

Fonte: FIESP, 2010

As perdas por evaporação e arraste nesse tipo de sistema de resfriamento se situam em torno de 5% (FIESP, 2010). Por outro lado, ocorre o ganho de água devido à condensação do vapor vegetal nos multijatos. O balanço de perdas e ganhos de água é apresentado na Tabela 5.4.

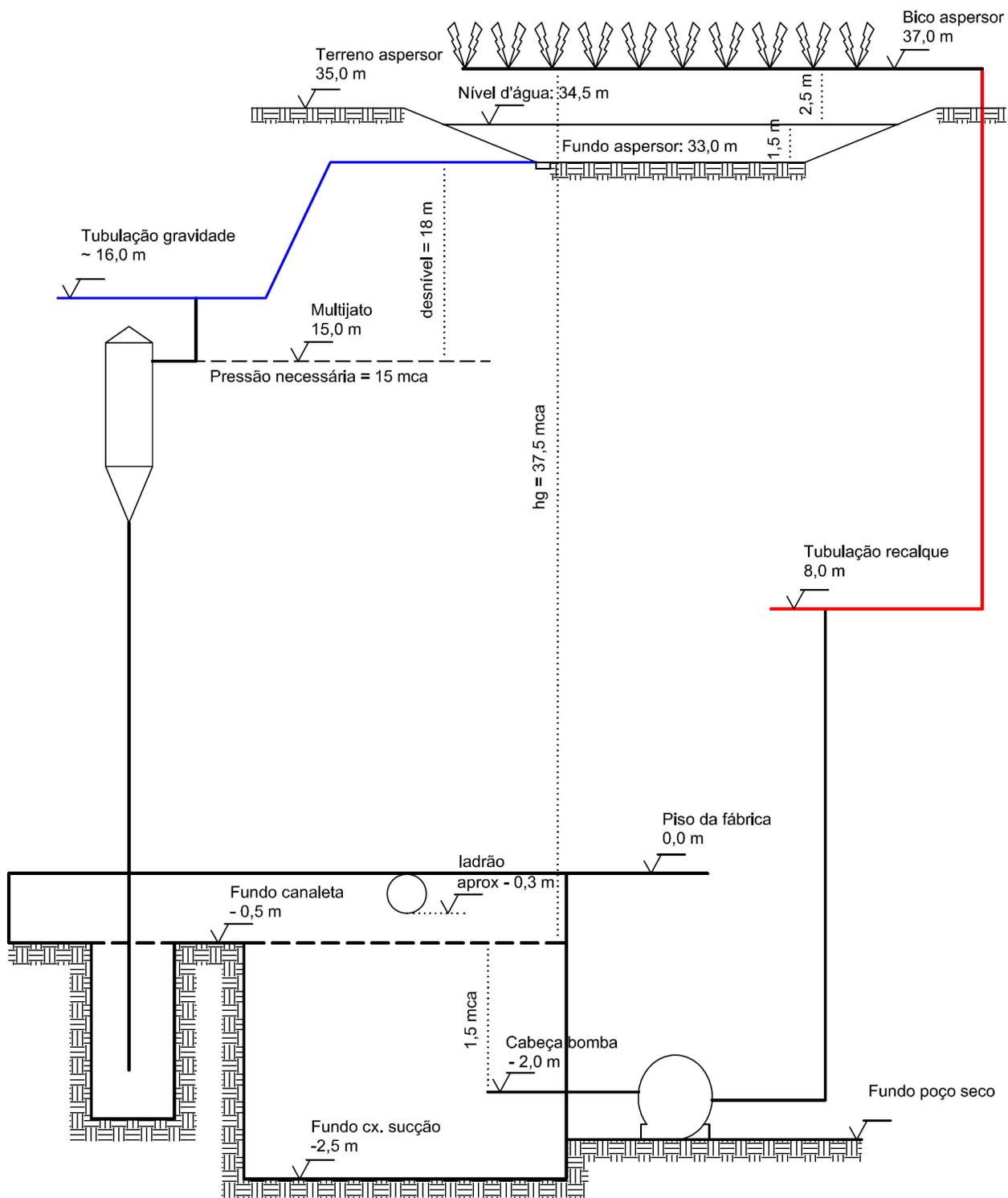
Tabela 5.4 – Unidade I: Perdas e Ganhos de Água nos Tanques Aspersiones

Equipamentos	Vazões de condensados (m ³ /h)	
	10.000 sacos/dia	12.000 sacos /dia
Multijatos do vácuo (cozedores)	31,85	31,85
Multijatos evaporação	27,6	36,0
Multijatos/condensadores dos filtros rotativos	4,17	4,17
Total	63,62	72,02
Perdas no Tanque Aspersion	157,5	175,7
Água de Reposição Necessária	~94	~104

Fonte: FIESP, 2010

O tanque aspersion foi construído em nível topográfico superior ao piso da fábrica, necessitando o recalque das águas até o referido tanque, enquanto seu retorno ocorre por gravidade. Na Figura 5.4 é mostrado o perfil hidráulico do circuito fechado em questão.

Figura 5.4 – Unidade I: Perfil Hidráulico - Circuito Fechado das Águas de Resfriamento da Fábrica de Açúcar



Fonte: FIESP, 2010.

Na produção do etanol, o resfriamento do mosto é realizado em um trocador de calor de placas. Para a limpeza desse trocador a Unidade utiliza a flegmaça quente, o que permitiu reduzir em cerca de três vezes a frequência de lavagem das placas do trocador, segundo depoimento do operador do equipamento. A vazão de flegmaça envolvida nessa operação é de 50 a 60 m³/h (informação verbal)⁹.

O resfriamento das dornas é realizado com trocadores de placas, que consomem volumes expressivos de água. A água de resfriamento é recalçada diretamente do rio Sorocaba e, após o uso, lançada nesse corpo de água com uma temperatura entre 33 a 34°C.

A limpeza desses equipamentos ocorre, no máximo, uma vez por semana, com uso de cerca de 10 m³ de água em cada limpeza, e os efluentes são enviados ao tanque de águas residuárias (USM, 2010).

Na condensação dos vapores alcoólicos, na etapa de destilação, utiliza-se água captada no rio Sorocaba que é armazenada em caixas de água e, após o uso, descartada no próprio rio. Verificou-se ainda que parte da água recalçada para resfriamento das dornas e condensadores é devolvida ao corpo receptor sem que seja utilizada, uma vez que a capacidade de bombeamento é superior à quantidade de água requerida.

A empresa pretende adotar o reúso em cascata para essas águas de resfriamento. De acordo com Leite (2008), o efeito cascata proporciona uma redução do volume de água necessário em cerca de 16% e, quando se adota o circuito fechado, com sistemas de resfriamento evaporativo – torres de resfriamento, a necessidade de água ocorre apenas para reposição das perdas por evaporação e arraste (cerca de 2 a 3% da água em circulação).

A vinhaça (80°C a 100°C) é encaminhada para tanques de acumulação para ser distribuída à lavoura utilizando o sistema dutoviário, fazendo-se necessário seu prévio resfriamento, uma vez que as temperaturas no “rolão de irrigação” e nas tubulações de fibra de vidro que encaminham a vinhaça à lavoura devem ser menores que 40°C e 50°C,

⁹ Informação verbal obtida junto ao operador do equipamento durante visita realizada pela autora à empresa, em 23 out. 2009.

respectivamente. Utiliza-se para tanto uma torre de resfriamento, situada ao lado do tanque de acumulação, que reduz a temperatura da vinhaça a 42°C. Na vinhaça perde-se de 0,2 a 0,3% de etanol (informação verbal) ¹⁰.

A flegmaça, juntamente com a água de lavagem das dornas, descarga da caldeira e outros efluentes da Unidade, é encaminhada para o tanque de águas residuárias de onde é recalçada para a torre de resfriamento de vinhaça e encaminhada, juntamente com a mesma, para a irrigação da cana (fertirrigação).

Na linha de recalque citada encontra-se instalado um medidor de vazão magnético que registra os valores de vazão em escala real. Os dados obtidos são sistematizados em termos de vazões médias diárias e, segundo informações da empresa (informação verbal) ¹¹, as vazões medidas em 2008 e 2009 foram de 1.042 m³/dia e 965 m³/dia, respectivamente.

As caldeiras que geram energia e fornecem vapor para o processo produtivo são alimentadas por água condensada dos pré-evaporadores, das primeiras caixas de evaporação, dos vácuos do cozimento e do aquecedor e, quando necessário, por água da ETA. Cabe observar que a qualidade requerida para a água de alimentação é menos restritiva, uma vez que as caldeiras são de baixa pressão.

A Unidade conta com 03 caldeiras com capacidade de geração de vapor de 40 tv/h, 60tv/h e 68 tv/h, gerando 4,7 MW de energia. Considerando que o consumo próprio da unidade é de 3,7 MW/h, tem-se uma geração excedente que não é comercializada.

As caldeiras mais antigas (40 tv/h e 60 tv/h) contam com equipamentos de controle de poluição do ar via úmida, constituído de lavadores de gases.

A água utilizada nos lavadores e no arraste das cinzas geradas nas caldeiras é recalçada diretamente do rio Sorocaba e, após passar pelos lavadores, encaminhada aos tanques de

¹⁰ Informação verbal obtida junto ao Gerente Industrial durante visita realizada à empresa pela autora, em 15 jul. 2008.

¹¹ Informação verbal obtida junto ao funcionário responsável pelo Sistema de Gestão de Segurança de Alimentos durante visita realizada à empresa pela autora, em 23 out. 2009.

decantação existentes para remoção dos sólidos (fuligem) e lançadas nesse corpo de água. Existem dois tanques de decantação, que operam em sistema de revezamento, enquanto um está em operação, o outro passa por processo de limpeza (Figura 5.2).

A Unidade conta com uma ETA compacta, na qual os sólidos em suspensão são removidos por coagulação, floculação e decantação. O decantado passa por cloração antes do uso. A capacidade de tratamento da ETA é de 80 m³/h e possui um reservatório de água tratada de 300 m³. Essa água é utilizada para fins potáveis na indústria (300 funcionários), lavagem dos equipamentos da fábrica de açúcar, alimentação da caldeira, “queima” de cal, bomba de vácuo do filtro rotativo e diluição do polímero.

A colônia de funcionários é abastecida por água proveniente de uma nascente situada na propriedade, denominada Mina Salmoura.

5.2.2 Unidade II

A utilização de recursos hídricos superficiais pela Unidade II ocorre através da captação no Ribeirão Pau D’Alho (205 m³/h), que tem suas águas desviadas para um canal que alimenta a casa de bombas (Figura 5.5). Para usos mais exigentes, em termos de qualidade, essa Unidade capta água em poços artesianos (86,9 m³/h).

O esquema de captação de água e lançamento de efluentes no Ribeirão Pau D’Alho é mostrado na Figura 5.6. Visando manter o nível de água para alimentação do canal desvio foi construída nesse curso de água uma pequena barragem, a cerca de 100m a jusante da entrada do canal. No início do canal de desvio existe uma comporta que permite regular a vazão de entrada.

Figura 5.5 - Unidade II: Captação de Água no Ribeirão Pau D'Alho



(a)



(b)



(c)



(d)

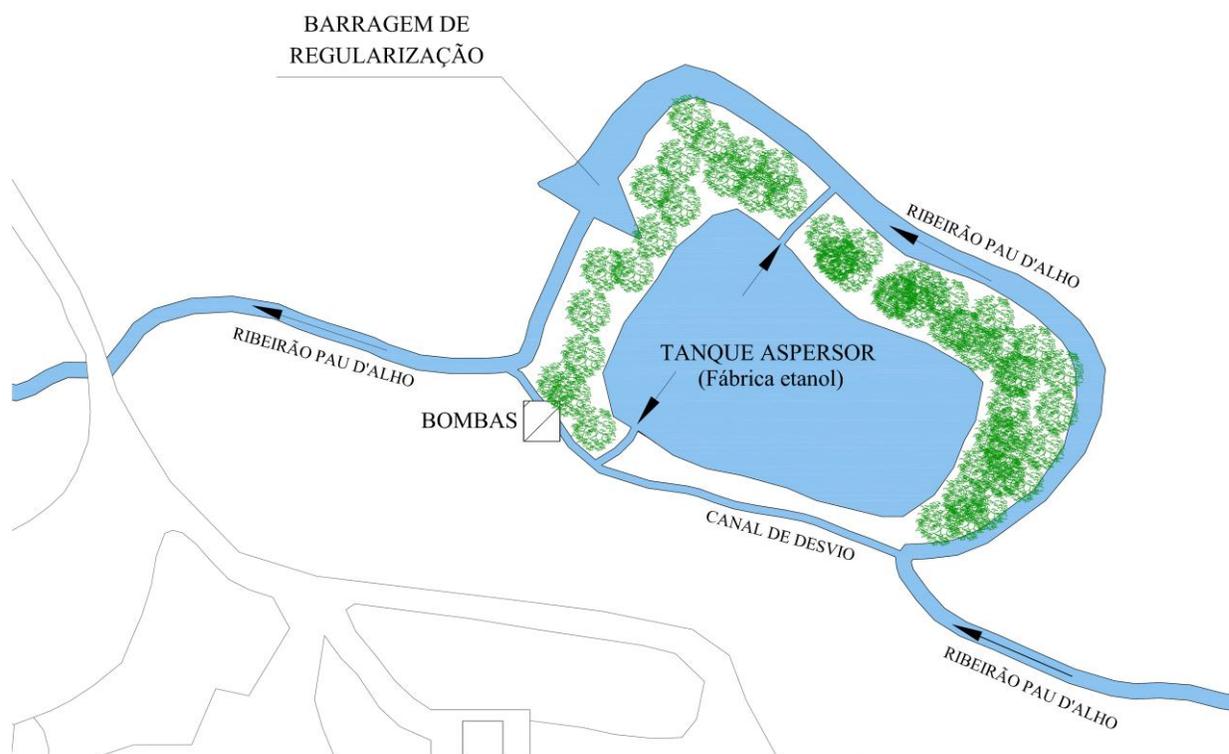
Notas: (a) Ribeirão Pau D'Alho: desvio em primeiro plano; (b) Ribeirão Pau D'Alho: canal de desvio. Ao fundo comporta para regular vazão; (c) Canal de Desvio: entrada para casa de bombas; e, (d) Interior da casa de bombas.
Fonte: elaborada pela autora

Na Unidade II a limpeza da cana ocorre nas mesas alimentadoras das moendas utilizando-se o processo de limpeza a seco, com uso de ventiladores. De acordo com dados da usina (informação verbal) ¹² quando era efetuada a lavagem da cana o uso de água era da ordem de 1.200 m³/h, passando atualmente para 300 m³/h, utilizada na limpeza das esteiras, o que representa uma redução de 75%.

Com a limpeza a seco, além de reduzir as perdas de açúcar, retira-se de 50 a 60% da palha da cana picada (colhida crua), que é encaminhada para queima nas caldeiras.

¹² Informação verbal obtida junto ao gerente de produção durante visita realizada pela autora à empresa, em 20 out. 2008.

Figura 5.6 – Unidade II: Esquema de Captação e Lançamento - Ribeirão Pau D’Alho



Fonte: elaborada pela autora

A água envolvida nessa etapa circula em circuito fechado e é encaminhada, por gravidade, para tanques de decantação para remoção de sólidos, juntamente com as águas de lavagem dos cinzeiros das caldeiras, lavagem de pisos e equipamentos, purga das caldeiras, e sobras da embebição das moendas. Encontram-se instalados três tanques de decantação retangulares, construídos em concreto, com volume aproximado de 250 m³ cada.

O decantado é recalcado para a lavagem das esteiras de alimentação da cana e dos cinzeiros das caldeiras, através de tubulações distintas, e parte da água é evaporada ou incorporada aos sólidos retidos nos tanques de decantação. Análise realizada em amostra desse material, realizada na própria Usina em 22/04/2010, mostrou um teor de umidade de 77%, compatível com o observado por Albuquerque (2005), conforme consta do item 3.7.3. Como consequência, as vazões na entrada dos tanques são superiores as de saída (Tabela 5.7).

Quando necessário, a reposição de água é realizada com aquela originada na purga da caldeira e, em maior quantidade, nos condensadores barométricos/multijatos, após seu resfriamento em lagoas de aspersão.

Por outro lado, ocorrem situações em que o volume de água excede a capacidade dos tanques de decantação, e os efluentes são bombeados para a lavoura, ou encaminhados para o sistema de lavagem de gases das caldeiras. Na Figura 5.7 é mostrado o circuito da água envolvida na limpeza da cana.

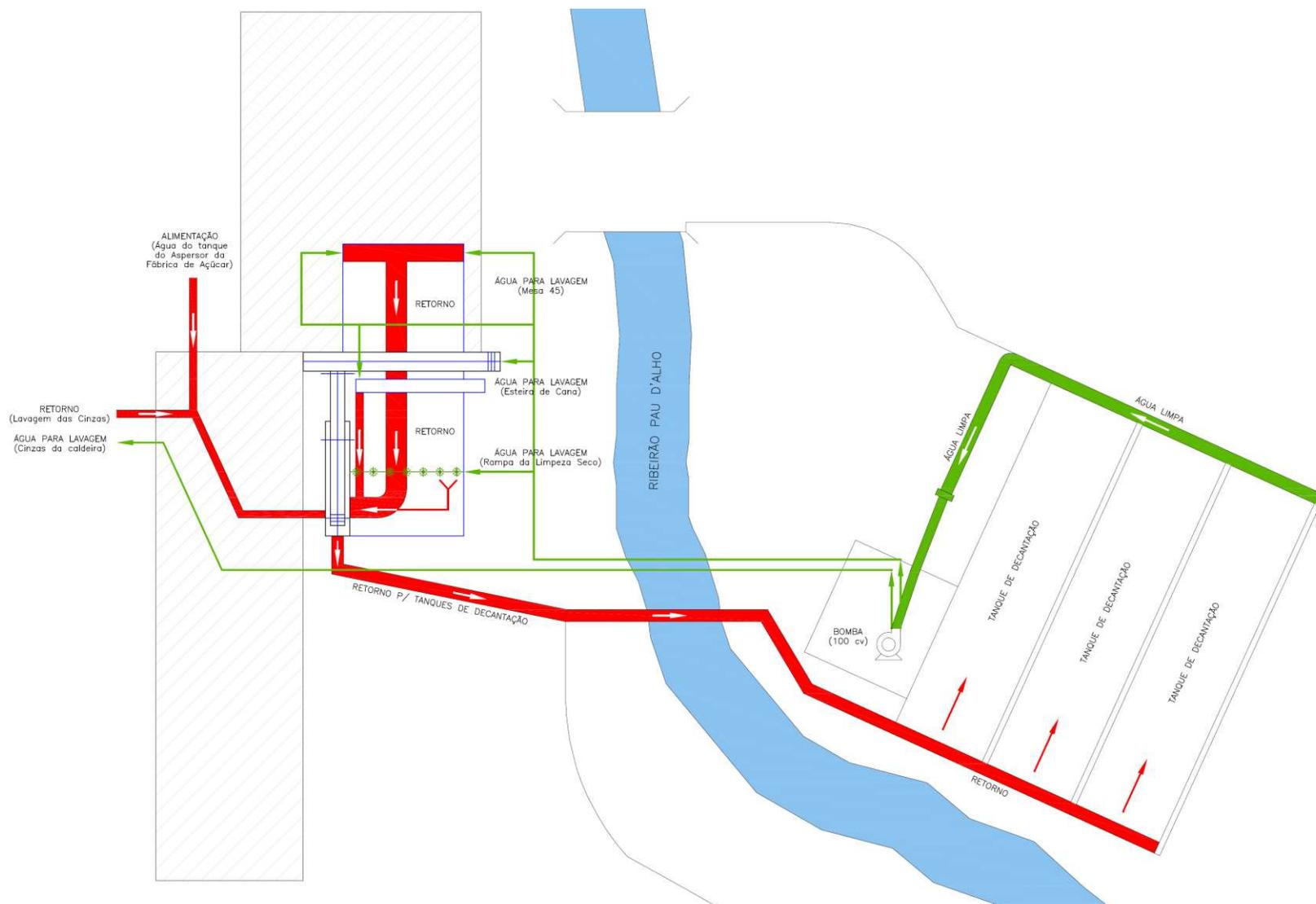
Na embebição da moenda se utiliza água condensada dos evaporadores e, quando necessário, complementa-se com captação em um poço artesiano. A embebição envolve de 48 a 50 m³/h de água e representa 25% do total de caldo obtido. Com a entrada em operação, em 2010, de mais um conjunto de evaporação deverá ser utilizado apenas condensado.

O lodo, retirado pelo fundo do decantador, é recalado para uma prensa desaguadora. A água utilizada para diluição do lodo e lavagem da tela da prensa tem origem nos condensados do evaporador e do aquecedor. Segundo o responsável pela operação (informação verbal) ¹³ o uso de água na prensa é 40% superior que no filtro. A torta do filtro é enviada para a lavoura.

Para o processo de evaporação do caldo a usina conta com 02 pré-evaporadores e 08 evaporadores. O condensado dos pré-evaporadores e do primeiro efeito da evaporação retorna às caldeiras, enquanto que o condensado dos demais evaporadores é utilizado na embebição das moendas.

¹³ Informação verbal obtida junto ao operador do equipamento durante visita realizada pela autora à empresa, em 01 out. 2009.

Figura 5.7 - Unidade II: Circuito de Água - Limpeza da Cana



Fonte: modificado de USR, 2009b

A Unidade possui 05 cozedores que operam por batelada, e o condensado produzido alimenta as caldeiras.

Nos últimos efeitos dos conjuntos de evaporadores e nos cinco cozedores estão instalados condensadores barométricos e multijatos, respectivamente. A água utilizada nesses equipamentos circula em circuito fechado, sendo encaminhada a um tanque de aspersão (“spray pond”) para resfriamento e retorno ao processo. Esse tanque conta com bicos aspersores que, por força de bombeamento, lançam a água à atmosfera, provocando o seu resfriamento, que volta a precipitar sobre a lagoa.

O sistema de resfriamento pressupõe perdas de água por evaporação e arraste que é compensada pela água condensada dos processos de concentração e cozimento do caldo, não necessitando de água bruta para reposição. No final da safra a água é enviada à lavoura.

O açúcar úmido é encaminhado a um secador rotativo. Nesse secador encontra-se instalado um ciclone para captação das partículas de açúcar e a solução água-açúcar retorna para a moenda.

A lavagem dos equipamentos é realizada com água oriunda do poço artesiano e os efluentes encaminhados para o tanque de decantação da limpeza da cana.

Na produção de etanol, o resfriamento do caldo ocorre em 03 trocadores de calor (dois de placa e um tubular), utilizando água captada no Ribeirão Pau D’ Alho que é parcialmente recirculada.

O resfriamento das dornas é realizado por serpentinas com água captada nesse ribeirão em circuito semi-fechado, juntamente com a água de resfriamento dos condensadores da destilação e trocadores de calor para resfriamento do caldo. Essas águas são encaminhadas, por gravidade, para um tanque dotado de 75 (setenta e cinco) bicos aspersores, de forma a diminuir sua temperatura antes do retorno aos equipamentos, assegurando a eficiência da troca térmica exigida no resfriamento. Também as águas de resfriamento dos mancais das moendas e turbo-geradores são encaminhadas a esse tanque e recirculadas.

Somente a água efluente dos condensadores, que possui temperatura mais elevada, alimenta os bicos aspersores. Esses equipamentos se situam em cota elevada, garantindo pressão para o lançamento da água na atmosfera através desses bicos (Figura 5.8).

Figura 5.8 - Unidade II: Efluente dos Condensadores



(a)



(b)

Notas: (a) Tubulação em “Y” dos efluentes dos condensadores, localizados no último piso; e, (b) Efluente dos Condensadores - tubulação para os bicos aspersores.

Fonte: elaborada pela autora

A flegmaça, até 2009, era encaminhada a uma torre de resfriamento e recalçada a uma lagoa de evaporação, sendo usada para reposição de água no tanque aspersor da fábrica de açúcar e no lavador de gases da caldeira. Em 2010, passou-se a utilizar a flegmaça para realizar o pré-aquecimento do caldo na coluna de destilação que é, em seguida, encaminhada para o tanque de vinhaça para transporte à lavoura, que é realizado em caminhões tanque.

Essa Unidade conta com quatro caldeiras de baixa pressão, sendo duas com capacidade de 25 tv/h, e as demais de 40 tv/h e 60 tv/h. Toda a energia gerada é consumida na própria usina, não se verificando excedente (informação verbal)¹⁴. São alimentadas por água condensada e, quando necessário, complementada com água do poço artesiano.

Todas as caldeiras contam com equipamentos de controle de poluição do ar, constituído por lavadores de gases, com o objetivo de retirar o material particulado que seria lançado à atmosfera. A água utilizada nesses equipamentos se encontra em circuito fechado, sendo encaminhada por gravidade aos tanques de decantação existentes para remoção dos sólidos (fuligem), e recirculada. Existem dois tanques que operam em sistema de revezamento (enquanto um está em operação, o outro passa por processo de limpeza), e o resíduo, retido nos tanques, é encaminhado à lavoura.

5.3 Vazões

Neste item são apontados os valores de vazão informados pelas empresas e aqueles medidos, bem como a comparação entre os mesmos. Realizou-se ainda a estimativa dos usos específicos de água, com base nas vazões medidas e informadas, comparando-os aos valores tomados como referência, indicados na literatura consultada.

5.3.1 Vazões Informadas pelas Empresas

As vazões de água dos circuitos e as necessidades de reposição, de acordo com as informações da empresa, foram sistematizadas nas Tabelas 5.5 e 5.6, relativas às Unidades I e II, respectivamente. É importante comentar que as empresas não dispõem de medidores de vazão

¹⁴ Informação verbal obtida junto ao gerente de produção em visita realizada pela autora à empresa, em 01 out. 2009.

nos diversos circuitos e as informações baseiam-se na capacidade das unidades de recalque, na experiência acumulada pelos operadores, bem como em medições pontuais realizadas no passado.

Verifica-se que o consumo de água, na Unidade I, representado pela parcela que é captada e que não retorna ao corpo receptor, é de 178 m³/h, assim distribuída: incorporada ao processo (63 m³/h); enviada à lavoura ou perdida por evaporação/arraste no tanque aspessor da fábrica de açúcar (114m³/h); e, às fossas sépticas (1m³/h). Na entressafra estima-se uma captação de cerca de 50 m³/h durante 22 dias, por 08 horas diárias, para usos diversos.

Tabela 5.5 – Unidade I: Vazões de Água dos Circuitos e Reposição informadas pela empresa

Uso	Vazão (m ³ /h)		Observações
	No circuito	Captada	
Águas de Resfriamento da Destilaria			
Resfriamento de Equipamentos (mosto) ⁽¹⁾	1.000	1.000	Circ. aberto
Resfriamento de Dornas ⁽²⁾	800	800	Circ. aberto
Resfriamento de Condensadores ⁽²⁾	1.200	1.200	Circ. aberto
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)			
Colunas Barométricas/Multijatos ⁽¹⁾	3.087	94	Circ. fechado
Remoção de Impurezas			
Lavagem de Cana ⁽¹⁾	1.000	20	Circ. fechado
Lavagem Gases da Caldeira ⁽¹⁾	260	260	Circ. aberto
Lavagem de Pisos ⁽¹⁾	5	5	Circ. aberto
Outros			
Caldeira ⁽²⁾	145	40	Incorporada ao processo
Fermentação ⁽²⁾	-	23	
Sanitário ⁽²⁾	-	1	Fossas Sépticas
Total	7.497	3.443	

Fonte: FIESP, 2010 ⁽¹⁾; USM, 2006 ⁽²⁾.

Por sua vez, o consumo de água na Unidade II é de 143 m³/h, sendo que 66 m³/h são utilizados para a reposição de perdas por evaporação nos circuitos fechados e, 77 m³/h incorporados ao processo.

Na entressafra estima-se uma captação superficial de 20 m³/h e subterrânea de 10m³/h, durante 22 dias, por 8 horas diárias para usos diversos.

Os levantamentos efetuados na Unidade II permitiram constatar que a água usada na lavagem do piso da caldeira, por dificuldades operacionais, ainda é mantida em circuito aberto. Por sua vez, as águas de resfriamento dos equipamentos encontram-se em circuito fechado, diferentemente do que consta da Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Unidade II: Vazões de Água dos Circuitos e Reposição informadas pela empresa

Uso	Vazão (m ³ /h)		Observações
	No circuito	Captada	
Águas de Resfriamento			
Resfriamento de Equipamentos	139	139	Circ. aberto
Resfriamento de Dornas e Condensadores	1.200	60	Circ. fechado
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)			
Colunas Barométricas/Multijatos	3.000	0	Circ. fechado
Remoção de Impurezas			
Lavagem de Cana	300	0	Circ. fechado
Lavagem Gases da Caldeira	45	6	Circ. fechado
Lavagem de Pisos da Caldeira	3	3	Circ. aberto
Outros			
Embebição da Moenda	-	44	Incorporadas ao processo
Caldeira	90	15	
Fermentação	-	18	
Sanitário	-	10	Fossas Sépticas/Ribeirão
Total	4.777	295	

Fonte: USR, 2007.

Outra situação constatada, durante as visitas realizadas, diz respeito ao resfriamento das dornas e condensadores, onde a água utilizada não se encontra em circuito totalmente fechado. O sistema de resfriamento utiliza um tanque aspersor, que se encontra possivelmente

subdimensionado, não possuindo capacidade de resfriar a água até a temperatura adequada ao fim proposto, exigindo o lançamento de parte dela no Ribeirão Pau D'Alho, e captação de água fria desse mesmo corpo de água. Segundo a empresa (informação verbal) ¹⁵ esse lançamento é de cerca de 50% da vazão envolvida, ou seja, 600 m³/h. A Figura 5.6 (item 5.2.2) ilustra o esquema de captação de lançamento de água no Ribeirão Pau D'Alho.

5.3.2 Vazões Medidas

Conforme apontado no item 3.7.2 os usos de água mais significativos ocorrem nas etapas de lavagem/limpeza da cana; evaporação do caldo (condensadores barométricos e multijatos da fábrica de açúcar); cozimento da massa (condensadores barométricos e multijatos da fábrica de açúcar); fermentação do mosto (resfriamento de dornas da fábrica de etanol); e, destilação do vinho (resfriamento dos condensadores da fábrica de etanol).

Assim, optou-se por avaliar, prioritariamente, as vazões de água envolvidas nessas etapas, efetuando-se medições de vazão nas tubulações e/ou canais de adução de água que as alimentam. Secundariamente foram avaliadas as vazões envolvidas em outros setores de produção. Na Tabela 5.7 são sumarizados os resultados obtidos.

Não foi possível realizar medições de vazão em todos os circuitos que constam das tabelas 5.5 e 5.6, informados pelas empresas, conforme inicialmente programado.

Com uso do medidor ultrassônico nas tubulações foram enfrentadas dificuldades devido à presença de incrustações nas suas paredes internas (associadas muitas vezes à adição de cal para correção do pH); à proximidade dos sensores do equipamento de medição aos acessórios das mesmas (curvas e cotovelos), e à própria bomba; a existência de tubulações/canais enterrados; à intensa aeração interna; e, ao fato do líquido não estar preenchendo toda a seção em tubulações

¹⁵ Informação obtida junto ao gerente de produção da empresa durante visita realizada pela autora em 10 jun. 2008.

por gravidade. As medições com o micro molinete foram dificultadas pela pequena profundidade de alguns canais, por vezes associada ao seu assoreamento.

Algumas peculiaridades merecem ser registradas a exemplo da impossibilidade de retirada da tinta das paredes externas nas tubulações situadas na área interna da destilaria na Unidade I, durante a safra 2008/2009, devido ao risco de produção de fogo, uma vez que se utilizou lixa elétrica nessa operação. Em 2010, a retirada da pintura foi efetuada antes do início da operação da Unidade, o que viabilizou a realização das medições.

Tabela 5.7 – Vazões Medidas

Uso	Vazão Média (m ³ /h)	
	Unidade I	Unidade II
Águas de Resfriamento		
Resfriamento Mancais da Moenda	373	122
Resfriamento Mosto	-	233
Resfriamento Dornas/Condensadores	2.505	548
Produção de Vácuo		
Colunas Barométricas/Multijatos	2.179 ⁽¹⁾	1747 ⁽²⁾ (tubulações)
		2.528 ⁽³⁾ (canal entrada)
Remoção de Impurezas		
Limpeza da Cana	900	400 (tubulação)
		688 ⁽⁴⁾ (canal de entrada)
		486 (canal de saída)
Limpeza do Cinzeiro da Caldeira	-	23
Lavagem dos Gases da Caldeira	161	53
Outros		
ETA	199	-
Poço Artesiano 2	-	60

Notas: ⁽¹⁾ Média das vazões das tubulações de recalque e retorno, após fechamento do circuito;

⁽²⁾ Soma das vazões dos condensadores barométricos/multijatos dos evaporadores e dos cozedores;

⁽³⁾ Envolve além das vazões dos condensadores barométricos/multijatos dos evaporadores e cozedores, aquelas relativas à produção de vácuo para a prensa desaguadora;

⁽⁴⁾ Envolve além da vazão para limpeza das esteiras e mesa de alimentação da cana, aquelas relativas à limpeza dos cinzeiros das caldeiras, lavagem de pisos e equipamentos, purga das caldeiras e, sobras da embebição das moendas.

Fonte: elaborada pela autora.

Na Unidade II, a tubulação do multijato foi aberta para retirada de incrustações internas, durante uma parada de produção que ocorreu no período, viabilizando a medição de vazão, já que tentativas anteriores não se mostraram exitosas.

Comparando-se os dados obtidos (Tabela 5.7) com aqueles informados (Tabela 5.5) tem-se para a Unidade I que os valores de vazão envolvidos no resfriamento de dornas e condensadores e lavagem da cana possuem a mesma ordem de grandeza. A maior diferença ocorreu na vazão envolvida na lavagem de gases da caldeira onde a vazão medida foi cerca de três vezes inferior à informada, podendo os valores informados estarem superestimados.

Merece registro o fato das vazões medidas nos condensadores barométricos/multijatos (circuito fechado) serem 25% inferiores aos constantes do projeto de fechamento desse circuito, que é de 3.087 m³/h. Ainda que se considere que as vazões envolvidas nos condensadores/multijatos dos filtros rotativos 1, 3 e 4 não estivessem ainda incorporadas a esse circuito, a diferença observada é acentuada uma vez que os mesmos são responsáveis por apenas 9% do total projetado. Pode-se, no entanto, considerar que menores vazões de água para resfriamento estivessem sendo demandadas uma vez que as medições foram realizadas durante o inverno, quando se registram baixas temperaturas do ar.

Na Unidade II as diferenças entre as vazões medidas (Tabela 5.7) e informadas (Tabela 5.6) foram mais acentuadas, com destaque para as medições realizadas nas tubulações das águas de resfriamento das dornas e condensadores da fábrica de etanol, e dos condensadores barométricos/multijatos da concentração do caldo na fábrica de açúcar. Essas diferenças podem estar associadas à idade avançada de algumas tubulações, com presença de incrustações internas. Observe-se que as vazões medidas no canal de adução ao tanque aspensor das águas de produção de vácuo se mostraram próximas às informadas, corroborando a possibilidade de interferências nas medições realizadas nas tubulações.

5.3.3 Usos Específicos da Água

Com base nas vazões medidas (Tabela 5.7) e informadas (Tabelas 5.5 e 5.6) foram estimados os usos específicos de água para as diversas etapas de produção nas duas unidades em estudo, que foram comparados com aqueles que constam da Tabela 3.9 (item 3.7.2), adotados como valores de referência (VR).

Considerando que esses valores apresentam relação com a produção se fez necessário o levantamento das quantidades de cana moída total e para produção de açúcar, além da produção de etanol em cada unidade industrial estudada, nas datas em que as medições de vazão foram realizadas, bem como as médias diárias anuais, relativas a 2008 e 2009¹⁶.

Uma vez que são adotadas práticas de reúso em diversas etapas do processo produtivo, conforme já apontado, merece frisar que o VR não reflete o consumo de água, mas a que é utilizada nos circuitos.

5.3.3.1 Unidade I

Os dados de produção encontram-se sistematizados na Tabela 5.8. Foi adotado o valor médio relativo aos anos de 2008 e 2009, uma vez que não se verificaram variações significativas. As informações foram fornecidas pela empresa (USM, 2010), observando-se que em 11/06/2010 (data de medição da vazão) foi produzido apenas etanol hidratado.

Na medida em que não foram disponibilizados dados relativos às horas efetivamente trabalhadas nas datas consideradas, adotou-se que a Unidade I operou durante 24 horas por dia, o que nem sempre corresponde à realidade, podendo-se ter dados superestimados de vazões diárias.

¹⁶ Não se consideraram nessa média os dados relativos a 2010 uma vez que a produção foi prejudicada pelas más condições climáticas, que dificultou a colheita da cana e/ou seu transporte à unidade fabril.

Tabela 5.8 - Unidade I: Produção informada pela empresa

Data	Cana Total (t/dia)	Cana para Açúcar (t/dia)	Etanol (m³/dia)
Média 2008-2009	6.480	2.614 ⁽¹⁾	269
20/10/2008	6.590	2.982	260
11/06/2010	7.888	4.757	320

Nota: ⁽¹⁾ Estimada como base na produção média anual de açúcar de 75.764t e 225 dias de safra, considerando a produção de 128,8 kg açúcar/t cana para açúcar (item 5.2.1.1)

Fonte: USM, 2010.

Os valores dos usos específicos da água encontram-se na Tabela 5.9, e algumas situações merecem ser comentadas.

No circuito fechado da lavagem da cana o elevado valor do uso específico da água está associado à não substituição da bomba de recalque, que continua envolvendo vazões superiores às necessárias, considerando que atualmente a cana picada não é submetida a lavagem. Segundo a empresa, a tendência é suspender a lavagem da cana, devido à mecanização da colheita de cana, podendo voltar a utilizar esteiras com inclinação de 15%.

No resfriamento de mancais e óleo dos equipamentos do preparo e extração, o uso específico de água estimado é sete vezes superior ao VR considerado, sugerindo a utilização excessiva desse recurso. Segundo verificado, a tubulação de recalque dessas águas possui derivação para outros usos, que é controlada através de registros que, no entanto ocorre de forma esporádica, o que não justifica a grande diferença entre os valores apontados.

Considerando as vazões informadas pela empresa (Tabela 5.5) verifica-se que o uso específico de água, nos condensadores barométricos e multijatos dos filtros rotativos, evaporadores e cozedores, é muito superior ao tomado como referência. Observe-se que a vazão de 3.087m³/h foi projetada para uma produção de 10.000 sacos de açúcar por dia, enquanto que a média de produção em 2008-2008 foi de 6.734 sacos/dia, o que justifica o resultado obtido.

Tabela 5.9 - Unidade I: Usos Específicos da Água Estimados

Setor	Etapa	Data	Vazão Medida/Informada		Uso Específico de Água	
			Local	Q (m ³ /dia)	VR ⁽¹⁾	Estimado
Alimentação, preparo e extração (moendas)	Lavagem cana	2008/2009	(2)	24.000	2,2 m ³ /t cana total	3,7
		20/10/08	Canal EntradaTanques	21.600		3,3
	Resfriamento Mancais/Óleo	11/06/10	Tubulação Recalque	8.952	0,165 m ³ /t cana total ⁽³⁾	1,1
Tratamento do Caldo e Fábrica de Açúcar	Condensadores/Multijatos: Evaporadores, Cozedores	2008-2009	(2)	74.088	12,0 a 19,0 m ³ /t cana p/açúcar	28,3
		11/06/10	Tubulações Recalque/Retorno	52.320		11,0
Fabricação de Etanol	Resfriamento Caldo, Dornas, Condensadores	2008/2009	(2)	72.000	170 a 230 m ³ /m ³ etanol ⁽⁴⁾	267,6
		11/06/10	Tubulações Recalque	60.120	140 a 160 m ³ /m ³ etanol ⁽⁵⁾	187,9
Geração de Energia	Lavagem de Gases da Caldeira	2008-2009	(2)	6.240	2 m ³ /tv	2,6
		11/06/10	Tubulação Recalque	3.864		1,6
Outros	Lavagem de Pisos	2008-2009	(2)	120	0,05 m ³ /t cana total	0,02

Notas: ⁽¹⁾ Valor de Referência, Elia Neto e Shintaku, 2009a..

⁽²⁾ Vazão informada pela empresa;

⁽³⁾ Soma dos valores de referência para resfriamento dos mancais da moenda e do óleo;

⁽⁴⁾ Soma dos valores de referência para resfriamento do caldo (30 m³/m³ etanol); dornas de fermentação (60 a 80 m³/m³ de etanol); e, condensadores (80 a 120 m³/m³ de etanol produzido, respectivamente para hidratado e anidro);

⁽⁵⁾ Só foi produzido etanol hidratado na data em que foi realizada a medição.

Fonte: elaborada pela autora.

O uso específico de água estimado para as etapas de resfriamento do caldo, dornas de fermentação e condensadores foi superior à faixa do VR, tanto com base nas vazões informadas (Tabela 5.5) quanto nas medidas (Tabela 5.7). Conforme já comentado, parte da água recalçada retorna ao rio Sorocaba, sem que seja utilizada, justificando esse resultado. Não foi possível avaliar essa parcela de água uma vez que o retorno ao rio ocorre por gravidade, sem preenchimento pleno da seção das tubulações, observando-se um alto nível de aeração, com interferências marcantes nos resultados que seriam obtidos.

Para as estimativas relativas à lavagem dos gases das caldeiras considerou-se a geração de 100 tv/h, nas duas caldeiras que contam com sistema de controle de poluentes atmosféricos, responsáveis por 60% da capacidade de geração de vapor instalada. Tomando por base a vazão informada pela empresa (Tabela 5.5) verifica-se que o uso específico é bem superior ao VR, situação que não ocorre quando se utilizam as vazões medidas em campo (Tabela 5.7), denotando a necessidade de melhor avaliação pela empresa das vazões envolvidas.

5.3.3.2 Unidade Industrial II

As informações relativas à produção (média dos anos 2008 e 2009 e nas datas das medições de vazão) encontram-se na Tabela 5.10, onde constam também os dias e horas efetivamente trabalhadas.

Os usos específicos estimados para a Unidade II encontram-se na Tabela 5.11, onde se verifica que os valores estimados com base nas vazões medidas, nos canais de entrada e saída dos tanques de decantação do circuito da limpeza da cana, foram superiores ao de referência.

Tabela 5.10 - Unidade II: Produção informada pela empresa

Data	Horas/dias de produção	Cana Total (t/dia)	Cana para Açúcar (t/dia)	Produção Etanol Hidratado (m³/dia)
Média 2008-2009	253 dias	3.638	1.566	145
13/11/2008	24 horas	4.474	1.394	185
14/11/2008	23 horas	4.364	2.264	154
02/12/2008	20 horas	3.016	1.792	135
27/07/2010	15 horas	2.676	1.429	111

Fonte: USR, 2008a, 2008b, 2009a, 2010.

Cabe comentar que o VR adotado para a limpeza da cana se aplica a usinas que praticam a lavagem da parcela de cana colhida manualmente, enquanto que na Unidade II é adotada a limpeza a seco, sendo esperados, portanto, valores estimados menores, mesmo considerando as diversas contribuições que afluem a esse sistema. Tal situação é corroborada pelo uso específico calculado com base nas vazões medidas na tubulação de recalque que aduz água apenas para a lavagem da mesa de alimentação/esteira que foi de 2,1 m³/t cana total, praticamente igual ao VR apontado.

Verificou-se que a instalação de recalque das águas de limpeza da cana e do cinzeiro da caldeira foi projetada para uma vazão de 1.000 m³/h, compatível com o uso da água antes da adoção de limpeza a seco, de onde se depreende que mesmo com a adoção dessa tecnologia, a unidade de recalque não foi substituída, implicando em vazões de água envolvidas superiores às efetivamente necessárias, ainda que trabalhe aquém da capacidade informada pelo fabricante.

Tabela 5.11 - Unidade II: Usos Específicos da Água Estimados

Setor	Etapa	Data	Vazão (m³/dia)		Uso Específico	
			Local	Q (m³/dia)	VR ⁽¹⁾	Estimado
Alimentação, preparo, extração (moendas)	Limpeza da cana	2008-2009	(2)	7.200	2,2 m³/t cana total	2,0
		27/07/10	Canal entrada: tq decantação	10.320	2,5 m³/t cana total ⁽³⁾	3,9
		27/07/10	Canal saída: tq. decantação	7.290		2,7
		13/11/08	Tubulação recalque (limpeza cana)	9.590	2,2 m³/t cana total	2,1
	Resfriamento de mancais e óleo	13/11/08	Tubulação de recalque	2.928	0,165 m³/t cana total	0,6
	Embebição da moenda	2008-2009	(2)	1.054	0,25 m³/t cana total	0,3
Fábrica de Açúcar	Condensadores, Multijatos	2008-2009	(2)	72.000	12,2 a 19,2m³/t cana p/ açúcar ⁽⁴⁾	46,0
		27/07/10	Canal de entrada: tq aspersão	37.920		25,4
		14/11/08	Tubulação recalque: evaporadores	15.249	4 a 5 m³/t cana p/ açúcar	6,7
		02/12/08	Tubulação recalque: cozedores	21.680	8 a 15 m³/t cana p/ açúcar	12,1
Fábrica de Etanol	Resfriamento caldo, dornas, condensadores	2008-2009	(2)	28.800	170 a 190 m³/m³ etanol ⁽⁵⁾	198,6
		14/11/08	Tubulação de recalque	17.963		116,6
		27/07/10	Entrada canal de desvio ribeirão	17.971		161,9
Geração de Energia	Lavagem gases da caldeira	2008-2009	(2)	1.080	2,0 m³/tv	0,3
		13/11/08	Tubulação de recalque	1.278		0,4
	Limpeza cinzeiro caldeira	13/11/08	Tubulação de recalque	553	0,25 m³/t cana	0,1

Notas: ⁽¹⁾ Valor de referência. Elia Neto e Shintaku 2009a; ⁽²⁾ Informado pela empresa; ⁽³⁾ Adotados valores das etapas: limpeza da cana e dos cinzeiros das caldeiras, purga e descarga das caldeiras, purga das turbinas, sobras da embebição e lavagem de pisos e equipamentos; ⁽⁴⁾ Soma dos valores específicos de uso de água nas colunas barométricas dos evaporadores (4 a 5 m³/t cana p/ açúcar) e multijatos dos cozedores (8 a 15 m³/t. cana para açúcar) e prensa desaguadora (0,2 m³/t cana para açúcar, considerando que cerca de 50% da cana total foi utilizada para produção de açúcar); ⁽⁵⁾ Soma dos valores para resfriamento de dornas (60 a 80 m³/m³ etanol), condensadores (80 m³/m³ etanol hidratado) e resfriamento do caldo (30 m³/m³ etanol)

Fonte: elaborada pela autora.

Na fábrica de açúcar os usos específicos de água estimados com base nas vazões medidas nas tubulações de recalque dos multijatos dos evaporadores e cozedores são compatíveis com os de referência. Por outro lado, esses usos estimados a partir das vazões informadas e medidas no canal de entrada do tanque aspersionador são significativamente maiores, mesmo levando em conta a contribuição dos multijatos da prensa desaguadora e a parcela da vazão de condensado que se incorpora a essas águas.

É importante notar que o circuito não tem flexibilidade para acompanhar a produção, observando-se que na data em que se realizou a medição no canal a Unidade operou por apenas 15 horas, que foi considerado no cálculo da vazão diária. Tomando por base a operação por 24 horas os valores são compatíveis com as vazões informadas.

Observa-se que o uso específico de água estimado para resfriamento de dornas, condensadores e equipamentos, com base nas vazões medidas na tubulação de recalque, é bem inferior aos valores de referência, não se descartando a possibilidade de interferências nessas medições. As demais estimativas são compatíveis com a faixa de variação do VR.

Na etapa de geração de energia os usos específicos calculados foram inferiores aos VR. Considerou-se a geração de 150 tv/h para o cálculo do uso específico da lavagem de gases da caldeira.

5.4 Utilização de Recursos Hídricos

Adotando-se as vazões de água no circuito e captadas, que constam das tabelas 5.5 e 5.6, e as quantidades de cana de açúcar processadas nos anos de 2008 e 2009 (Tabela 5.1), foi possível estimar os usos médios de água nas duas Unidades em estudo.

Com base nas vazões de água no circuito obteve-se o uso médio geral. As vazões captadas permitiram estimar o uso médio efetivo, que expressa a utilização de recursos hídricos pelas unidades produtivas em estudo.

A estimativa do reúso médio foi realizada com base nas vazões que circulam em circuito fechado (tabelas 5.5 e 5.6), que equivalem às diferenças entre as vazões no circuito e as que são captadas para reposição de perdas.

Para a Unidade I, em 2008, considerou-se o reúso apenas na lavagem da cana com uma vazão de 980 m³/h. Em 2009, com o fechamento do circuito das colunas barométricas/multijatos a vazão de reúso teve um acréscimo de 2.993 m³/h, atingindo um total 3.973 m³/h.

Por sua vez, na Unidade II verificou-se durante as visitas realizadas que a água de resfriamento dos equipamentos (139 m³/h) circula em circuito fechado, enquanto que no sistema de resfriamento das águas das dornas e condensadores da fábrica de etanol, ocorre uma captação estimada em 600 m³/h, em lugar da vazão de 60 m³/h, conforme consta da Tabela 5.6.

Assim, considerou-se que a vazão de reúso na Unidade II, em 2008 e 2009, equivale à soma das vazões envolvidas no resfriamento de equipamentos (139 m³/h), resfriamento de dornas e condensadores (600 m³/h), colunas barométricas/multijatos (3.000 m³/h), lavagem da cana (300m³/h), e lavagem dos gases das caldeiras (39 m³/h), totalizando 4.078 m³/h.

Nessas estimativas foram considerados os números de dias em que houve produção. Na Tabela 5.12 são apresentados os resultados obtidos para o uso médio geral e efetivo e o reúso médio.

Verifica-se que nas duas unidades o uso médio geral é superior ao apontado por Elia Neto e Shintaku (2009a), que é de 22,16 m³/t cana (Tabela 3.9). Esse resultado revela a necessidade de adoção de práticas operacionais que promovam o uso racional de água nas unidades estudadas.

O uso médio efetivo de água na Unidade I sofreu, entre os anos de 2008 e 2009, um abatimento de 42,6%, como consequência da redução da vazão captada para condensação dos vapores das colunas barométricas/multijatos da fabricação de açúcar.

Tabela 5.12 – Usos Médios da Água, com base nas vazões informadas pelas empresas

Ano		2008	2009
Unidade I			
Vazão no Circuito (m ³ /dia)		179.928	179.928
Vazão Captada (m ³ /dia)		154.464	82.632
Vazão de Reúso (m ³ /dia)		23.520	95.352
Dias de Safra		222	228
Cana Moída	t/ano	1.489.255	1.425.783
	t/dia	6.708	6.253
Uso Médio Geral (m³/t cana)		26,8	28,8
Uso Médio Efetivo (m³/t cana)		23,0	13,2
Reúso Médio (m³/t cana)		3,5	15,2
Unidade II			
Vazão no Circuito (m ³ /dia)		114.648	114.648
Vazão Captada (m ³ /dia)		16.704	16.704
Vazão de Reúso		97.872	97.872
Dias de Safra		251	255
Cana Moída	t/ano	941.191	899.222
	t/dia	3.750	3.526
Uso Médio Geral (m³/t cana)		30,6	32,5
Uso Médio Efetivo (m³/t cana)		4,4	4,7
Reúso Médio (m³/t cana)		26,1	27,8

Fonte: elaborada pela autora.

Estimou-se que em 2008 o reúso médio na Unidade I foi de 3,5 m³/t cana, uma vez que apenas a água envolvida na lavagem da cana encontrava-se em circuito fechado. Com fechamento do circuito das colunas barométricas/multijatos, ocorrido em 2009, o reúso médio atingiu 15,2 m³/t cana, permitindo a redução verificada na utilização de recursos hídricos, expressa pelo uso médio efetivo.

No entanto, o uso médio efetivo ainda permanece elevado (13,2 m³/t cana) na Unidade I, considerando que a Resolução SMA 067/2008 (SÃO PAULO, 2008a) estabelece que quando da renovação da Licença de Operação o empreendedor deverá apresentar um plano de adequação para que se atinjam valores máximos de 1 m³/t cana moída. Para atendimento a essa legislação a

empresa deverá adotar metas mais restritivas para a captação de água, com ênfase ao fechamento do circuito de resfriamento das águas da destilaria, que representa 87% das vazões atualmente captadas.

Na Unidade II, que dispõe de menor disponibilidade hídrica para captação superficial, o reúso médio é mais acentuado, da ordem de 26 a 28 m³/t cana. Como consequência observa-se que o uso médio efetivo é significativamente inferior ao da Unidade I, ainda que superiores aos estabelecidos na Resolução SMA 067/2008 (SÃO PAULO, 2008a). No entanto, se for realizada a adequação do sistema de resfriamento das dornas e condensadores deverá ocorrer a captação de 60m³/h (economia de 540m³/h), atingindo-se um uso médio efetivo de água estimado em 1,1m³/t cana, permitindo à Unidade adequar-se à meta legalmente estabelecida para o setor.

5.5 Caracterização Qualitativa

Os resultados das análises laboratoriais obtidos (tabelas 5.13 a 5.19) foram comparados com aqueles que constam das tabelas 3.10 e 3.11 (item 3.7.3).

Os pontos de amostragem para caracterização qualitativa das águas que circulam nas Unidades I e II são descritos a seguir, e podem ser visualizados nas Figuras 5.9 e 5.10, respectivamente.

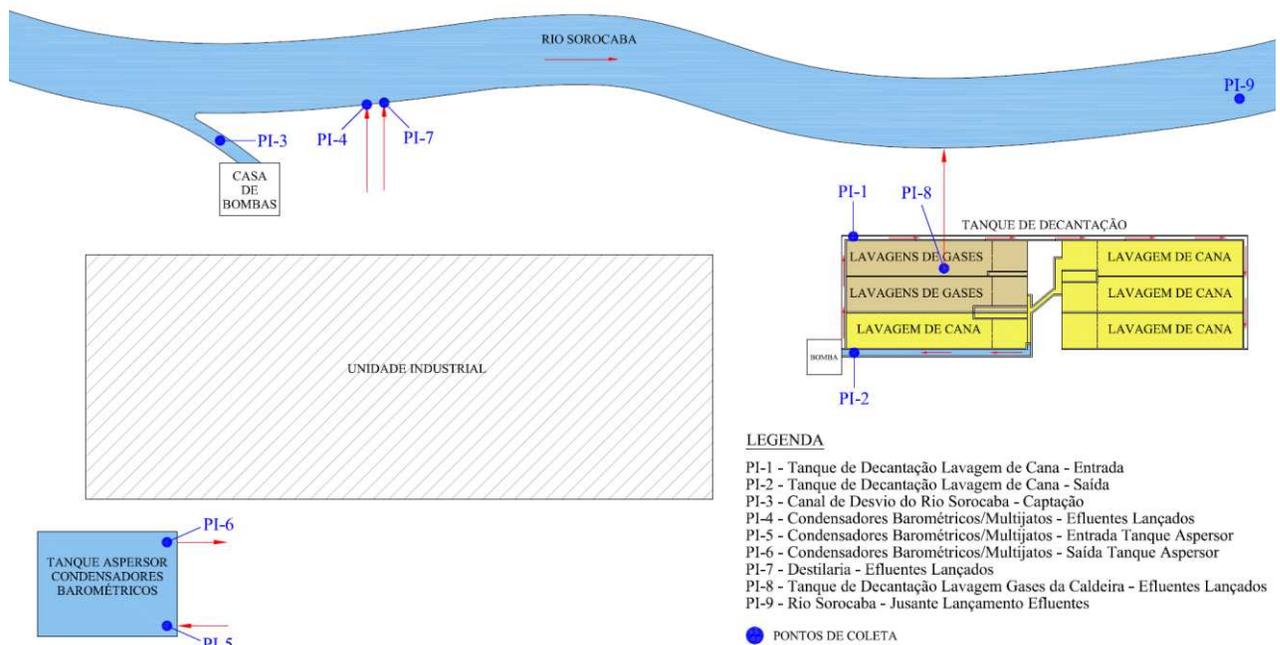
a) Unidade I - Pontos de Coleta

- ✓ PI-1: Tanque Decantação Lavagem de Cana – entrada,
- ✓ PI-2: Tanque Decantação Lavagem de Cana – saída,
- ✓ PI-3: Canal de Desvio do Rio Sorocaba – captação,
- ✓ PI-4: Condensadores Barométricos/Multijatos - efluentes lançados,
- ✓ PI-5: Condensadores Barométricos/Multijatos - entrada do tanque aspensor,
- ✓ PI-6: Condensadores Barométricos/Multijatos - saída do tanque aspensor,
- ✓ PI-7: Destilaria - efluentes lançados,
- ✓ PI-8: Tanque de Decantação Lavagem Gases da Caldeira- efluentes lançados,
- ✓ PI-9: Rio Sorocaba - jusante do lançamento de efluentes; e,

b) Unidade II - Pontos de Coleta

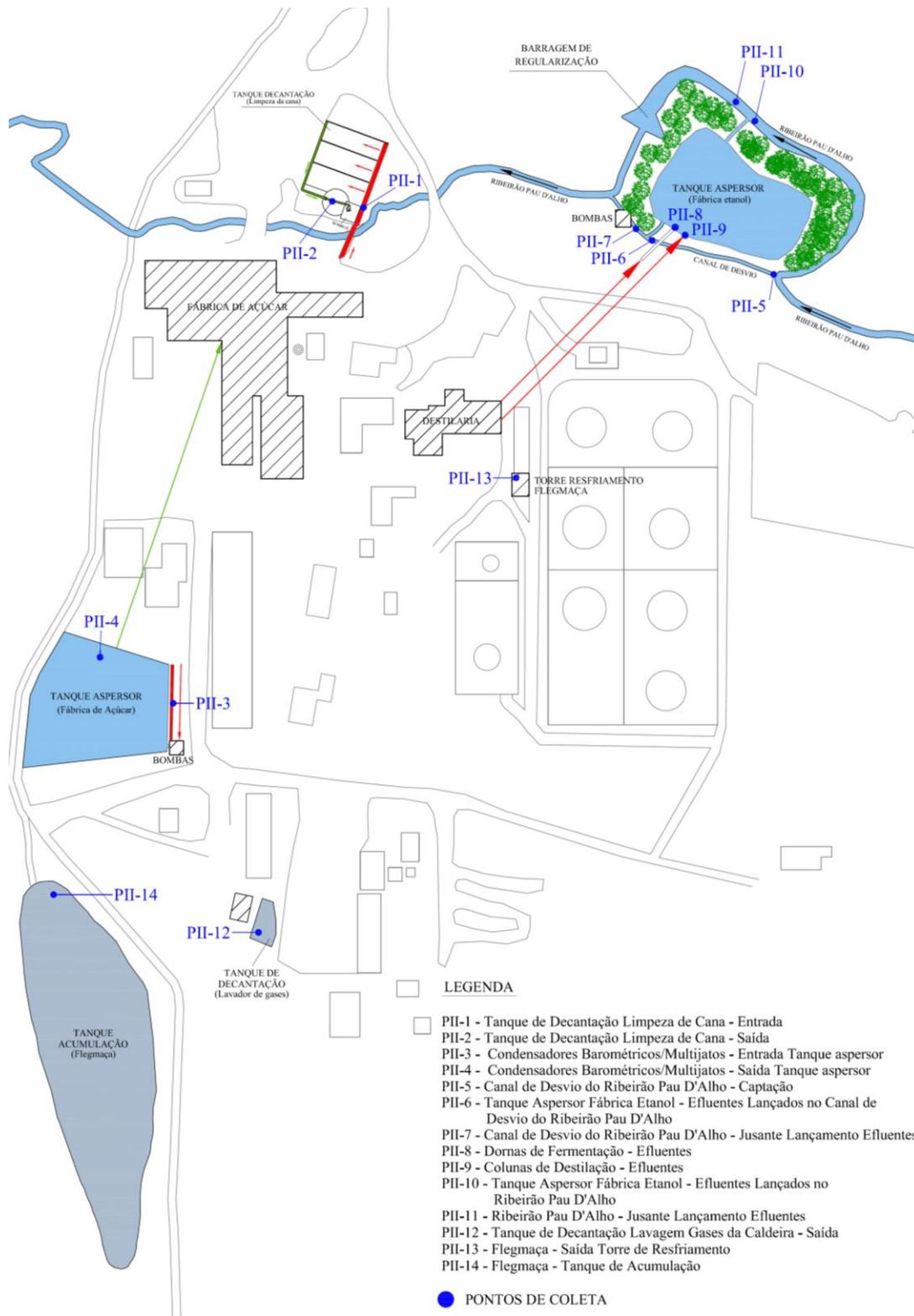
- ✓ PII-1: Tanque de Decantação Limpeza de Cana – entrada,
- ✓ PII-2: Tanque de Decantação Limpeza de Cana – saída,
- ✓ PII-3: Condensadores Barométricos/Multijatos - entrada do tanque aspensor,
- ✓ PII-4: Condensadores Barométricos/Multijatos - saída do tanque aspensor,
- ✓ PII-5: Canal de Desvio do Ribeirão Pau D’Alho – captação,
- ✓ PII-6: Tanque Aspensor Fábrica Etanol - efluentes lançados no canal de desvio do Ribeirão Pau D’Alho,
- ✓ PII-7: Canal de Desvio Ribeirão Pau D’Alho - jusante do lançamento de efluentes,
- ✓ PII-8: Dornas de Fermentação – efluentes,
- ✓ PII-9: Colunas de Destilação – efluentes,
- ✓ PII-10: Tanque Aspensor da Fábrica Etanol - efluentes lançados no Ribeirão Pau D’Alho,
- ✓ PII-11: Ribeirão Pau D’Alho – jusante do lançamento de efluentes,
- ✓ PII-12: Tanque de Decantação Lavagem Gases da Caldeira – saída,
- ✓ PII-13: Flegmaça - saída da torre de resfriamento,
- ✓ PII-14: Flegmaça - tanque de acumulação.

Figura 5.9 - Unidade I: Pontos de Amostragem



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 5.10 - Unidade II: Pontos de Amostragem



Fonte: elaborada pela autora.

Os resultados obtidos nas análises laboratoriais, realizadas em 2008 e 2010, para os parâmetros considerados de interesse para cada etapa do processo são apresentados e discutidos nos itens 5.5.1 a 5.5.4.

5.5.1 Limpeza da Cana

No circuito fechado da limpeza/lavagem de cana efetuaram-se coletas de amostras de água na entrada e saída dos tanques de decantação, em duas diferentes datas, nas unidades produtivas em estudo. Na Tabela 5.13 são apresentados os resultados obtidos.

Verificou-se que na Unidade I os valores de temperatura desses efluentes são próximos à ambiente, como apontado na literatura consultada. Na Unidade II, por sua vez, essas temperaturas mostraram-se mais elevadas, uma vez que a esse circuito são incorporados também os efluentes da limpeza dos cinzeiros das caldeiras, purga (condensado) e descarga das caldeiras, purga das turbinas, além das sobras da embebição (condensado da evaporação), que possuem temperatura elevada.

Nas duas unidades, as variações mais significativas entre os valores na entrada e saída do sistema ocorreram para os parâmetros sólidos sedimentáveis e turbidez. Em todas as amostras analisadas os sólidos sedimentáveis sofreram uma redução superior a 80%, índice que pode ser tomado como indicativo da eficiência de sedimentação de sólidos nos tanques.

A turbidez reflete a presença de sólidos suspensos que interferem na passagem da luz através da água. Na Unidade I, os valores de turbidez entre a entrada e saída dos tanques variaram em 76% na primeira campanha, e 58% na segunda, redução associada à remoção dos sólidos sedimentáveis que se encontravam em suspensão. Na Unidade II essa redução foi menos acentuada, 34% na primeira campanha e, 26% na segunda.

Tabela 5.13 - Dados Qualitativos: Limpeza/Lavagem da Cana

Ponto de Amostragem	Tanque de Decantação: Entrada				Tanque de Decantação: Saída			
	Unidade I: PI-1		Unidade II: PII-1		Unidade I: PI-2		Unidade II: PII-2	
Data Coleta	26/08/08	16/10/08	17/07/08	23/09/08	26/08/08	16/10/08	17/07/08	23/09/08
Temperatura da Água (°C)	25,5	31	32,5	39	25	31	32	37,5
pH	6,4	11,2	11,6	11,2	6,7	11,2	11,6	11,3
Condutividade (µS/cm)	5.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	7.000	6.000
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	12.400	11.200	6.710	9.120	11.800	11.500	7.620	11.000
DQO (mg/L O₂)	16.400	16.400	9.630	15.100	15.800	16.600	9.700	17.300
Sólido filtrável (mg/L)	ND	ND	12.300	12.200	ND	ND	12.300	14.800
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	2.010	367	2.110	ND	4.200	243	2.190
Sólido sedimentável (mL/L) ⁽¹⁾	4,5	5	ND	18	0,8	0,5	ND	2,5
Turbidez (UNT)	1.180	654	325	794	783	485	79	330

Notas: ND - Não Determinado; ⁽¹⁾ Sólido Sedimentável = Resíduo Sedimentável (RS).

Fonte: CETESB, 2008.

Os valores de $DBO_{5,20}$ (Tabela 5.13) foram superiores aos informados na literatura, mesmo comparando com a adoção do circuito fechado desse efluente (Tabela 3.10). A elevação desse parâmetro entre a entrada e saída do circuito pode ser justificada pelo fato de ocorrer evaporação de parte da água retida nos tanques, e a sua recirculação, concentrando a matéria orgânica, lembrando que a $DBO_{5,20}$ medida encontra-se na fase dissolvida.

A relação entre DQO e $DBO_{5,20}$ foi menor que 2,0 nas campanhas realizadas nas duas unidades, denotando a forte presença de matéria orgânica, representada pelas perdas de açúcar durante o processo de lavagem da cana, e potencializada pela recirculação da água de lavagem. Segundo Von Sperling (2005), quando a relação $DQO/DBO_{5,20}$ é menor que 2,5 tem-se uma indicação de que a fração biodegradável é elevada.

5.5.2 Fabricação de Açúcar

Os dados obtidos nas análises laboratoriais de amostras de água realizadas na Unidade I, antes do fechamento do circuito, são apontados na Tabela 5.14. Aqueles relativos às amostras coletadas na entrada e saída dos tanques aspersores, nos circuito fechados, das duas unidades, encontram-se sistematizados na Tabela 5.15.

Na Unidade I, com o circuito aberto, a temperatura das águas lançadas no Rio Sorocaba (PI-4) não atendeu, na segunda campanha, ao padrão de emissão estabelecido pela legislação ambiental vigente, que é de 40°C.

Nessa situação, a matéria orgânica presente no efluente da Unidade I, expressa pela Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$), mostrou-se inferior à indicada na Tabela 3.11 (item 3.7.3).

Tabela 5.14 - Dados Qualitativos: Unidade I – Colunas Barométricas/Multijatos (Circuito Aberto)

Ponto de Amostragem	Captação		Efluentes	
	PI-3		PI-4	
Data Coleta	26/08/08	16/10/08	26/08/08	16/10/08
Temperatura da Água (°C)	21,2	25,5	34,0	43,0
pH	7,1	7,2	7,3	7,1
Condutividade (µS/cm)	174	161	165	155
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	5	5	8	5
DQO (mg/L O₂)	<50	<50	<50	<50
Sólido filtrável (mg/L)	108	83	89	95
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	46	ND	32
Sólido sedimentável (mL/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Turbidez (UNT)	13	22	12	18

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: CETESB, 2008.

Na primeira campanha de amostragem (26/08/08), esse parâmetro teve um acréscimo de 60% entre os dados de captação e lançamento e, ainda que os valores de DBO_{5,20} nas águas lançadas no rio Sorocaba não se apresentem elevados, seu significado é importante em termos de carga poluidora, considerando as altas vazões envolvidas.

Essa carga adicional, considerando um acréscimo de DBO_{5,20} de 3 mg/L, é da ordem de 222 kg/dia, o que equivale a uma população contribuinte de cerca de 4.000 habitantes, considerando um coeficiente de contribuição per capita de 0,054kg/hab.dia, valor usualmente adotado. A elevação no valor da DBO_{5,20} indica a perda de açúcar no sistema, ainda que eliminadores de arraste se encontrem instalados tanto nos evaporadores como nos cozedores.

Nos circuitos fechados das duas unidades as diferenças de temperatura na entrada e saída dos tanques aspersores foram acentuadas (Tabela 5.15), demonstrando sua eficiência, cujo objetivo é promover o resfriamento da água que é recirculada.

Tabela 5.15 - Dados Qualitativos: Colunas Barométricas/Multijatos (Circuito Fechado)

Ponto de Amostragem	Entrada do Tanque Aspersor			Saída do Tanque Aspersor		
	Unidade I	Unidade II		Unidade I	Unidade II	
	PI-5	PII-3		PI-6	PII-4	
Data Coleta	04/11/10 ⁽¹⁾	17/07/08 ⁽¹⁾	23/09/08 ⁽¹⁾	04/11/10 ⁽²⁾	17/07/08 ⁽¹⁾	23/09/08 ⁽¹⁾
Temperatura da Água (°C)	38	41	40	29	31,5	30
pH	10,6	7,0	7,4	7,4	7,2	7,5
Condutividade (µS/cm)	ND	1.390	718	ND	1.410	724
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	1.690	1.280	420	1.978	1.190	440
DQO (mg/L O₂)	2.560	1.590	631	2.640	1.630	628
Sólido filtrável (mg/L)	ND	1.790	514	ND	1.810	276
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	140	334	ND	153	562
Sólido sedimentável (mL/L)	ND	ND	<0,1	ND	ND	<0,1
Turbidez (UNT)	ND	68	37	ND	70	43

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: ⁽¹⁾ CETESB, 2008; ⁽²⁾ SAAE, 2010.

Os valores do pH na entrada e saída do tanque aspersor da Unidade I apresentaram uma variação significativa, fato justificado pela prática de adição de leite de cal na entrada do tanque, de forma a controlar a eventual proliferação de organismos indesejáveis. Na Unidade II não se verificou a adoção dessa prática.

Observaram-se valores elevados de $DBO_{5,20}$, nas duas unidades, resultado da concentração de matéria orgânica nas águas recirculadas, sem grandes variações na entrada e saída do circuito (exceção para as amostras coletadas em 23/09/08 na Unidade II).

5.5.3 Fabricação de Etanol

As águas utilizadas no resfriamento de dornas e condensadores da destilaria da Unidade I são captadas (PI-3) e lançadas no rio Sorocaba (PI-7). Os resultados das análises são mostrados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Dados Qualitativos: Unidade I – Fábrica de Etanol

Ponto de Amostragem	Captação		Efluentes	
	PI-3		PI-7	
Data Coleta	26/08/08	16/10/08	26/08/08	16/10/08
Temperatura da Água (°C)	21,2	25,5	29	32,5
pH	7,1	7,2	7,5	7,6
Condutividade (µS/cm)	174	162	170	158
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	5	5	6	5
DQO (mg/L O₂)	<50	<50	<50	<50
Sólido filtrável (mg/L)	108	83	108	88
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	46	ND	88
Sólido sedimentável (mL/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Turbidez (UNT)	13	22	13	21

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: CETESB, 2008.

Os parâmetros medidos na Unidade I (circuito aberto), em geral, não sofreram variações significativas. A diferença de temperatura entre a captação e lançamento foi de 7°C, porém o valor desse parâmetro é compatível com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005a) que estabelece o efluente tenha uma temperatura inferior a 40°C para lançamento no corpo receptor. Como esperado, essas águas possuem baixa DBO_{5,20}.

Na Unidade II, as águas do Ribeirão Pau D'Alho são desviadas do seu curso natural (PII-5) para atender às suas necessidades, com destaque para o resfriamento das dornas de fermentação e condensadores da destilaria. As águas efetivamente bombeadas são aquelas caracterizadas no ponto de amostragem PII-7, após o lançamento dos efluentes do tanque aspersor no canal de desvio (PII-6). Na Tabela 5.17 encontram-se os resultados obtidos nessa Unidade.

Observa-se que os efluentes das dornas (PII-8) e condensadores (PII-9) apresentaram valores de DBO_{5,20} superiores aos das águas bombeadas (PII-7), ainda que a literatura consultada aponte uma concentração zero de DBO_{5,20} para efluentes oriundos do resfriamento da destilaria. Tal constatação pode estar relacionada à ocorrência de vazamento de fermentados pelas serpentinas das dornas, ou mesmo pela perda de etanol nos condensadores.

Como consequência, as águas efluentes do tanque de aspersão da Unidade II (PII-10) apresentam valores de DBO_{5,20} superiores às do ribeirão (PII-5), e seu lançamento altera a qualidade desse corpo de água (PII-11), remetendo à necessidade de fechamento completo desse circuito, com a ampliação do atual sistema de resfriamento (“spray pond”) ou sua substituição por outra tecnologia (torres de resfriamento, reúso em cascata).

Esse curso de água recebe também o esgoto doméstico gerado no Município de Boituva, sem tratamento, o que justifica o valor de DBO_{5,20} elevado na amostra coletada em 31/07/2008, que excede o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (SÃO PAULO, 2008a), que deve ser menor que 5 mg/L em águas de classe 2.

Tabela 5.17 - Dados Qualitativos: Unidade II – Fábrica de Etanol

Ponto de Amostragem	Fabricação de Etanol: Captação						Fabricação de Etanol: Efluentes					
	PII-5		PII-6		PII-7		PII-8	PII-9	PII-10		PII-11	
Data Coleta	31/07/08	30/09/08	31/07/08	30/09/08	31/07/08	30/09/08	30/09/08	30/09/08	31/07/08	30/09/08	31/07/08	30/09/08
Temperatura da Água (°C)	21,5	24	28,5	28,5	21,5	23	26	37	25,7	29	24,0	27
pH	6,9	7,0	7,2	7,8	7,0	7,1	6,6	7,3	7,4	7,6	7,2	7,4
Condutividade (µS/cm)	155	164	159	173	164	179	170	176	162	174	168	175
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	7	5	9	8	8	5	11	10	13	8	9	7
DQO (mg/L O₂)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Sólido filtrável (mg/L)	94	109	77	94	97	110	111	114	81	114	99	122
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	14	ND	22	ND	4	10	14	ND	4	ND	10
Sól. sedimentável (mL/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Turbidez (UNT)	12	11	14	13	11	10	13	17	16	14	12	13

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: CETESB, 2008.

Por fim, foram também avaliados dados qualitativos da flegmaça, resultante do processo de destilação do vinho, na Unidade II (Tabela 5.18).

Tabela 5.18 - Dados Qualitativos: Unidade II - Flegmaça

Ponto de Amostragem	Flegmaça após torre de resfriamento		Saída do tanque de flegmaça	
	PII-13		PII-14	
Data Coleta	31/07/2008	30/09/2008	17/07/2008	23/09/2008
Temp. da flegmaça (°C)	50	48	17,5	20,5
pH	5,4	4,7	7,3	7,4
Condutividade (µS/cm)	440	173	1.620	999
DBO_{5,20} (mg/L O₂)	669	322	299	195
DQO (mg/L O₂)	1.080	444	622	443
Sólido filtrável (mg/L)	710	139	1.530	744
Sólido não filtrável (mg/L)	ND	45	23	255
Sólido sedimentável (mL/L)	<0,1	<0,1	ND	0,1
Turbidez (UNT)	39	964	378	556

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: CETESB, 2008.

Verifica-se que a flegmaça apresenta pH baixo e valores de condutividade relativamente elevados, como consequência das concentrações de sólidos filtráveis (dissolvidos) presentes nas amostras analisadas.

A relação DQO/DBO em todas as amostras avaliadas foi inferior a 2,5 indicando a presença de fração biodegradável elevada. A redução da DBO_{5,20} observada na saída da lagoa de acumulação, em relação à flegmaça que a alimenta, pode ser explicada pela estabilização da matéria orgânica que ocorre nessa lagoa.

5.5.4 Geração de Energia

Foram coletadas amostras de água no circuito dos lavadores de gases das caldeiras nas duas unidades produtivas, cujos resultados foram sistematizados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Dados Qualitativos: Efluentes dos Lavadores de Gases das Caldeiras

Ponto de Amostragem	Tanque Decantação: Saída		
	Unidade I	Unidade II	
	PI-8	PII-12	
Data Coleta	16/10/2008	17/07/2008	23/09/2008
Temperatura da Água (°C)	52,0	44	58
pH	7,1	7,3	6,4
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	344	7.000	8.000
DBO _{5,20} (mg/L O ₂)	12	5.210	7.880
DQO (mg/L O ₂)	68	6.820	10.900
Sólido filtrável (mg/L)	389	10.300	13.900
Sólido não filtrável (mg/L)	20	377	1.580
Sólido sedimentável (mL/L)	5	ND	4,5
Turbidez (UNT)	68	171	294

Nota: ND – Não Determinado.

Fonte: CETESB, 2008.

Da análise Tabela 3.11 (item 3.7.3) verifica-se que os efluentes da lavagem de gases das caldeiras têm uma temperatura de 80°C. Tomando-se esse valor como referência, verifica-se uma redução acentuada na temperatura desses efluentes, na saída dos tanques de decantação, em todas as análises efetuadas.

No entanto, o lançamento desse efluente no Rio Sorocaba, no caso da Unidade I, encontra-se em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (SÃO PAULO, 2005a), que

estabelece que a temperatura deve ser inferior a 40°C. Com base nesse dispositivo legal a Unidade I também não atende ao padrão de lançamento para os sólidos sedimentáveis, que é de até 1mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff, e de DBO_{5,20}, que é de 5 mg/L.

A relação entre os valores de DQO/DBO_{5,20} na Unidade I foi de 5,7 permitindo concluir que a fração não biodegradável é elevada, situação esperada uma vez que as impurezas contidas nessa água são a fuligem, bagacilho semiqueimado e areia. É importante notar que o circuito dessas águas é aberto, com lançamento no rio Sorocaba, o que não propicia a concentração da matéria orgânica.

Na Unidade II os valores de DBO_{5,20} e DQO foram elevados. A relação DQO/DBO_{5,20} foi de cerca de 1,3, denotando a existência de uma fração biodegradável elevada, que pode ser explicada pela utilização da flegmaça para reposição de água nesses tanques, e o fato de que essas águas são recirculadas, concentrando assim a matéria orgânica presente.

5.6 Cobrança pelo Uso da Água

Realizou-se o cálculo do preço da cobrança pelo uso da água nas duas unidades produtivas em estudo com base nos valores de vazão informados pelas empresas (tabelas 5.5 e 5.6) e nos resultados das análises laboratoriais (DBO_{5,20}) obtidas na caracterização qualitativa efetuada (tabelas 5.13 a 5.19). Nas etapas para as quais não se realizou essa caracterização foram utilizados dados obtidos na literatura consultada (tabelas 3.10 e 3.11).

No cálculo dos preços adotaram-se os critérios e coeficientes ponderadores propostos pelo CBH-SMT (item 3.4.4), e aprovados pelo Decreto nº 55.008/2009 (SÃO PAULO, 2009), de acordo com as especificidades das unidades em estudo. Assim, considerou-se: captação superficial ou subterrânea¹⁷; corpos de água superficiais pertencentes à classe 2, conforme

¹⁷ Apenas na Unidade II ocorre a captação subterrânea. Assim consideraram-se coeficientes ponderadores diferenciados para os volumes captados em manancial de superfície e subterrâneo (Tabela 3.4).

estabelecido no Decreto 10.755, de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977); disponibilidade hídrica crítica (item 4.2.2); sem medição de vazão; uso industrial; inexistência de transposição de bacia; e, percentual de redução (PR) de carga orgânica de 80%¹⁸.

As simulações foram realizadas considerando:

- ✓ Situação I: situação atual;
- ✓ Situação II: hipótese de todos os circuitos de água abertos; e,
- ✓ Situação III: hipótese com todos os circuitos de água fechados, consolidando a prática do reúso no processo industrial.

Para a Unidade I foi ainda simulado o preço da cobrança considerando a situação antes do fechamento do circuito das águas dos condensadores/multijatos da fábrica de açúcar (existente até 2008 - Situação IV), para fins de comparação com a situação atual.

Observe-se que os custos de projeto e operação envolvidos na implantação de sistemas de tratamento e no fechamento dos circuitos não foram levantados, uma vez que não foi objetivo desse estudo avaliar a viabilidade econômica financeira da adoção da prática do reúso.

Exceção foi feita para os custos do projeto de fechamento do circuito das colunas barométricas/multijatos da fábrica de açúcar da Unidade I, ocorrido em 2009, para o qual se dispunha de dados, permitindo uma avaliação expedita.

5.6.1 Vazões adotadas no Cálculo da Cobrança pelo Uso da Água

As vazões envolvidas nas simulações dos preços da cobrança pelo uso da água nas unidades I e II estão descritas nos itens 5.6.1.1 e 5.6.1.2, respectivamente.

¹⁸ Para as situações em que não ocorre redução de carga orgânica adotou-se a situação mais desfavorável para o coeficiente ponderador relativo à carga lançada: $Y_3=1$, ou seja, PR=80% (item 3.4.4).

5.6.1.1 Unidade I

Na Unidade I toda a captação ocorre em corpo de água superficial. Nas tabelas 5.20 e 5.21 encontram-se os respectivos valores de vazão de captação e de lançamento considerados, para o período de safra.

Tabela 5.20 - Unidade I: Vazões de Captação adotadas nas Simulações (período de safra)

Uso	Vazão (m ³ /h)			
	Situação I	Situação II	Situação III	Situação IV
Águas de Resfriamento da Destilaria				
Resfriamento de Equipamentos	1.000	1.000	30	1.000
Resfriamento de Dornas	800	800	24	800
Resfriamento de Condensadores	1.200	1.200	36	1.200
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)				
Colunas Barométricas/Multijatos	94	3.087	94	3.087
Remoção de Impurezas				
Lavagem de Cana	20	1.000	20	20
Lavagem Gases da Caldeira	260	260	23	260
Lavagem de Pisos	5	5	5	5
Outros				
Caldeira	40	40	40	40
Fermentação	23	23	23	23
Sanitário	1	1	1	1
Total	3.443	7.416	296	6.436

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 5.21- Unidade I: Vazões de Lançamento adotadas nas Simulações (período de safra)

Uso	Vazão (m ³ /h)			
	Situação I	Situação II	Situação III	Situação IV
Águas de Resfriamento da Destilaria				
Resfriamento de Equipamentos	1.000	1.000	0	1.000
Resfriamento de Dornas	800	800	0	800
Resfriamento de Condensadores	1.200	1.200	0	1.200
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)				
Colunas Barométricas/Multijatos	0	3.087	0	3.087
Remoção de Impurezas				
Lavagem de Cana	0	1.000	0	0
Lavagem Gases da Caldeira	260	260	0	260
Lavagem de Pisos	5	5	0	5
Outros				
Caldeira	0	0	0	0
Fermentação	0	0	0	0
Sanitário	0	0	0	0
Total	3.265	7.352	0	6.352

Fonte: elaborada pela autora.

Para a Situação I (atual) foram utilizados os dados constantes da Tabela 5.5 (item 5.3.1), para o período de safra.

A partir dos dados dessa Tabela e, adotando-se a hipótese de que todos os circuitos estivessem abertos, foi possível chegar aos valores para a Situação II. Nessa situação considerou-se que toda a água captada é lançada no corpo receptor, desprezando as vazões enviadas à lavoura ou perdidas por evaporação e arraste. Exceção foi feita às vazões incorporadas ao processo que não são descartadas, configurando-se como vazões consumidas.

Para a hipótese de fechamento de todos os circuitos (Situação III), estabeleceu-se que as vazões de reposição das perdas de água seriam: 3% para as águas de resfriamento da destilaria, considerando o reúso em cascata (LEITE, 2008); e, 9% para a lavagem de gases das caldeiras

(ELIA NETO; SHINTAKU, 2009b). Para a lavagem de pisos considerou-se a disposição dos efluentes na lavoura e captação de 5 m³/h, conforme Tabela 5.5 e, que eventuais purgas dos sistemas de recirculação seriam também destinadas à lavoura. Assim o consumo resultou na água incorporada ao processo e aquela destinada ao uso sanitário, infiltrada no solo após passar pelas fossas sépticas.

Na Situação IV considerou-se o circuito aberto para o resfriamento dos multijatos/colunas barométricas da fábrica de açúcar, com uma vazão de captação e lançamento de 3.087 m³/h, conforme existente em 2008. Não foram consideradas as perdas por evaporação/arraste.

Na entressafra adotou-se, para todas as situações consideradas, que ocorreu uma vazão de captação de 50 m³/h, destinada a fins diversos (item 5.3.1), e que não houve consumo nessa Unidade, ou seja, toda a água captada foi lançada no corpo receptor.

Na Tabela 5.22 são sumarizadas as vazões adotadas nas simulações realizadas para a Unidade I, na safra e na entressafra.

Tabela 5.22 - Unidade I: Vazões Adotadas nas Simulações

Discriminação		Vazões (m ³ /h)			
		Situação I	Situação II	Situação III	Situação IV
Captação superficial	safra	3.443	7.416	296	6.436
	entressafra	50	50	50	50
Lançamento	safra	3.265	7.352	0	6.352
	entressafra	50	50	50	50
Consumo	safra	178	64	296	84
	entressafra	0	0	0	0

Fonte: elaborada pela autora.

5.6.1.2 Unidade II

A Unidade II realiza a captação de água em mananciais superficiais e subterrâneos, conforme consta do item 5.2.2. As águas que são incorporadas ao processo e utilizadas para uso doméstico são oriundas de poços artesianos. Na entressafra foi adotada uma vazão de captação de 30 m³/h, sendo 20 m³/h de origem superficial e 10 m³/h captada em poços artesianos para uso sanitário.

As vazões de captação e lançamento adotadas para as simulações, durante o período de safra, são detalhadas nas tabelas 5.23 e 5.24, respectivamente.

Para a Situação I (atual) as vazões adotadas são aquelas que constam da Tabela 5.6 (item 5.3.1), com exceção das águas de resfriamento de equipamentos, e de dornas e condensadores.

As águas de resfriamento de equipamentos circulam atualmente em circuito fechado e adotou-se uma necessidade de reposição de 7m³/h, considerando que essas águas são incorporadas àquelas destinadas ao tanque aspersor da destilaria, conforme apontado no item 5.2.2, e que a necessidade de reposição nesse tipo de sistema é de 5% (FIESP, 2010). Por sua vez, o circuito do resfriamento das dornas e condensadores não se encontra totalmente fechado (item 5.3.1), razão pela qual se consideraram vazões de captação e de lançamento de 600 m³/h.

Para a Situação II (todos os circuitos abertos) tomou-se por base os valores da Tabela 5.6 e, no caso da lavagem da cana, adotou-se os valores de vazão captados antes da adoção da limpeza a seco, ou seja, 1.200 m³/h (item 5.2.2). Desprezaram-se as vazões enviadas à lavoura ou perdidas por evaporação e arraste, e considerou-se que toda a água captada é lançada no corpo receptor (Tabela 5.24), com exceção às vazões incorporadas ao processo, que são consumidas.

Tabela 5.23 - Unidade II: Vazões de Captação adotadas nas Simulações (período de safra)

Uso	Vazão (m ³ /h)		
	Situação I	Situação II	Situação III
Captação Superficial			
Águas de Resfriamento da Destilaria			
Resfriamento de Equipamentos	7	139	7
Resfriamento de Dornas/Condensadores	600	1.200	60
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)			
Colunas Barométricas/Multijatos	0	3.000	0
Remoção de Impurezas			
Lavagem de Cana	0	1.200	0
Lavagem Gases da Caldeira	6	45	6
Lavagem de Pisos	3	3	0
Total	616	5.587	73
Captação Subterrânea			
Outros			
Embebição da Moenda	44	44	44
Caldeira	15	15	15
Fermentação	18	18	18
Sanitário	10	10	10
Total	87	87	87

Fonte: elaborada pela autora.

Na hipótese de que todos os circuitos fossem fechados (Situação III) adotou-se uma reposição de 5% de água captada superficialmente, para o resfriamento dos equipamentos e das dornas e condensadores (FIESP, 2010), e de 6 m³/h para a lavagem dos gases das caldeiras (Tabela 5.6).

Tabela 5.24 - Unidade II: Vazões de Lançamento adotadas nas Simulações (período de safra)

Uso	Vazão (m ³ /h)		
	Situação I	Situação II	Situação III
Águas de Resfriamento da Destilaria			
Resfriamento de Equipamentos	0	139	0
Resfriamento de Dornas/Condensadores	600	1.200	0
Produção de Vácuo (fábrica de açúcar)			
Colunas Barométricas/Multijatos	0	3.000	0
Remoção de Impurezas			
Lavagem de Cana	0	1.200	0
Lavagem Gases da Caldeira	0	45	0
Lavagem de Pisos	3	3	0
Outros			
Embebição da Moenda	0	0	0
Caldeira	0	0	0
Fermentação	0	0	0
Sanitário	10	10	0
Total	613	5.597	0

Fonte: elaborada pela autora.

Considerou-se ainda, para a Situação III, que as águas de lavagem do piso das caldeiras seriam encaminhadas ao circuito da limpeza da cana juntamente com as águas de lavagem dos demais pisos e equipamentos, (conforme consta do item 5.2.2) e, os efluentes sanitários (na safra e entressafra), depois de adequadamente tratados, destinados ao uso agrícola, traduzido, portanto, como vazão consumida.

Da tabela 5.25 consta o resumo dos valores de vazão que foram adotados no cálculo dos preços da cobrança pelo uso da água na Unidade II, onde se considerou que a água superficial captada na entressafra, para todas as situações simuladas, seria lançada ao corpo receptor, representando um consumo nulo.

Tabela 5.25 - Unidade II: Vazões Adotadas nas Simulações

Discriminação		Vazões (m³/h)			
		Situação I	Situação II	Situação III	
Captação	superficial	safr	616	5.587	73
		entressafra	20	20	20
	subterrânea	safr	87	87	87
		entressafra	10	10	10
Lançamento	safr		613	5.597	0
	entressafra		30	30	20
Consumo	superficial	safr	13	0	73
		entressafra	0	0	0
	subterrânea	safr	77	77	87
		entressafra	0	0	10

Fonte: elaborada pela autora.

5.6.2 Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água

Com base nas vazões que constam das tabelas 5.22 e 5.25 e nas cargas orgânicas lançadas realizaram-se as simulações dos preços anuais da cobrança pelo uso da água nas duas unidades produtivas em questão.

No cálculo dos volumes anuais captados e lançados consideraram-se vazões de captação e lançamento durante 30 dias, 24 horas diárias, 08 meses/ano, no período de safr; e, durante 22 dias, 08 horas diárias, 04 meses/ano, no período de entressafra.

As cargas lançadas, por sua vez, foram obtidas a partir do produto das vazões lançadas e das concentrações de DBO_{5,20}. Para os efluentes da lavagem da cana, lavagem de pisos e equipamentos e efluentes sanitários, adotaram-se as concentrações máximas de DBO_{5,20} que contam da Tabela 3.22, ou seja, de 500 mg/L O₂, 1.500 mg/L O₂ e 300 mg/L O₂, respectivamente. Considerou-se uma redução de 80% da carga orgânica em sistemas de tratamento, de forma a atender ao preconizado no artigo 18 do Decreto 8.468, de 08 de setembro de 1976 (SÃO PAULO,

1976), que estabelece uma concentração máxima de lançamento para a $DBO_{5,20}$ de 60 mg/L, limite que somente poderá ser ultrapassado no caso de efluentes de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de $DBO_{5,20}$ do despejo em, no mínimo, 80% (oitenta por cento)

A caracterização qualitativa realizada (item 5.5) forneceu as concentrações de $DBO_{5,20}$ adotadas para os demais efluentes lançados, observando que foram considerados os valores máximos obtidos, uma vez que não ultrapassaram o limite de 60 mg/l de $DBO_{5,20}$ estabelecido pelo Decreto 8.468/1976 (SÃO PAULO, 1976). Essas concentrações foram:

- ✓ Unidade I – período de safra: 6 mg/L O_2 para os efluentes da destilaria (Tabela 5.16), 8 mg/L O_2 para os efluentes das colunas barométricas/multijatos (Tabela 5.14), 12mg/L O_2 para os efluentes da lavagem de gases das caldeiras (Tabela 5.19). Para o período de entressafra adotou-se um valor de $DBO_{5,20}$ de lançamento de 5 mg/L O_2 ; e,
- ✓ Unidade II - período de safra: 13 mg/L O_2 para os efluentes da destilaria (Tabela 5.17), 12 mg/L O_2 para os efluentes da lavagem de gases da caldeira (referência Tabela 5.19¹⁹); 8 mg/L O_2 para os efluentes das colunas barométricas/multijatos (referência na Tabela 5.14). No período de entressafra, de 5 mg/L O_2 para os efluentes gerados.

5.6.2.1 Unidade I

Os resultados obtidos do cálculo dos preços da cobrança pelo uso da água que seriam praticados para cada situação considerada, na Unidade I, estão sistematizados na Tabela 5.26.

¹⁹ Não se dispõe de dados de $DBO_{5,20}$ para os efluentes da lavagem dos gases da caldeira e das colunas barométricas/multijatos na Unidade II, em circuito aberto, uma vez que quando da realização da caracterização qualitativa (item 5.5) esses circuitos já se encontravam fechados. Dessa forma utilizaram-se os resultados obtidos para a Unidade I.

Verifica-se que o fechamento do circuito das colunas barométricas/multijatos da fábrica de açúcar (Situação I), ocorrido em 2009, proporcionou uma redução do volume captado de 17.239.680 m³/ano (46 %), e de 17.781.120 m³/ano no volume lançado (49 %), com consequente redução das cargas lançadas (52 %). Por outro lado o consumo foi elevado em 53 %.

Tabela 5.26 - Unidade I: Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água

Discriminação	Valores Calculados			
	Situação I	Situação II	Situação III	Situação IV
Volumes/Cargas Lançadas				
Volume de água captada (m ³ /ano)	19.866.880	42.751.360	1.740.160	37.106.560
Volume de água lançada (m ³ /ano)	18.841.600	42.382.720	35.200	36.622.720
Carga orgânica lançada (kg/ano)	130.467	848.716	176	272.716
Volume de água consumida (m ³ /ano)	1.025.280	368.640	1.704.960	483.840
Valores da Cobrança				
Captação (R\$/ano) - P_{cap}	196.682	423.238	17.228	367.355
Carga lançada (R\$/ano) - $P_{lanç}$	16.961	110.333	23	35.453
Consumo (R\$/ano) - P_{cons}	29.733	10.691	49.444	14.031
Total anual (R\$) - Preço Total	243.376	544.262	66.695	416.839

Fonte: elaborada pela autora.

Como resultado os custos anuais da cobrança tiveram um abatimento de 42 %, ou seja, R\$ 173.463,00, em relação à situação existente até 2008 (Situação IV).

A partir desse valor, e considerando o custo total do projeto instalado de R\$1.500.000,00 (FIESP, 2010) e que os demais custos envolvidos na operação e energia elétrica se mantenham inalterados, pode-se estimar, preliminarmente, que o projeto se pagará em oito anos e meio.

Comparando a situação atual com a hipótese de que todos os circuitos ainda se mantivessem abertos (Situação II), a redução dos valores pagos foi estimada em 55 %.

O custo anual da cobrança, com o fechamento completo dos circuitos (Situação III), deverá sofrer uma redução de R\$ 176.681,00 (73 %), em relação à situação atual (Situação I).

5.6.2.2 Unidade II

A Tabela 5.27 contém os resultados das simulações realizadas para a Unidade II, onde verifica-se que o fechamento dos circuitos de água, associada à adoção da limpeza a seco da cana de açúcar (Situação I), permitiu uma economia anual de R\$ 396.719,00, que equivale a uma redução de 86 % do valor que seria pago se todos os circuitos ainda permanecessem abertos (Situação II).

Tabela 5.27 - Unidade II: Simulações dos Preços da Cobrança pelo Uso da Água

Discriminação	Valores Calculados		
	Situação I	Situação II	Situação III
Vazões/Cargas Lançadas			
Volume de água captada – superficial (m ³ /ano)	3.562.240	32.195.200	434.560
Volume de água captada - subterrânea (m ³ /ano)	508.160	508.160	508.160
Volume de água lançada (m ³ /ano)	3.552.000	32.259.840	14.080
Carga orgânica lançada (kg/ano)	54.060	941.946	70
Volume de água consumida (m ³ /ano)	518.400	443.520	928.640
Valores da Cobrança			
Captação (R\$/ano) - P_{cap}	40.856	324.322	9.892
Carga lançada (R\$/ano) - $P_{lanç}$	7.028	122.453	9
Consumo (R\$/ano) - P_{cons}	15.034	12.862	26.931
Total anual (R\$) - Preço Total	62.918	459.637	36.832

Fonte: elaborada pela autora.

Na hipótese dessa Unidade proceder ao fechamento completo dos circuitos do resfriamento das dornas e condensadores e da lavagem dos pisos das caldeiras, bem como o uso agrícola dos efluentes sanitários gerados durante a safra (Situação III), ter-se-ia uma redução adicional de R\$ 26.086,00 em relação à situação atual, que equivale a 41 %.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que:

- a) o desenvolvimento das atividades permitiu uma melhor compreensão dos usos da água no setor sucroalcooleiro, da sua caracterização qualitativa, das práticas de reúso desse recurso natural na produção de açúcar e etanol, das tecnologias de tratamento empregadas, bem como dos processos produtivos envolvidos, com ênfase nas unidades produtoras de açúcar e etanol estudadas;
- b) a metodologia empregada no levantamento de dados foi considerada adequada, apesar das dificuldades enfrentadas nas medições de vazão, relacionadas às diversas contribuições aos circuitos avaliados e/ou às condições das tubulações e canais de adução;
- c) a realização de medições de vazão e análises qualitativas de água e efluentes em períodos diferenciados permitiu uma maior confiabilidade nos dados obtidos;
- d) a comparação entre os valores de vazão medidos e informados pelas empresas, por vezes, mostrou discrepâncias acentuadas, que puderam ser explicadas pelas situações específicas constatadas;
- e) nas duas unidades o uso médio geral de água, calculado com base nas vazões no circuito, foi superior ao apontado na literatura consultada, indicando a necessidade de adoção de práticas operacionais que promovam o uso racional da água;
- f) a Unidade II, que adota a limpeza a seco da cana, envolve volumes expressivos de água nessa etapa, verificando-se a inadequabilidade das instalações de recalque à nova realidade. Na Unidade I essa situação é revelada pelo fato de que parte da cana não ser submetida à lavagem, porém as unidades de recalque permaneceram inalteradas;

- g) é necessário o uso racional de energia associado ao uso racional da água, considerando que os esforços para conservar água e energia podem ser vistos como complementares e sinérgicos;
- h) os usos de água nos condensadores barométricos/multijatos da fábrica de açúcar, e na fermentação/destilaria da fábrica de etanol envolvem os volumes mais expressivos, corroborando os dados obtidos na literatura consultada;
- i) na indústria sucroalcooleira, de acordo com os critérios de intencionalidade, ordem e objetivo (item 3.2.1), verifica-se o reúso de água planejado, direto, e não potável, respectivamente;
- j) a disponibilidade hídrica para captação em cada unidade estudada interferiu no nível de adoção da prática do reúso de água. Na Unidade II onde a disponibilidade hídrica é menor, essa prática é mais acentuada, além da implantação de novas tecnologias;
- k) a adoção da limpeza a seco na Unidade II permitiu uma redução de 75% do volume de água utilizado nessa etapa, denotando a importância da aplicação dessa tecnologia na racionalização do uso desse recurso ambiental;
- l) o reúso médio de água na Unidade I foi de 15 m³/t cana, enquanto que na Unidade II esse valor atingiu de 26 a 28 m³/t cana;
- m) a importância do reúso de água nas unidades estudadas é também evidenciada pela redução do uso médio efetivo de água, e conseqüente redução da utilização de recursos hídricos. Na Unidade I, com o fechamento do circuito da fábrica de açúcar, em 2009, esse uso médio reduziu de 23 m³/t cana, para 13,2 m³/t cana, ou seja, 43%. Na Unidade II, onde a prática do reúso é melhor consolidada, o uso médio efetivo foi da ordem de 4,5 m³/t cana.dia;
- n) a adequação do circuito fechado para as águas de resfriamento do mosto, dornas e condensadores da Unidade II, fará com que a utilização dos recursos hídricos atinja o patamar de 1,1 m³/t cana, permitindo a adequação da Unidade à meta legalmente estabelecida;
- o) as análises qualitativas do efluente industrial dos lavadores de gases na Unidade I indicaram a necessidade de adequação à legislação vigente, induzindo à adoção da prática do reúso de água nesse circuito;

- p) o lançamento dos efluentes da fabricação de etanol, na Unidade II, altera a qualidade do corpo receptor (em termos de $DBO_{5,20}$), fazendo-se necessário o fechamento completo desse circuito, com a ampliação do atual sistema de resfriamento (“spray pond”) ou sua substituição por outra tecnologia (torres de resfriamento, reúso em cascata);
- q) a prática do reúso de água no processo produtivo permitiu um abatimento significativo nos valores pagos pela cobrança pelo uso desse recurso natural;
- r) o fechamento do circuito das colunas barométricas/multijatos da fábrica de açúcar, na Unidade I, deverá se pagar em oito anos e meio, com a redução de 42% nos valores pela cobrança pelo uso da água;
- s) comparando a situação atual com a hipótese de que todos os circuitos de água se mantivessem abertos, estimou-se uma redução nos valores da cobrança de 55% na Unidade I, e de 86 % na Unidade II;
- t) a Unidade I poderá reduzir o montante pago pela cobrança pelo uso da água em 73 % com base na situação atual, com a adoção do reúso nos circuitos da fábrica de etanol e lavagem dos gases das caldeiras;
- u) na Unidade II, se adotado o fechamento completo do circuito das águas de resfriamento das dornas e condensadores e de lavagem dos pisos das caldeiras, bem como o reúso agrícola dos efluentes sanitários durante a safra, a redução do preço da cobrança seria de 41 %, em relação à situação atual.

7 RECOMENDAÇÕES

7.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Trabalhos acadêmicos complementares poderão ser direcionados no sentido de:

- a) avaliar o reúso da água na Unidade I após o fechamento do circuito da destilaria, cujo projeto encontra-se em elaboração, e verificação dos preços da cobrança pelo uso da água com a adoção dessa prática; e,
- b) desenvolver um modelo de gerenciamento dos recursos hídricos, para o setor sucroalcooleiro;

7.2 Recomendações às Unidades Produtivas Estudadas

Considerando os resultados obtidos recomenda-se que as unidades industriais em estudo promovam:

- a) a incorporação da variável ambiental às práticas administrativas e operacionais, buscando envolver todos os trabalhadores;
- b) o fechamento de todos os circuitos de água na Unidade I, com ênfase à fabricação de etanol, adotando-se a melhor tecnologia aplicável. Nesse sentido verificou-se que encontra-se em estudo nessa Unidade a adoção do resfriamento em cascata dos efluentes do resfriamento das dornas e condensadores (USM, 2010);

- c) a adequação do sistema de resfriamento das águas da fabricação de etanol, na Unidade II, realizando o completo fechamento do circuito;
- d) a instalação de medidores de vazão nos principais circuitos de forma a melhor quantificar a utilização de recursos hídricos no processo produtivo, e buscar alternativas eficientes de racionalização do uso da água, de forma a atingir as metas legais estabelecidas para o setor
- e) a implantação do gerenciamento de recursos hídricos; e,
- f) o uso racional de energia, associado ao uso racional da água.

8 REFERÊNCIAS

[ABES] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Reúso da Água**. São Paulo, SP: ABES, 1992.

ALBUQUERQUE, A. G. **Avaliação Exergética dos Efluentes do Processo Industrial do Álcool**. 2005. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

[ANA] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; [FIESP] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; [SINDUSCON SP] SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo, 2005.

ASSAN, M. A. C. **Avaliação do Desempenho de um Reator Biológico de Discos Rotativos (Biodisco) no Tratamento de Efluentes da Indústria Sucroalcooleira**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologia, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Brasília, DF: CONAMA, 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n° 54**, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais, para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n° 91**, de 5 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008. Disponível em: <http://www.ciesp.com.br/ciesp/conteudo/enquadramentos_91.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades @**. Brasília, DF: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. **Cidades.gov.br**. Ações Complementares. Brasília, DF: Ministério das Cidades, [2011a]. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=156&Itemid=210>. Acesso em: 20 abr. 2011.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Brasília, DF: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, [2011b]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tab_1_11.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reúso de Água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.) **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

CAMARGO, A.L.B. **Desenvolvimento Sustentável: Dimensões e Desafios**. Campinas: Papirus, 2003.

CENTURIÓN, R. B.; TARALLI, G. **A Experiência adquirida e os Programas da CETESB relativos a Tratamento e Reutilização de Águas Residuárias de Açúcar e Álcool de Cana.** São Paulo: [s.n.], 1978.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DO SÃO PAULO. **Norma Técnica P4.231 - Vinhaça: Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola.** São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 26 jun. 2011.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DO SÃO PAULO. **Relatório de Ensaio.** Setor de Laboratório de Sorocaba. Sorocaba, SP: CETESB, 2008. Relatórios nº 322 a 323/2008, 325/2008, 327/2008, 330/2008, 332/2008, 354/2008 a 359/2008, 394/2008 a 399/2008, 486/2008 a 492/2008, 508/2008 a 514/2008, 549/2008 a 555/2008.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DO SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2008.** São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 18 nov. 2009.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DO SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009.** São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

[CMMAD] COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum.** 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

[CBH-SMT] COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 1995.** Sorocaba, SP: Secretaria Executiva CBH-SMT, 1997.

[CBH-SMT] COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ. **Deliberação CBH-SMT 191,** de 09 de fevereiro de 2007. Aprova o Plano de Bacias/ Metas, Ações e Investimentos. São Paulo, SP: Secretaria Executiva CBH-SMT, 2007.

COSAN S.A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Processo Produtivo**. São Paulo, 2005. Disponível em:
<<http://www.b2i.us/profiles/investor/fullpage.asp?f=1&BzID=1173&to=cp&Nav=0&LangID=3&s=0&ID=3875>>. Acesso em: 26 mar. 2009.

ELIA NETO, A. Água na Indústria da Cana de Açúcar. In: **Workshop Projeto PPP: Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-De-Açúcar**, 2008, São Paulo, 2008.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A.; DONZELLI, J. L. Processo Agroindustrial. In: **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: ANA, 2009.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A. Usos e Reúso de Água e Geração de Efluentes. In: **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: ANA, 2009a.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A. As Boas Práticas Industriais. In: **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: ANA, 2009b.

[FIESP] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Projeto: Fechamento do Circuito do Sistema de Resfriamento das Águas da Fabricação de Açúcar da Usina Santa Maria. Cerquilho, SP. In: **5º Prêmio Fiesp de Conservação e Reúso de Água: 2010**. São Paulo, 2010.

FINK, D. R.; SANTOS, H. F. dos. A legislação de Reúso de Água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.). **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Utilização de Esgotos Sanitários- Marcos Conceituais e Regulatórios. In: FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2006.

HENKES, S. L. Histórico Legal e Institucional dos Recursos Hídricos no Brasil. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 8, n. 66, 1 jun. 2003. Disponível em: <<http://jus.uol.com.br/revista/texto/4146>>. Acesso em: 04 jun. 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Município e Recarga de Aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.). **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

[IPT] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório Técnico n° 80.401-205. Relatório Zero da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê**: Atualização 2005. São Paulo: CERISO: CBH – SMT: FEHIDRO, 2006.

[IPT] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório Técnico n° 104.269-205. Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10)**: Revisão para Atendimento da Deliberação CRH 62. Relatório Final. IPT: Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas – CETAE; Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental - LabGeo. São Paulo: CERISO: CBH – SMT: FEHIDRO, 2008.

KESSERLINGH, S. M. **Minimização e Reúso de Água em Indústrias Sucroalcooleiras: Estudo de Caso**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LEITE, H. T. C. A. Sustentabilidade e o Uso da Água. In: **Uso da Água na Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas - Painel I**. São Paulo, 2008.

LOPES, J. M. **Retrospectiva GT Reúso (CNRH, CTCT)**, 2006. Apresentação de slides. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=111:grupo-1-reuso-&catid=29:grupos-de-trabalho-ctct&Itemid=73>. Acesso em 30 mar. 2010.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

PAYNE, J. H. **Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana**. Tradução: Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel, 1989.

PIACENTE, F. J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: o Caso das Usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RIBEIRO, F. M. G.; VILELA JUNIOR, A. O Reúso da Água no Contexto da Ecologia Industrial. In: 1ST INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: UNIP, 2007. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/first/ptbr/site/downloads.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2008.

ROJAS, P. J. K.; **Uso, Reúso y Reciclaje del Agua Residual en una Vivienda**. 2004. Tese (Doutorado) - Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil Administrativa, Guatemala.

[SAAE]- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO. **Relatório de Ensaio**. Sorocaba, SP: SAAE Sorocaba, 2010. Relatórios nº 01/2010 e 02/2010.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 8.468**, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 1976.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 10.755**, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 1977.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.663**, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 1991.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.034**, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 1994.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 11.241**, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 2002a.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 47.397**, de 4 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes 2002b.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 47.700**, de 11 de março de 2003. Regulamenta a Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana de açúcar e dá providências correlatas. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes 2003.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 12.183**, de 29 de dezembro de 2005. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes, 2005.

SÃO PAULO (Estado). CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CRH (São Paulo). **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004/2007**. São Paulo: DAEE, 2006a.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 50.667**, de 30 de março de 2006. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.183, de 29 de dezembro de 2005, que trata da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo e dá providências correlatas São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes 2006b.

SÃO PAULO (Estado). **Deliberação CRH nº 63**, de 04 de setembro de 2006. Aprova procedimentos, limites e condicionantes para a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, 2006c.

SÃO PAULO (Estado). **Resolução SMA nº 67**, de 18 de setembro de 2008. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008a.

SÃO PAULO (Estado). **Resolução Conjunta SMA-SAA nº 004**, de 18 de setembro de 2008. Dispõe sobre o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008b.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 55.008**, de 10 de novembro de 2009. Aprova e fixa os valores a serem aplicados na cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. São Paulo, SP: Palácio dos Bandeirantes 2009.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SILVA, A. K. P.; FLORES, L. C.; GALDEANO, M. M.; VAL, P. T. do. **Reúso de Água e suas Implicações Jurídicas**. São Paulo, SP: Navegar, 2003.

SILVA, L. M. C. da. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Apresentação de slides. Brasília: ANA, [200?]. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/pesquisaSimples.asp?criterio=recursos%20hidricos&categoria=6&pesquisar=Pesquisar&NovaPagina=9>>. Acesso em: 18 set. 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. **Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse**. Metcalf e Eddy, Inc. 3. ed. / revised by George Tchobanoglous e Frank Burton. New York: McGraw-Hill, 1991.

[UNICA] UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇUCAR. **Setor Sucroenergético – Histórico**. São Paulo, 2009a. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/default.asp?cchCode={C2B8C535-736F-406B-BEB2-5D12B834EF59}>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

[UNICA] UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇUCAR. **Avaliação da Área de Cana Disponível para Colheita na Safra 2008/09**. São Paulo, 2009b. Disponível em: <http://www.unica.com.br/downloads/estatisticas/canasat_2008.pdf>. Acesso em 15 mar. 2009.

[UNICA] UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇUCAR. **Dados e Cotações –Estatísticas**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 18 mai. 2010.

[UNICA] UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇUCAR. **Sustentabilidade - Protocolo Agroambiental**. São Paulo, 2011. Disponível em:
<<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>> Acesso em: 15 jun. 2011.

[USM] USINA SANTA MARIA. **Plano de Melhoria Ambiental**. Cerquilha, São Paulo, 2006.

[USM] USINA SANTA MARIA. **Águas Residuárias**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fabiolamaria@msn.com> de <abbueno.ind@jpilon.com.br> em 09 out. 2008, 09h40.

[USM] USINA SANTA MARIA. Dados de **Produção**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <atma.consultoria@gmail.com> de <abbueno.ind@jpilon.com.br> em 07 mai. 2010, 15h35.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. **Plano de Fertirrigação para Águas Residuárias na Lavoura**. Boituva, São Paulo, 2007.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. **Resumo Industrial – Acumulada** de 14/04/2008 a 20/12/2008. Boituva, São Paulo, 2008a.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. **Resumo Industrial – Diária** de 13/11/2008/, 14/11/2008 e 02/12/2008. Boituva, São Paulo, 2008b.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. **Resumo Industrial – Acumulada** de 02/04/2009 a 12/12/2009. Boituva, São Paulo, 2009a.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. Fluxo da Água da **Lavagem de Cana**. . [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fabiolamaria@msn.com> de <engenharia@usinasantarosa.com.br> em 24 jun. 2009b, 18h49.

[USR] USINA SANTA ROSA LTDA. **Resumo Industrial – Diária** de 27/07/2010. Boituva, São Paulo, 2010.