



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

ARIANA SILVA FERREIRA

BALANÇO HÍDRICO DO SETOR DE LAVAGEM DE GASES DE
COMBUSTÃO GERADOS EM CALDEIRA DE BIOMASSA

RIBEIRÃO PRETO - SP

2018

ARIANA SILVA FERREIRA

BALANÇO HÍDRICO DO SETOR DE LAVAGEM DE GASES DE
COMBUSTÃO GERADOS EM CALDEIRA DE BIOMASSA

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissionalizante em
Tecnologia Ambiental do Centro de
Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias
da Universidade de Ribeirão Preto como
requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello
Innocentini

Ribeirão Preto - SP

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

F383b Ferreira, Ariana Silva, 1983-
Balanço hídrico do setor de lavagem de gases de combustão gerados em caldeira de biomassa / Ariana Silva Ferreira. – Ribeirão Preto, 2018.
76 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Água - Custos. 2. Água - Reuso. 3. Indústria sucroenergética.
I. Título.

CDD 628

Ariana Silva Ferreira

**“BALANÇO HÍDRICO DO SETOR DE LAVAGEM DE GASES DE
COMBUSTÃO GERADOS EM CALDEIRA DE BIOMASSA”.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini

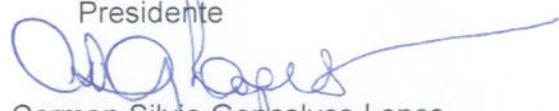
- Área de concentração: Tecnologia Ambiental

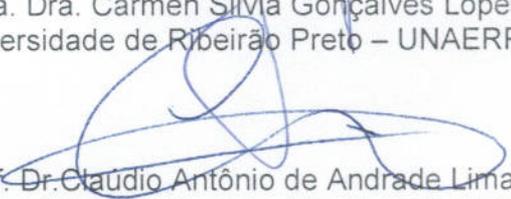
Data de defesa: 19 de Abril de 2018

Resultado: Aprovada

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente


Prof. Dra. Carmen Silvia Gonçalves Lopes
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP


Prof. Dr. Claudio Antônio de Andrade Lima
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL

Ribeirão Preto
2018

Dedico este trabalho ao meu esposo Rafael e à minha filha Manuela.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até aqui, tornando possível essa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini, por ter me conduzido na realização e conclusão desse trabalho.

À Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira, pelas concessões que possibilitaram a conclusão dessa etapa.

À Usina Cerradão Ltda., em especial aos Diretores Florencio Queiroz Neto e José Pedro Andrade por terem permitido a realização desse trabalho dentro da empresa e todo apoio que me deram.

À Rosimeire do departamento ambiental da Usina Cerradão, por ter me auxiliado de forma tão significativa.

Ao Federico G. Lovero e ao Instituto Politécnico de Turim pelos dados fornecidos e contribuição científica.

Ao meu pai Adair que por tantas vezes deixou de lado suas tarefas para me levar à Ribeirão Preto.

À minha mãe Eleuza e à minha irmã Maíra pelo incentivo e apoio na realização desse sonho.

Aos meus sogros Adailton e Ormelinda por terem cuidado da minha filha recém-nascida para que eu conseguisse concluir esse projeto.

Ao meu esposo por não ter permitido que eu desistisse.

RESUMO

O setor sucroenergético tem aderido nos últimos anos, de forma intensa, à sustentabilidade ambiental em todas as suas atividades industriais, principalmente no que se refere ao uso dos recursos naturais, em especial a água. Ainda que na última década tenha havido uma redução significativa no uso de água pelo setor, a demanda por esse recurso natural ainda se dá intensivamente nos processos de produção de açúcar, etanol e bioenergia. Com a possibilidade de escassez da água, o setor tem buscado alternativas de redução e reuso, visando garantir a manutenção dos recursos hídricos e conseqüentemente viabilizar, financeira e ambientalmente, suas atividades que demandam desse recurso. Atualmente, a captação de água pelo setor está na ordem de 1 m³/t de cana processada, sendo que o setor pratica um índice de reuso de 90% em unidades que realizam a distribuição e utilização dos recursos hídricos em circuito fechado. O presente trabalho foi realizado em uma usina sucroenergética, com o objetivo de quantificar o volume de água que entra no processo de lavagem de gases de combustão gerados em caldeira de biomassa, identificando a perda de água nesse setor e os custos financeiros gerados. Foram realizadas medições de vazão de água na entrada e saída do setor de lavagem de gases, com uso de um medidor ultrassônico não invasivo, uma vez que o sistema de distribuição de água no processo produtivo da empresa é por meio de circuito fechado, e foram estimados os custos prováveis com a implantação da cobrança pelo uso da água e demais custos no setor resultantes da perda de água. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que na operação do lavador de gases há uma perda total de água de 27,8 m³/h. Cerca de 12,1 m³/h são perdidos na forma de vapor durante a queima do bagaço, 10,2 m³/h são perdidos no próprio sistema de tratamento e 5,5 m³/h são perdidos em forma de umidade presente na torta de fuligem resultante do processo de tratamento da água do lavador. Concluiu-se que a perda de água na lavagem de gases e estação de tratamento de água de lavagem é de aproximadamente 24% da água que entra no processo. Apenas 36,44 m³/h de água após o tratamento, retornam ao processo de lavagem, ou seja, o índice de reuso no lavador de gases é de 70%. O custo estimado em razão da perda de água no setor foi de R\$0,479/m³. Por outro lado o que mais surpreendeu foi o custo com o transporte da torta de fuligem, cuja umidade é de 78,34% (b.u), para o pátio de compostagem. Esse transporte é realizado com uso de veículos movidos a combustível fóssil (óleo diesel) e o custo é de R\$4,00/t.torta, o que significa uma perda financeira de R\$3,133/m³.água.

Palavras-chave: Água. Custos. Reuso. Indústria sucroenergética. Perda de água.

ABSTRACT

In the recent years, the environmental sustainability has been intensively incorporated into the all industrial activities of the sugar cane segment, especially on the water usage. In fact, the hydric consumption by this sector was significantly decreased in the last decade. Despite these, there is still an intensive demand for this natural resource during the production process of sugar, ethanol and bioenergy. With the possibility of a severe water crunch, this segment has searched for alternatives of reduction and reuse, in order to guarantee the maintenance of the hydric resources. In consequence, their industrial activities which depend on the water could become practicable, in financial and environmental terms. At present, the water amount consumed by this type of industry is about one meter cubic per ton of processed sugar cane, even with a reuse index of 90 percent for sectors that utilize closed circuits of distribution and use. The present study was carried out in a sugar-ethanol plant, and its aim was to quantify the water volume required in the combustion gases washing, generated in a biomass furnace, identifying the water losses and the financial cost in this process. The water flow in the entrance and way out of the gases washing was measured with a non-invasive ultrasonic indicator, once the system of water distribution in the production process of the company occurs by closed circuit. The probable implantation costs of the water usage and other costs in the sector, in consequence of the water losses, were estimated. The results obtained in this study demonstrated that there is a total water loss of 27.8 meters cubic per hour during the gases washing. About 12.1 m³/h are lost as water vapor during the sugar cane bagasse burning, 10.2 m³/h in the treatment system, and 5.5 m³/h in the humidity of the soot deposit resulting from water treatment of the washer. We concluded the water loss in the gases washing and in the treatment station is about 24% of the initial water, in the entrance of the process. After the treatment, solely 36.44 m³/h is recovered, with a reuse index of 70%. The estimated cost in function of this water loss was of 0.479 Reals (R\$) per cubic meter. On the other hand, the cost of the transportation of the soot deposit to the compost yard is of R\$4.00 per ton of material, equivalent to a financial cost of R\$3.133/m³ of water, considering the humidity of the soot is of 78.34% (b.u.), and the transportation is done using fossil fuel vehicles (fuel oil).

Keywords: Water. Fee. Reuse. Sugar-ethanol industry. Hydric loss.

LISTA DE ABREVIATURAS

ETALG	Estação de Tratamento de Água de Lavagem de Gases
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
GD8	Baixo Rio Grande
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas
PCJ	Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
SEGRH	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
CBH	Comitê da Bacia Hidrográfica
SUPRAM	Superintendência Regional de Regularização Ambiental
SAG	Sistema Aquífero Guarani
PIRH	Plano Integrado de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1	ÁGUA: DISTRIBUIÇÃO, USO E GESTÃO	13
3.1.1	Breve histórico jurídico-legal da gestão de recursos hídricos no Brasil	17
3.1.2	Gestão hídrica no Estado de Minas Gerais	19
3.2	A BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO RIO GRANDE (GD8)	21
3.3	COBRANÇA PELO USO DAS ÁGUAS	24
3.3.1	Cobrança no âmbito nacional	25
3.3.2	Cobrança em Minas Gerais	26
3.3.3	Cobrança na Bacia do Baixo Rio Grande (GD8)	28
3.4	O SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL	30
3.4.1	Usinas instaladas em Minas Gerais	33
3.5	O CONSUMO DE ÁGUA NO SETOR SUCROENERGÉTICO	35
3.5.1	Recepção, preparo e moagem da cana-de-açúcar	39
3.5.2	Fabricação de açúcar	40
3.5.3	Produção de etanol	41
3.5.4	Geração de bioeletricidade	41
4	METODOLOGIA	46
4.1	DESCRIÇÃO DA UNIDADE AGROINDUSTRIAL	47
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES DE ESTUDO NA UNIDADE	47
4.3	MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA NO LAVADOR DE GASES E ETALG	47
4.3.1	Pontos de medição de vazão de água	49
4.4	CÁLCULO DO CONSUMO E PERDA DE ÁGUA NO PROCESSO	51
4.5	SIMULAÇÃO DOS PREÇOS PELO USO DAS ÁGUAS	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	UNIDADE OBJETO DE ESTUDO	55
5.1.1	Consumo de água na empresa	55
5.1.2	Caracterização dos setores de lavagem de gases e ETALG	57
5.1.3	Caldeira e lavador de gases	58

5.1.4	Resultados medidos na unidade de estudo	59
5.1.5	Estação de tratamento de água do lavador de gases (ETALG)	62
5.2	PERDA DE ÁGUA TOTAL NO SISTEMA	63
5.3	COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA	65
5.4	DEMAIS CUSTOS LEVANTADOS	65
6	CONCLUSÕES	67
7	RECOMENDAÇÕES	68
7.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA A UNIDADE ESTUDADA	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O debate ambiental sobre o uso de água doce potável tomou proporções mundiais, tanto para a utilização pela população para atendimento de suas necessidades básicas, quanto para o uso agrícola e industrial e, assim, inúmeras discussões vêm sendo travadas nos ambientes acadêmicos, midiáticos e mesmo entre a população leiga, o que demonstra uma preocupação coletiva com a possível falta desse bem natural e suas consequências.

As autoridades competentes, por meio de edição de leis e de fiscalização cada vez mais forte, também estão apertando o cerco aos poluidores e descumpridores das normas ambientais, trazendo novos desafios e mudanças ao setor produtivo, em todas as esferas, seja industrial, agrícola, agroindustrial e de serviços.

Diante disso, este trabalho pretende levantar e discutir a questão do uso racional e ambientalmente correto da água, as possibilidades de economia e de reuso nas usinas sucroalcooleiras, bem como analisar as características inerentes ao processo sucroenergético, visando o aproveitamento da água nas caldeiras das usinas, nos lavadores de gases e na estação de tratamento e lavagem de gases.

Além disso, é fundamental e recomendável que o setor sucroalcooleiro esteja informado, preparado e planejado para executar a implantação de tecnologias que racionalizem, otimizem e adequem o uso ecologicamente correto da água, com o intuito de aproveitar ao máximo as potencialidades dos equipamentos e técnicas de redução do consumo de água, além de promover processos inteligentes de reuso.

Assim, as usinas sucroalcooleiras devem buscar as melhores alternativas para aumentar sua produção e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais, melhorando a gestão operacional e financeira das empresas, hoje com grande destaque nacional e internacional na produção de etanol, açúcar e bioenergia.

O presente trabalho objetivou, por meio de estudo de caso de uma unidade sucroenergética localizada na região do Triângulo Mineiro, avaliar o uso da água no lavador de gases de uma caldeira movida à biomassa, por meio de medições de vazão na entrada e saída do processo.

Essa avaliação permitiu identificar as perdas de água no processo de lavagem de gases, além de estimar os custos a serem pagos em razão da cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Medir a vazão de água utilizada no processo de lavagem de gases da caldeira à biomassa da Unidade sucroenergética objeto de estudo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização da unidade de estudo e os setores de lavagem de gases e estação de tratamento de água do lavador de gases;
- Medir a vazão de água que entra no sistema de lavagem de gases e cinzas da caldeira;
- Calcular as perdas de água no lavador de gases e na estação de tratamento de água do lavador de gases (ETALG);
- Estimar os custos financeiros do uso das águas no setor de lavagem de gases.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ÁGUA: DISTRIBUIÇÃO, USO E GESTÃO

Notório que a água é um recurso natural fundamental à manutenção da vida e tem sido assunto discutido mundialmente, não só pela sua importância vital, mas pelos riscos de escassez e disputas, uma vez que a falta de água configura-se uma questão premente constatada em vários locais do país e no mundo (VAZOLLER, 2002; BRASIL, 2005).

Os recursos hídricos são considerados fontes de grande valor para a sobrevivência e desenvolvimento dos seres vivos. Por serem abundantes na natureza, até poucas décadas atrás, o homem imaginou que a água potável poderia ser usada à vontade e que nunca se esgotaria, o que certamente provocou uma sensação de despreocupação quanto a sua preservação. Dessa forma, todas as nações e povos se desenvolveram e formaram grandes centros urbanos sem os devidos cuidados quanto à contaminação da água e do meio ambiente (CASSIRER, 1972).

Do total de água na Terra, 2,53% é de água doce, porém a maior parte encontra-se retida na superfície, no solo, no subsolo e nas massas de gelo. Segundo Branco (1993), o ciclo quantitativo da água no planeta é renovado constantemente, posto que os 100 trilhões de toneladas de água são evaporados dos oceanos e precipitam-se, em forma de chuvas, sobre os continentes, estimando-se que 37 trilhões de metros cúbicos anuais oriundos das chuvas escoam por rios e depois são levados ao mar novamente.

Há décadas a água tem se tornado mais escassa e, em muitos países, houve necessidade de importação de água potável ou dispêndio de grandes somas de recursos para dessalinizar as águas oceânicas. Aliado a esse problema, também é possível notar importante contaminação dos recursos hídricos, provocada pelo descarte de esgotos urbanos (industriais e residenciais) e rurais, devido às atividades da agropecuária e da agroindústria (VAZOLLER, 2002).

Paralelamente, há também redução da vazão dos cursos d'água por causa do assoreamento das margens, o que reflete na capacidade de recuperação desses recursos hídricos e ainda prejudica ou impossibilita o retorno do equilíbrio natural. Outro problema são as águas dos lençóis freáticos, muito utilizadas para o consumo devido a sua boa qualidade e facilidade de acesso. Mesmo estando mais protegidos

no subsolo, muitos lençóis freáticos estão contaminados e sua autodepuração é bastante lenta, o que dificulta sua recuperação (VAZOLLER, 2002).

Em decorrência desse quadro de degradação dos recursos hídricos, em nível mundial, obviamente os efeitos são muito graves e geram preocupações com o abastecimento atual e, mormente, no futuro, como se vê em publicação do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005), que ressalta que o crescimento da população em todo o mundo e a sua concentração cada vez mais em megalópoles pode provocar consequências imprevisíveis na qualidade e na quantidade de água disponível.

A Organização Mundial da Saúde calcula que 2,6 bilhões de pessoas ainda não contam com saneamento básico e 1,1 bilhão sequer tem abastecimento de água aceitável. A Organização das Nações Unidas estima que, em 2050, aproximadamente 45% dos habitantes do planeta estarão vivendo em locais ou países que não disporão da parcela mínima de 50 litros diários mínimos por pessoa (BRASIL, 2005).

A Unesco vislumbra que 54% da água doce em disponibilidade no mundo, presente em rios, aquíferos, córregos ou lagos, é consumida por mais de 6 bilhões de pessoas e, conforme dados da ONU para Agricultura e Alimentação (FAO), sendo o uso distribuído em 8% para uso doméstico, 22% para a indústria e 70% para a agricultura (BRASIL, 2005).

Desde 2014, o Brasil vem registrando fortes indícios da já considerada maior crise hídrica da história recente, devido à seca e a falta de gerenciamento do uso dos recursos naturais (MARENGO et al., 2015; IGAM, 2015), embora o país seja um dos maiores privilegiados em termos de recursos hídricos no mundo, comportando em seus domínios cerca de 13,7% da água doce mundial (BRASIL, 2005).

Por ser um recurso natural renovável, o que se dá em razão dos processos físicos do ciclo hidrológico, fez com que a água fosse tratada como um recurso inesgotável. Porém, o que se constata é que a água não está distribuída equitativamente pelo território brasileiro, dependendo ainda das condições climáticas de cada região (BRASIL, 2005; RIBEIRO, 2011), como visto na Tabela 1.

Tabela 1: Bacias hidrográficas brasileiras

Nº	Bacia Hidrográfica	Área 10 ³ km ²	%	População Hab.	%	Densidade Hab./km ²	Vazão M ³ /S	Disponibilidade km ³ /ano	%	Disponibilidade M ³ /hab.ano
1	Amazônica	3.900	45,8	6.687.893	4,3	1,7	133.380	4206	73,2	628.940
2	Tocantins	757	8,9	3.503.365	2,2	4,6	11.800	372	6,5	106.220
3	Atlântico N/NE	1.029	12,1	31.253.068	19,9	30,4	9.050	285	5,0	9.130
4	São Francisco	634	7,4	11.734.966	7,5	18,5	22.850	90	1,6	7.660
5	Atlântico Leste	545	6,4	35.880.413	22,8	65,8	4.350	137	2,4	3.820
6A	Paraguai**	368	4,3	1.820.569	1,2	4,9	1.290	41	0,7	22.340
6B	Paraná	877	10,3	49.924.540	31,8	56,9	11.000	347	6,0	6.950
7	Uruguai**	178	2,1	3.837.972	2,4	21,6	4.150	131	2,3	34.100
8	Atlântico Sudeste	224	2,6	12.427.377	7,9	55,5	4.300	136	2,4	10.910
	Brasil	8.512	100	157.070.163	100	18,5	182.170	5.745	100	36.580

Fonte: SIH/Aneel 1999 *ibge,1996. ** Produção hídrica brasileira

Fonte: Brasil (2005) modificado pela autora

Neste sentido, Branco (1993) faz uma importante explicação do ciclo da água na natureza:

Da totalidade de chuvas que caem da superfície da Terra, na verdade apenas uma pequena parcela, cerca de 30%, escoam diretamente para os rios. Essa parcela, que recebe o nome de água de escoamento superficial, é responsável pelos fenômenos de erosão e transporte de terra e outros sedimentos. A maior parte, porém, infiltra-se no solo, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos de argila, de areia e de rochas mais consolidadas, formando depósitos de água subterrânea. (BRANCO, 1993, p. 41).

É de se notar o problema da escassez de água em determinadas regiões e períodos de tempo. Isso se deve à grande evaporação da água, a qual não retorna de forma compensatória pelas chuvas, sendo a construção de açudes uma das saídas para o problema. Entretanto, evidencia-se essa escassez determinada pelas contingências ambientais naturais e aquele provocado por atividade antrópica, que podem desencadear efeitos deletérios para o meio ambiente, homem, fauna e flora (BRANCO, 1993).

No entanto, somente construir reservatórios e contar com as chuvas não é a saída mais correta, considerando as variações pluviométricas extremas ou ainda o consumo imoderado. Por isso, segundo recomenda o IGAM (2015), é vital que se proceda ao controle do uso das águas, promovendo medidas de segurança hídrica, tendo em conta a garantia da oferta de recursos hídricos para consumo humano e atividades produtivas, assim como planejar e prever épocas de desequilíbrios da oferta e necessidade da água.

Diante da má distribuição da água doce no país, o Brasil adotou um sistema nacional de gestão de recursos hídricos, fixando unidades de gerenciamento das 12 bacias hidrográficas, conforme visualizado na Figura 1.

Figura 1: Grandes bacias hidrográficas do Brasil



Fonte: Brasil (2005)

A distribuição geográfica dos recursos hídricos no país é desproporcional às demandas da população. A região Sudeste possui 6% da água doce superficial e 43% da população do país. A região Norte que abriga apenas 7% da população brasileira, possui 68,5% da água disponível. Já o Nordeste que consta com 18% da população, possui cerca de 3,3% dos recursos hídricos, a região Centro-Oeste tem 15,7% da água e 6,4% da população e a região Sul com 15% da população abriga 6,5% da água (BRASIL, 2005).

O objeto deste estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Grande (GD8), localizada na Bacia do Paraná. O desafio enfrentado atualmente é a busca de mecanismos para o uso e consumo consciente da água por todos os segmentos da sociedade.

A bacia hidrográfica deve ser entendida como um conjunto operacional, quando o objetivo é a preservação dos recursos hídricos, uma vez que as atividades executadas dentro dela determinam a quantidade e qualidade da água. Caracteriza-

se como a mais perfeita unidade para o planejamento e gestão de uso dos recursos ambientais, podendo ser feito o monitoramento e controle das ações antrópicas (TONELLO et al., 2005).

O manejo das bacias hidrográficas é um conjunto de integração de ações considerando o uso, ocupação e exploração do meio ambiente e das estruturas socioeconômica, institucional e jurídica da bacia, com grande preconização da conservação, proteção e uso com base na sustentabilidade ambiental dos recursos naturais (TONELLO et al., 2005).

Atualmente, as leis destacam, além dos conceitos das décadas anteriores, um modelo mais descentralizado, democrático e participativo, que possa dar condições de criação de sistemas e órgãos de gestão de direitos e outorga de uso, estabelecimento de critérios de cobrança pelo uso, aplicando a arrecadação em reinvestimento para recuperação e proteção dos recursos hídricos (BRASIL, 1997; BRASIL, 2000; ABERS; JORGE, 2005; ANA, 2017a).

3.1.1 Breve histórico jurídico-legal da gestão de recursos hídricos no Brasil

No Brasil, uma das primeiras leis a tratar sobre proteção dos recursos hídricos foi o Código Florestal – Lei nº 4.771/65 (BRASIL, 1965), quando estabeleceu as Áreas de Preservação Permanente e a Reserva Legal nas propriedades rurais, as quais seriam barreiras naturais importantes para o uso sustentável dos recursos naturais e a preservação dos cursos d'água.

Em 1981, a Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981) estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, fazendo menção específica da relevância da racionalização do uso do solo, subsolo e da água, bem como estratégias para preservação, proteção e recuperação de áreas degradadas, assim como fixou meios de acompanhamento e fiscalização do uso de recursos ambientais.

A Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981) também criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), incumbindo este último, no artigo 8º, inciso VII, de “estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos”.

Com a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), no artigo 21, inciso XIX, determinou à União “instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso”.

A Lei nº 7.735/89 (BRASIL, 1989) criou o Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para executar ações das políticas nacionais de meio ambiente, bem como proceder à autorização de uso dos recursos naturais.

Em seguida, em 1997, com a promulgação da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) é que foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos visando regulamentar aquela lacuna que tinha ordenado a Constituição Federal de 1988.

Em seu artigo 1º, a Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) apontou os seus fundamentos:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - 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;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Enfim, o Brasil conseguia aprovar o marco inicial para normatizar uma política nacional para gestão e controle do uso dos recursos hídricos. Entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos estavam a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (que são os planos diretores para o gerenciamento), a classificação dos corpos d'água em classes, a outorga dos direitos de uso e a cobrança dos recursos hídricos, além de prever a implantação do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997; IGAM, 2007).

Outro passo fundamental foi a promulgação da Lei nº 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais), a qual tratou das sanções penais e administrativas contra condutas e

atividades lesivas ao meio ambiente (IGAM, 2007), o que, claramente, impõe restrições significativas ao punir os poluidores e os criminosos ambientais, com aplicação de penas de prisão, multas e exigir, quando possível, a recuperação de áreas degradadas.

A Lei nº 9.984/00 (Lei das Águas) criou a Agência Nacional de Águas – ANA (BRASIL, 2000; IGAM, 2007) que, segundo a própria definição da lei, a ANA é entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e fixar regras para a sua atuação, estrutura administrativa e fontes de recursos.

A Lei das Águas determinou a gestão dos recursos hídricos com base na integração, na descentralização e na participação, de maneira que os Municípios, usuários e sociedade civil organizada pudessem fazer parte da gestão a partir da implantação das bacias hidrográficas, considerando o valor econômico e, por efeito, justificando a cobrança pelo uso racional e promover a geração de recursos para a operação dos comitês (ABERS; JORGE, 2005).

A gestão dos recursos dependeria de convênios de cooperação entre a ANA e os órgãos gestores dos Estados, tendo a ANA a atribuição de apoiar e incentivar a implantação dos comitês de bacias hidrográficas e a respectiva cobrança. Um comitê é composto por representantes da Administração Pública, usuários dos recursos hídricos e organizações civis, atuando como um local para discussão e audiências da gestão das águas, enquanto as agências de águas (ou as entidades delegadas) são criadas, após comprovação da sua viabilidade financeira, como secretarias executivas de um ou mais comitês de bacias (ANA, 2017a).

A ANA possui, entre suas responsabilidades, a análise da outorga, preventiva ou permanente, do uso de águas federais ou de domínio da União (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017). Em nível federal, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos já está sendo operado em quatro bacias com rios de domínio da União, quais sejam Paraíba do Sul, PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiáí), São Francisco e Doce (PORTAL BRASIL, 2014). A bacia do PCJ, no Estado de São Paulo, inclusive possui um site onde é possível fazer a simulação da cobrança do uso das águas, disponível no endereço: http://www.agenciapcj.org.br/web_app/simcob/ (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2017).

3.1.2 Gestão hídrica no Estado de Minas Gerais

No Estado de Minas Gerais, a gestão de águas está regulamentada pela Lei Estadual nº 13.199/99, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, que tem o objetivo de controle do uso e modos de utilização da água, regulando quantidade, qualidade e regime adequados e satisfatórios. Esta política tem a missão de estabelecer o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos para promover a gestão estadual, os planos diretores das bacias e o sistema de informação (InfoHidro). Assim, a política de gestão estadual tem a função de classificar os corpos d'água, conforme os usos prevalentes, realizar o cadastro de usos e dos usuários, o monitoramento da qualidade da água e outorga do direito de uso e a forma de cobrança (IGAM, 2007; IGAM, 2017; CBH GRANDE, 2012).

A Lei nº 13.199/99 estabeleceu que o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH/MG) coordena a gestão integrada e descentralizada, deve implantar a Política Estadual de Recursos Hídricos, que será composta por órgãos e entidades estaduais e municipais, com funções predeterminadas em lei: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), órgão central coordenador; Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), órgão deliberativo e normativo central; Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor; Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) de rios de domínio estadual, que são órgãos deliberativos e normativos na sua área territorial de atuação; Agências de Bacias Hidrográficas e as entidades equiparadas, que são unidades executivas descentralizadas; Órgãos e entidades dos poderes públicos estadual e municipais, com competências associadas à gestão dos recursos hídricos (IGAM, 2007; IGAM, 2009).

O comitê de bacia hidrográfica é um órgão plenário, de caráter consultivo e deliberativo, composto pelo Poder Público (dependendo da bacia em nível federal, estadual e municipal), sociedade civil organizada, usuários da água e o terceiro, que tem o papel da discussão e da decisão das políticas, ações, projetos e programas que serão estudadas, planejadas e implementadas para a manutenção, gestão e recuperação dos rios e seus afluentes que forma a bacia hidrográfica, realizada de forma democrática e participativa (ANA, 2017a; BRASIL, 1997; BRASIL, 2000; CBH GRANDE, 2012).

Entre os usuários de águas podem participar os setores que envolvam abastecimento humano e diluição de dejetos, indústria, mineração, agropecuária (sobretudo irrigação), energia hidrelétrica, pesca, lazer, turismo, bem como são

exemplos organizações técnicas, de ensino e de pesquisa, organizações não governamentais, associações regionais, municipais ou setoriais de recursos hídricos, enfim, há ampla possibilidade de participação (BRASIL, 1997; BRASIL, 2000; CBH GRANDE, 2012).

A gestão também inclui a determinação do enquadramento dos corpos e cursos da d'água visando fixar os usos predominantes como estabelecer as atividades de preservação, proteção e equilíbrio natural das comunidades aquáticas (fauna e flora), aquicultura e pesca, harmonia paisagística e navegação (PORTAL INFOHIDRO, 2017a).

Em Minas Gerais, a Lei nº 21.976/2016, apontou o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) como órgão responsável pela outorga de direito de uso das águas. O Decreto Estadual nº 46.964/16 regulamentou regras, fluxos e procedimentos indicando esta função, temporariamente, às Superintendências Regionais de Meio Ambiente – SUPRAM (IGAM, 2017d).

3.2 A BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO RIO GRANDE (GD8)

Segundo dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente estima-se que 70% do total do Sistema do Aquífero do Guarani (SAG) fica no território subterrâneo brasileiro, e o restante divididos entre Argentina, Paraguai e Uruguai (BRASIL, 2005). Na região abrangida pelo Aquífero Guarani está a Grande Bacia do Rio Grande.

Uma bacia hidrográfica compreende todo o conjunto de solos e subsolos drenados por um rio principal, afluentes e subafluentes. A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), no artigo 20, no inciso III, prescreve que estão entre os bens da União: “III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água [...] que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”.

O Rio Grande tem sua nascente em Minas Gerais, na Serra da Mantiqueira, Município de Bocaina de Minas, a aproximadamente 1.980 metros de altitude, correndo a desaguar no Rio Paraná. A Bacia do Rio Grande compreende uma área total de 143.000 km² e banha dois Estados: Minas Gerais, a norte, abrangendo 60,2% da área de drenagem da bacia, e São Paulo, ao sul, com 39,8% da área (CBH GRANDE, 2012; IGAM, 2015), havendo no lado mineiro 8 unidades de bacias

menores, nominadas Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (GD) e no lado paulista mais 6 subunidades, designadas de Unidade Gestão de Recursos Hídricos (UGRH).

O arranjo institucional de gestão dos recursos hídricos atual na bacia do Grande compreende: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Grande - CBH Grande (de nível federal); Comitês de Bacias Afluentes ao Rio Grande; Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Conselho Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo (CRH-SP); Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG); Agência Nacional de Águas (ANA); Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM); Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE); Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB; Ministério do Meio Ambiente (MMA); Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD); Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SSRH); Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA).

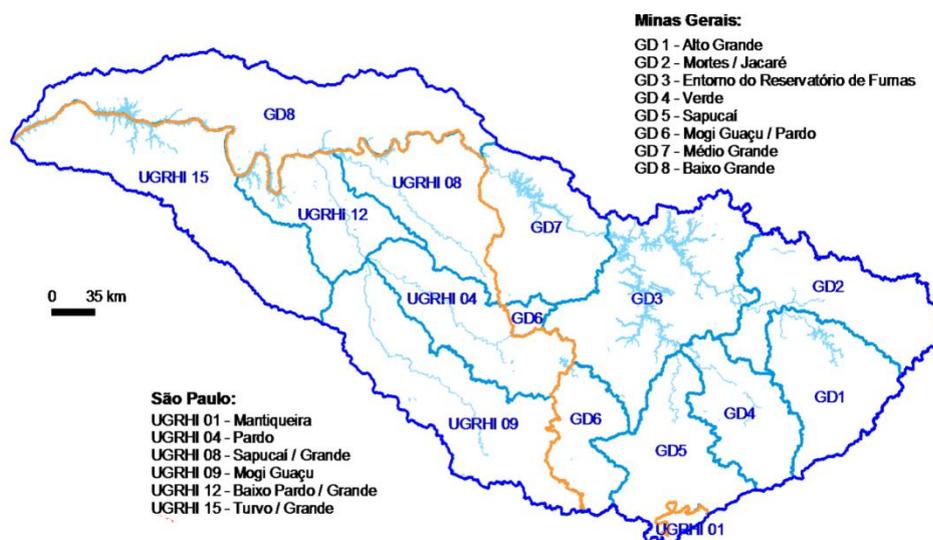
A Bacia do Baixo Rio Grande (GD8), mesmo fazendo parte de um rio pertencente aos bens da União, está sob gestão estadual (PORTAL DOS COMITÊS, 2017a). Sendo assim, a GD8 é considerada uma bacia afluenta e está inclusa na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da CBH Grande (CBH GRANDE, 2015).

A bacia do Baixo Rio Grande (GD8) abrange área total de 86.087 km², atingindo 206 sedes municipais, abastecendo 3.115.389 habitantes urbanos, 576.382 rurais, no total de 3.691.771 usuários das suas águas (IGAM, 2015). Considerando a parte mineira da GD8, em relação à qualidade da água da GD8 76,36% da sua extensão monitorada apresentou índices de ótimo/excelente ou boa, perdendo somente para a de Furnas (GD3) em Minas Gerais, e ficando na 4^a posição quanto ao volume de esgoto doméstico produzido (CBH GRANDE, 2012).

A Bacia Hidrográfica do Rio Grande foi criada como Unidade de Gestão de Recurso Hídrico, por meio da edição da Resolução nº 109, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, de 13 de abril de 2010, sendo dividida em 14 subunidades entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais (CBH GRANDE, 2012).

Dentre as subunidades gestoras das águas da Grande Bacia do Rio Grande encontra-se em Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, a Bacia do Baixo Rio Grande (GD8), como demonstrado na Figura 2.

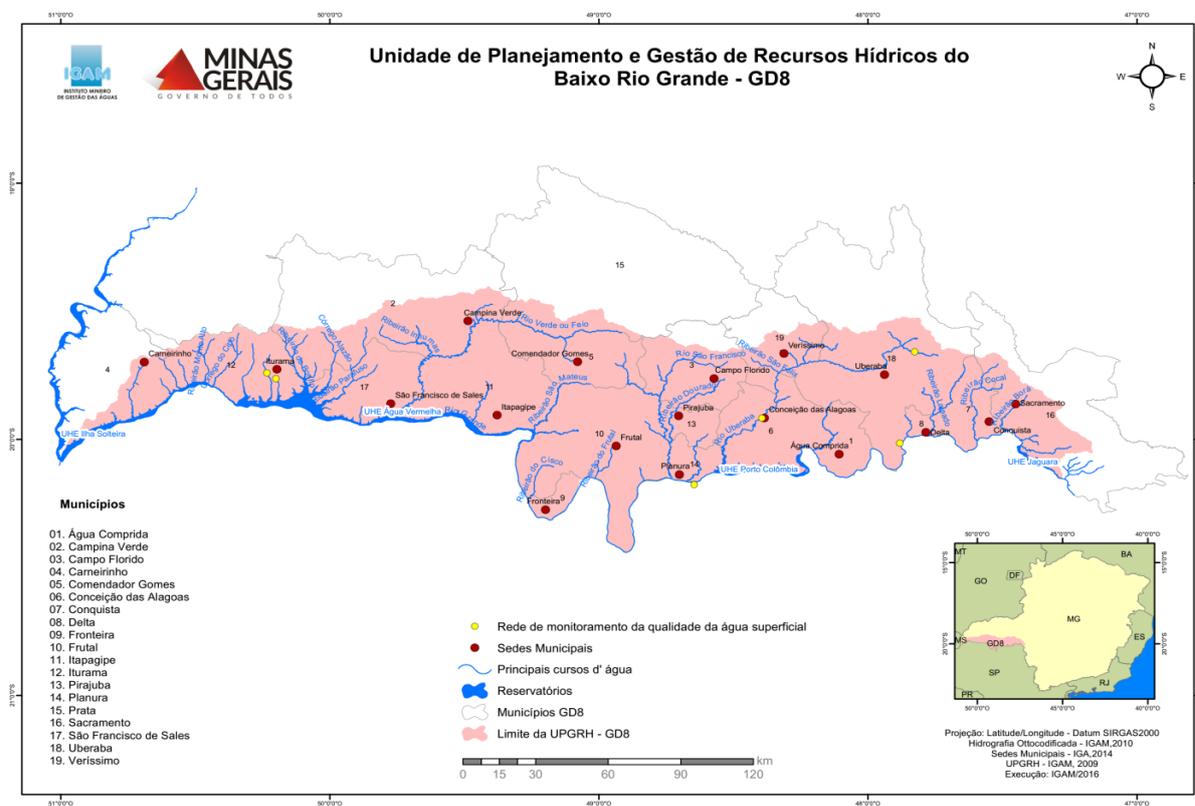
Figura 2: Bacia Hidrográfica do Rio Grande (CBH Grande)



Fonte: CBH Grande (2012)

Na Figura 3, mostra-se o mapa de abrangência da GD8 (GD8 - CBH BAIXO RIO GRANDE, 2016).

Figura 3: Mapa da Bacia do Baixo Rio Grande – GD8



Fonte: GD8 - CBH Baixo Rio Grande (2016)

Quanto ao uso e ocupação do solo da Bacia do Baixo Rio Grande - GD8, a divisão fica, aproximadamente, com 43% de área agrícola, 47% para pastagem ou campo antrópico, 4% de vegetação nativa com porte arbóreo, 5% de espelhos d'água e 1% de área urbanizada (CBH GRANDE, 2012).

A qualidade das águas foi aferida pelo IGAM (2015), em 2013 e 2014, registrando respectivamente os níveis: excelente (0% nos dois anos), bom (21% e 33%), médio (46% e 21%), ruim (33% e 46%), muito ruim (0% em ambos os anos), do que se depreende que aumentou o nível de águas com conceito "bom", mas por outro lado, também aumentou o conceito "ruim", e houve significativa redução do nível "médio", demonstrando muito desequilíbrio na qualidade da água.

Dados de 2006 mostravam que a GD8, referente a conflitos pelo uso da água, verificou-se que o problema averiguado é o lançamento de esgoto sanitário nos cursos d'águas, inexistindo registros de descargas difusas da agricultura ou dejetos de animais (gado), erosão acelerada por manejo incorreto do solo, queimadas das pastagens ou uso recreativo ou para lazer (CBH GRANDE, 2012).

3.3 COBRANÇA PELO USO DAS ÁGUAS

Inicialmente, cabe ressaltar que a Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) regulamentou as bases para a cobrança pelo uso de recursos hídricos, sujeito ao regime de outorgas, salvo algumas exceções como o uso para abastecer pequenas populações rurais ribeirinhas ou derivações ou acumulações insignificantes.

O artigo 19 da Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997) prescreve que a cobrança objetiva:

- I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- II - incentivar a racionalização do uso da água;
- III - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Portanto, a lei derruba a falsa noção de que a água é um bem gratuito, quando a define como um bem econômico e que advertir o usuário o seu real valor, assim como propõe-se a estimular o uso racional da água, numa clara indicação de que a água é um recurso que pode escassear caso haja abuso ou desperdício e, ainda,

aponta para a necessidade de recursos financeiros para possibilitar a implementação dos planos de recursos (BRASIL, 1997).

O artigo 21 da Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), indicou os parâmetros a serem seguidos para fixar preços pelo uso dos recursos hídricos:

Art. 21. Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:

I - nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

II - nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

O que se observa é que o valor dos recursos hídricos a ser cobrado do usuário é mensurado tomando-se em conta a equação volume extraído de água versus lançamento efetuado de esgotos/resíduos + atributos bio-físico-químico-toxicológicos e, seja qual for o caso (extração ou despejo), estimando o regime de variação dos volumes envolvidos. Em síntese, o valor concentra-se na fórmula extração de água versus descarte de resíduos.

O artigo 22, da Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) decidiu que os valores arrecadados com a cobrança do uso dos recursos hídricos deverão ser aplicados na bacia hidrográfica onde foram gerados, visando principalmente financiar estudos, programas e obras nos Planos de Recursos Hídricos e cobertura de despesas de implantação e custeio dos órgãos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, limitado ao teto de 7,5% do total obtido, havendo hipótese excepcional de aplicação a fundo perdido em um corpo d'água que tenha incremento da qualidade e quantidade e for utilizado em benefício da coletividade.

3.3.1 Cobrança no âmbito nacional

A ANA (2017b) divulgou que, nos rios de domínio da União, a cobrança já vigora na Bacia do Rio Paraíba do Sul, nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, na Bacia do Rio São Francisco, na Bacia do Rio Doce, na Bacia do Rio Paranaíba e na Bacia do Rio Verde Grande.

Nos Estados, a situação é a seguinte: no Rio de Janeiro, instituiu-se em todo o Estado, realizando-se a cobrança nas bacias afluentes ao rio Paraíba do Sul (Médio

Paraíba do Sul, Piabanha, Dois Rios, Baixo Paraíba do Sul), bacias do rio Guandu, Baía da Ilha Grande, Baía da Guanabara, Lagos São João, rio Macaé e rio das Ostras e do rio Itabapoana. Em São Paulo, foi instituída nas bacias afluentes ao rio Paraíba do Sul e aos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, ao rio Tietê (rios Sorocaba-Médio Tietê, Alto Tietê, Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré), bacias da Baixada Santista e nas bacias dos rios Ribeira de Iguape e Litoral Sul (ANA, 2017b).

Nos rios de domínio estaduais, no Paraná, foi fixada a cobrança (taxa chamada TCFRH) para atividades de exploração e aproveitamento econômico, nas bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira; na Paraíba, nas bacias do Litoral Norte, Paraíba e Litoral Sul; no Ceará, desde 1996, nos cursos d'água superficiais e subterrâneos; na Bahia, desde 2006, cobra-se por tarifa (embora na prática seja preço público) pelo fornecimento de água bruta dos reservatórios, com receita revertida para gestão da infraestrutura hídrica dos reservatórios; no Pará, há a taxa de controle, acompanhamento e fiscalização de exploração e aproveitamento dos recursos hídricos (TRFH), cobrando dos usuários que os utilizam para produção ou exploração econômica; no Distrito Federal, existe a taxa de fiscalização do uso de recursos hídricos (TFU) paga pelos usuários (ANA, 2017b).

O total cobrado no Brasil inteiro, desde 1996, foi de R\$ 2,088 bilhões e arrecadado R\$ 1,942 bilhão. Só no ano de 2016, cobrou-se R\$ 328,6 milhões e arrecadou-se R\$ 295,2 milhões, pelo uso dos recursos hídricos. Especificamente em relação ao setor hidrelétrico, em todo o país, houve arrecadação, desde 2001 até 2016, de R\$ 2,221 bilhões e, só no ano de 2016, da ordem de R\$ 208,8 milhões (ANA, 2017b).

3.3.2 Cobrança em Minas Gerais

Em Minas Gerais, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos já está implementada nos rios domínio estadual que, além das bacias afluentes aos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Piracicaba/Jaguari), nas bacias afluentes ao rio Doce (Piranga, Piracicaba, Santo Antônio, Suaçuí, Caratinga e Manhuaçu) e afluentes ao rio Paraíba do Sul (Preto/Paraibuna e Pomba/Muriaé), também foi determinada na bacia do rio das Velhas e na bacia do rio Pará (afluentes ao rio São Francisco) e na bacia do rio Araguari, afluente ao rio Paranaíba (ANA, 2017b).

Em todo o Estado de Minas Gerais, desde o início da cobrança em março de 2010, cobrou-se R\$ 186,2 milhões e arrecadou-se a quantia de R\$ 173,8 milhões, enquanto só no ano de 2016, foram, respectivamente, R\$ 42,1 milhões e R\$ 38,4 milhões (ANA, 2017b).

Cabe destacar quanto ao uso insignificante que, em Minas Gerais, segundo o IGAM (2017c) não demanda outorga, exigindo-se, em Minas Gerais, apenas um cadastro de uso, de acordo com a Deliberação Normativa nº 09/2004 para a captação e acumulação superficial ou subterrânea de cisterna, nascente ou surgência e, conforme a DN nº 34/2010, para água subterrânea de poço tubular. Em alguns cursos d'água, o uso insignificante pode ser mensurado pela vazão máxima (entre 0,5 L/s a 1 L/s) ou acumulação de volume máximo (entre 3.000 m³ a 5.000 m³), dependendo do local. As captações subterrâneas também são normatizadas conforme o volume captado, sendo entre igual ou menor que 10m³/dia (poço manual, cisterna) ou 14m³/dia (poço tubular para agricultura familiar), conforme o uso ou local de exploração.

O IGAM (2017e) informa que a cobrança não tem caráter de imposto, mas de preço público, visando incentivar o uso racional e a conservação para gerações vindouras, estando sujeitos ao pagamento os usos que demandem outorga de captação ou derivação de águas superficiais, subterrâneas ou descarte de dejetos, considerados significantes. Os preços são definidos pelo respectivo comitê da bacia hidrográfica onde há o uso, segundo metodologias de cálculo aprovados pelo CERH-MG.

O período de cobrança é anual e o valor deve ser calculado segundo o uso de cada usuário, havendo permissão para ajustes ao longo do ano, levando em conta as diferenças entre vazão prevista e efetiva. O pagamento pode ser realizado por guia de arrecadação estadual (Documento de Arrecadação Estadual – DAE) emitido pela Fazenda Estadual de Minas Gerais, inclusive para segundas vias. A anuidade superior a R\$ 120,00 pode ser parcelado em até quatro vezes, mas se os valores variam entre R\$ 30,00 e menos que R\$ 120,00, são pagos em cota única, podendo ser acumulados boletos que não somem R\$ 30,00 anuais em dois ou mais anos. A anuidade pode ser revista anualmente conforme as normas vigentes (IGAM, 2017e).

É possível que o usuário requeira o ajuste de valores se possuir equipamento de medição aprovado e desde que informe o IGAM, ou até mesmo, no caso de suspensão da outorga, também suspender a cobrança no mesmo período, bem como

reclamar quando estiver sendo cobrado apesar de confirmar-se o uso insignificante (IGAM, 2017e).

A metodologia de cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas em Minas Gerais se baseia em três variáveis: captação, consumo e lançamento de efluentes. Pode-se visualizar, a título exemplificativo, as cobranças determinadas nas bacias do rio das Velhas, do rio Araguari e dos rios Piracicaba/Jaguari. Na bacia do rio das Velhas, fixou-se o preço unitário de R\$ 0,01/m³ para captação, R\$ 0,02/m³ para consumo e R\$ 0,07/m³ para lançamento de efluentes. Assim, o Comitê da Bacia, em virtude de cada uso, preferiu reduzir o custo para a agropecuária e para a mineração, enquanto majorou para o descarte de resíduos (IGAM, 2009b; PORTAL INFOHIDRO, 2017b).

Na bacia do rio Araguari, calculou-se o preço unitário em R\$ 0,01 para captação de água superficial por metro cúbico, R\$0,0115 para água subterrânea, R\$ 0,02 para consumo, R\$0,015/ metro cúbico para transposição de bacia e R\$ 0,10 por quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para lançamento de efluente. Os valores para irrigação sustentável foram reduzidos para incentivar as práticas corretas de uso do meio ambiente. Na bacia dos rios Piracicaba e Jaguari, o preço unitário aferiu R\$ 0,01 por metro cúbico para captação de água superficial, R\$ 0,0115 para água subterrânea, R\$ 0,02 para consumo, R\$0,015 para transposição de bacia e R\$ 0,10 por quilograma de DBO para lançamento de efluentes (IGAM, 2009b; PORTAL INFOHIDRO, 2017b).

3.3.3 Cobrança na Bacia do Baixo Rio Grande (GD8)

O Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande foi criado pelo Decreto nº 42.960 de 23/10/2002, composto por 64 conselheiros, dentre titulares e suplentes (GD8 - CBH BAIXO RIO GRANDE, 2016). Quanto aos instrumentos de gestão da GD8, o IGAM lista:

Tabela 2: Instrumentos de gestão da GD8

INSTRUMENTO DE GESTÃO	ESTADO ATUAL
Plano de Recursos Hídricos	Implementado/Aprovado
Enquadramento de Corpos de Água em Classes, segundo os usos preponderantes	Não implementado/Não possui
Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos	Implementado/Aprovado
Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos	Não implementado/Não possui
Sistema de Informações em Recursos Hídricos	Em implementação

Fonte: Portal dos Comitês (2017)

Até 2015, não havia nem o Plano de Recursos Hídricos específico para a Bacia GD8 (CBH GRANDE, 2015), porém, houve o processo de contratação da equipe e a respectiva implantação (GD8 - CBH BAIXO RIO GRANDE, 2016; PORTAL DOS COMITÊS, 2017b, 2017c).

Como se visualiza na Tabela 2, foram implantados o Plano de Recursos Hídricos e a Outorga de Direito de Uso, estando em fase de implantação o Sistema de Informações. Note-se que ainda não há o sistema de Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos nem mesmo o Enquadramento de Corpos de Água em Classes (PORTAL DOS COMITÊS, 2017c).

Este fato não significa que a bacia GD8 está relegada, mas a CBH Grande, na falta dos órgãos específicos, é que realiza os serviços e atividades ausentes, mesmo porque não se trata de elaborar novos planos, mas de proceder ao desdobramento do PIRH Grande, com foco nas peculiaridades da GD8, havendo o aproveitamento e a integração de dados da CBH Grande para organização de uma base de dados no âmbito da GD8, tendo em conta os mesmos objetivos, metas básicas, visão de planejamento e a realidade almejada na CBH Grande, contudo sempre respeitando as leis estaduais de Minas Gerais (CBH GRANDE, 2015).

Porém, visando melhor aproveitamento, racionalização e arrecadação pelo uso dos recursos hídricos, faz-se necessário a implantação da cobrança, visto que é de suma importância adequar-se às normas vigentes e garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, bem como reverter o montante arrecadado em benefícios para a conservação, preservação, proteção e recuperação de corpos e cursos d'água, visando assegurar a qualidade e quantidade desses recursos naturais para futuras gerações (ANA, 2017).

3.4 O SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL

A cana-de-açúcar está entre as mais importantes espécies cultivadas, sendo a principal fonte de sacarose e de inúmeros subprodutos, que podem ser obtidos a partir do bagaço e caldo (MATSUOKA et al., 1999). É conhecida no Brasil praticamente desde o seu descobrimento, cerca de 500 anos, sendo vinculado à ocupação territorial e desenvolvimentista do país. Entretanto, os últimos 35 anos observou-se expressiva subida de patamar na produção, diversificação e produtividade, embasado em processos tecnológicos de ponta (DA SILVA et al., 2012).

A cultura da cana-de-açúcar possui grande importância econômica para o Brasil, visto que é utilizada para a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, de maneira que o etanol representa uma alternativa interessante como substituto do combustível derivado do petróleo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009; DA SILVA et al., 2012).

Poucos países no mundo como, por exemplo, o Brasil, possuem o privilégio de contar com enormes espaços propícios para o agronegócio (agricultura, pecuária e agroindústria) e, além disso, ainda tem posição geográfica que favorece climas adequados, o que se torna um fator essencial para o desenvolvimento de uma forte agroindústria sucroalcooleira. (RIPOLLI, 2002; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009; PUPO, 1987 apud DA SILVA et al., 2012; UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR - UNICA, 2014).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, durante a safra 2016/2017, foi composta de uma área plantada total de 9,05 milhões de hectares, distribuídos em todos os Estados produtores, a seguir descritos: São Paulo, o maior produtor com 56,3% (4.773,2 mil hectares) da área plantada total, Goiás com 10,3% (962,6 mil hectares), Minas Gerais com 9,7% (853,1 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,7% (619,0 mil hectares), Paraná com 6,4% (617,7 mil hectares), Mato Grosso com 2,5% (229,9 mil hectares), Alagoas com 2,4% (322,2mil hectares) e Pernambuco com 1,8% (243,7 mil hectares); esses Estados representam 97,1% do total da produção nacional, de modo que os demais Estados têm pouca expressividade produtiva de cana-de-açúcar, com percentuais abaixo de 3% (CONAB, 2017).

No fim da década de 1990, o Brasil passou à liderança da produção mundial de etanol, de modo que esse lugar desde aquela época, se consolida

gradativamente em razão do expressivo aumento das necessidades internas e externas pelo etanol como biocombustível ambientalmente correto, por apresentar características de renovabilidade e ser ecologicamente limpo, o que se mostra fundamental na nova distribuição da matriz de energias nos tempos atuais (MACEDO, 2007), tendo um papel extremamente importante na economia do país.

Embora haja vários parâmetros e regulamentações diferentes nos diversos países, cálculos do “Programa de Combustíveis Renováveis da Agência de Proteção Ambiental Americana” (EPA) com sede nos Estados Unidos, bem como agências europeias, comprovaram que a produção e uso de biocombustíveis revelaram um desempenho superior do etanol derivado da cana-de-açúcar em comparação com etanol advindo de outros produtos agrícolas como o milho, o trigo, o sorgo, a beterraba e a mandioca (UNICA, 2014), conforme se visualiza na Tabela 3. Neste sentido, percebe-se mais uma grande vantagem ambiental no uso do etanol brasileiro em relação ao etanol de outras culturas em outros países, pois o etanol de cana possui um maior balanço de energia e menor nível de emissões de gases de efeito estufa - GEE.

Tabela 3: Comparativo de energia renovável do etanol em várias matérias-primas

Matérias-primas	Energia renovável/energia fóssil usada
Etanol de milho (USA)	1,3
Etanol de cana (Brasil)	8,9
Etanol de beterraba (Alemanha)	2,0
Etanol de sorgo sacarino (África)	4,0
Etanol de trigo (Europa)	2,0
Etanol de mandioca	1,0

Fonte: Macedo (2007, p. 157)

Em 2008, já se percebia que o setor sucroenergético do Brasil que, desde meados de 1988, havia superado o consumo da gasolina no país. Noutra ponta, outro fato histórico aconteceu na mesma época, quando a produção de cana-de-açúcar auferiu 16% da matriz energética primária total gerada no Brasil, passando ao segundo lugar, à frente da energia hidrelétrica que ficou com 14,7%; o petróleo,

com 36,7%, continuava na primeira posição e, segundo estatísticas da Agência Nacional do Petróleo – ANP, ainda em 2008, o etanol também passou a ser o maior produto usado como combustível no Brasil (REVISTA ALCOOLBRÁS, 2008).

No ano de 2012, 46 milhões de toneladas de CO_{2eq} deixaram de serem lançados na atmosfera em virtude da produção e do uso de etanol e de bioeletricidade e, estimando-se que, em 2020, esses valores tenham condições de alcançar aproximadamente 112 milhões de toneladas, representando entre 30% e 40% das metas fixadas pela Política Nacional de Mudança do Clima (UNICA, 2014).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, segundo dados do 4º Levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab -, a safra 2016/2017, atingiu 657,18 milhões de toneladas, fechando uma produção de 11,07 bilhões de litros de etanol anidro e 16,73 bilhões de etanol hidratado (CONAB, 2017), sendo que 1,63 bilhão de litros de etanol (anidro e hidratado) foram destinados à exportação.

A fabricação de açúcar alcançou 38,69 milhões de toneladas (CONAB, 2017) e foram exportadas cerca de 28 milhões de toneladas, gerando uma receita de US\$ 11 bilhões.

Sabe-se também que a cana-de-açúcar que tem a potencialidade de ser convertida em energia utilizável por meio de processos industriais que resultam em um expressivo índice de aproveitamento dos subprodutos e com baixo impacto ambiental (BOTÃO; LACAVA, 2003; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

O campo de produção de bioenergia no Brasil, há décadas, vem desenvolvendo tecnologias adequadas que tornaram possível a geração de energia renovável, além de ter promovido muitos empregos e trabalhos no setor do agronegócio, tributos arrecadados pelos governos, a despeito de o setor sucroenergético ter contado com insuficientes recursos financeiros (DECICINO, 2007; GASTALDONI, 2007; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

De acordo com o relatório “Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - 2016” da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2016), a energia elétrica à biomassa teve uma participação de 4,1% na matriz elétrica nacional, sendo que as usinas sucroenergéticas lançaram 2,8GW_{méd} no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Segundo o “Boletim: A Bioeletricidade da Cana em Números – Março de 2016 (UNICA, 2017), a energia lançada no SIN teria a capacidade de abastecer cerca de

12 milhões de casas no período de um ano, evitando a missão de 10 milhões de tCO₂.

3.4.1 Usinas instaladas em Minas Gerais

De acordo com dados do portal novaCana, o Estado de Minas Gerais conta com 42 usinas de açúcar e álcool em operação, conforme Figura 4.

Figura 4: Usinas sucroalcooleiras em operação em Minas Gerais



Fonte: novaCana (2016)

Dados da SIAMIG (2017) apontam 34 usinas produtoras de etanol, açúcar e bioeletricidade, localizadas em 26 municípios do estado de Minas Gerais, gerando 184 mil empregos diretos e indiretos. Para se ter noção, a bioeletricidade produzida pelo setor é responsável pelo abastecimento de 1,2 milhão de residências.

A Tabela 4 mostra que o Estado mineiro em 3º lugar na moagem de cana-de-açúcar e produção de etanol e em 2º lugar na produção de açúcar, o que lhe proporciona grande destaque nacional no setor sucroalcooleiro.

Tabela 4: Estimativa da produção sucroalcooleira de Minas Gerais no ranking nacional

Estados	Cana-de-açúcar	Açúcar	Etanol (mil m ³)			
	mil toneladas	mil toneladas	Anidro	Hidratado	Total	
Região Centro-Sul	Espírito Santo	1.351	64	51	9	60
	Goiás	67.630	2.102	1.313	3.072	4.384
	Mato Grosso	16.343	398	524	696	1.221
	Mato Grosso do Sul	50.292	1.735	807	1.902	2.709
	Minas Gerais	63.516	3.993	1.193	1.448	2.641
	Paraná	40.417	3.060	616	739	1.355
	Rio de Janeiro	1.553	29	0	82	82
	Rio Grande do Sul	46	0	0	3	3
	Santa Catarina	0	0	0	0	0
	São Paulo	365.990	24.248	6.151	7.046	13.197
Região Norte-Nordeste	Acre	64	0	0	4	4
	Alagoas	16.031	1.446	276	107	383
	Amapá	0	0	0	0	0
	Amazonas	261	14	0	5	5
	Bahia	2.367	125	56	50	106
	Ceará	74	0	0	5	5
	Maranhão	1.842	12	110	18	127
	Pará	718	30	29	4	33
	Paraíba	4.856	187	139	145	284
	Pernambuco	11.826	1.004	132	203	335
	Piauí	761	55	21	0	22
	Rio Grande do Norte	1.975	125	33	29	61
	Rondônia	137	0	0	9	9
	Roraima	0	0	0	0	0
	Sergipe	1.706	110	23	43	66
	Tocantins	2.087	0	117	45	162
Região Centro-Sul	607.137	35.628	10.655	14.996	25.651	
Região Norte-Nordeste	44.704	3.107	934	669	1.603	
Brasil	651.841	38.734	11.589	15.665	27.254	

Fonte: UNICA (2017)

A previsão é de que a produção de açúcar na safra 2017/2018 em Minas Gerais seja recorde, passando de 3,9 milhões de toneladas registradas na safra 2016/217 para 4,1 milhões de toneladas. Por outro lado, a primeira estimativa da safra 2017/2018 para produção de etanol é de queda de 12% (CHOUCAIR, 2017).

3.5 O CONSUMO DE ÁGUA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Segundo a UNICA (2014), a excelente localização geográfica do Brasil, bem como das condições de clima e de precipitação pluviométrica privilegiadas, beneficia os produtores nacionais por não requerer irrigação significativa, haja vista que a chuva é abundante na maioria das regiões produtoras de cana-de-açúcar, sobretudo na principal área produtora, que é macrorregião Centro-Sul do país, mormente no Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

A cana-de-açúcar é muito bem adaptada às regiões com clima tropical, quente e úmido, principalmente com temperaturas variando entre 19° C e 32° C, com chuvas com boa distribuição, sendo adequada a precipitação anual acumulada superior a 1.000 milímetros, de maneira que os dois estágios de crescimento sejam favorecidos, ou seja, o vegetativo, em que necessita clima quente e úmido (mais água) e o de maturação, quando a planta se desenvolve melhor com temperaturas mais suaves e a menor disponibilidade de água contribui para a criação de sacarose (MAULE et al., 2001).

Os melhores solos são os com declive ameno (entre 2% a 5%), bem arejados e profundos, com boa retenção de umidade e com alta fertilidade, bem como valores de pH em cloreto de cálcio aproximado a 6, devendo serem evitados os arenosos, pois esses são deficitários em armazenamento de água e, além disso, há perdas de nutrientes por lixiviação e proliferação de nematoides. Se for terreno completamente plano, a drenagem pode ser requisitada (EUCLIDES, 2001).

Segundo Gouvêa (2008), água é fator climático essencial que estabelece variações na produtividade da cana-de-açúcar. Neste sentido, a cana-de-açúcar requer alto consumo de água, por volta de 250 partes de água para compor uma parte de matéria seca na planta (MAULE et al., 2001). Na hipótese de ser necessária a irrigação sazonal, no período de seca, recomenda-se o uso de tecnologia disponível que promove a reutilização da água residual das atividades da usina, designada “irrigação de salvamento”, que pode salvaguardar a lavoura temporariamente.

O setor sucroenergético é conhecido por ser do tipo hidroatensivo, haja vista a elevada utilização de água por este ramo agroindustrial (PIMENTEL et al., 2004; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009). Considerando o Estado de São Paulo,

representa 12% de todos os tipos de uso, o que deve ser visto com cautela, já que surge daí uma expressiva responsabilidade destinada a este setor, o que pode ser equacionado e solucionado com a promoção e implementação de novas e modernas tecnologias para suportar esses desafios quanto ao uso racional e otimizado da água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

O setor sucroenergético utiliza, de forma intensiva, a água em suas atividades industriais, consumindo entre 2 a 20 m³ de água por tonelada de cana triturada; os processos responsáveis pelo maior consumo de água são a lavagem da cana in natura e os condensadores barométricos, esses últimos são equipamentos integrados à produção de açúcar nas usinas (PIMENTEL et al., 2004).

Os números médios de uso de água em usinas sucroenergéticas são apresentados na Tabela 5 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

A quantidade de água estimada em 22m³/t. cana, não representa a quantidade captada e tão pouco o consumo, este último sendo a água que não retorna ao corpo hídrico receptor. É importante considerar o reuso da água nos circuitos dos processos produtivos em cada unidade industrial (UNICA, 2014).

Tabela 5: Usos médios da água em unidades sucroenergéticas

Usos médios da água em unidades produtoras de açúcar e etanol					
Setor	Finalidade		Uso Específico	Uso médio	
				(m³/ft.cana)	(%)
Alimentação, preparo e extração (moendas e difusores)	Lavagem de cana		2,200 m³/ft.cana total	2,200	9,9
	Embebição		0,250 m³/ft.cana total	0,250	1,1
	Resfriamento de mancais		0,035 m³/ft.cana total	0,035	0,2
	Resfriamento óleo		0,130 m³/ft.cana total	0,130	0,6
Subtotal				2,615	11,8
Tratamento de caldo	Resfriamento coluna sulfitação (*1)		0,100 m³/ft.cana açúcar	0,050	0,2
	Preparo de leite cal		0,030 m³/ft.cana total	0,030	0,1
	Preparo de polímero (*1)		0,008 m³/ft.cana açúcar	0,008	0,0
	Aquecimento do caldo	p/ açúcar (*1)	160 kg.vapor/ft.cana açúcar	0,080	0,4
		p/ etanol (*2) e (*4)	50 kg.vapor/ft.cana etanol	0,025	0,1
	Lavagem da torta		0,030 m³/ft.cana total	0,030	0,1
Condensadores dos filtros		0,300 a 0,350 m³/ft.cana total	0,350	1,6	
Subtotal				0,573	2,6
Fábrica de açúcar	Vapor para evaporação		0,414 t/ft.cana açúcar	0,207	0,9
	Condensadores/multijatos evaporação		4 a 5 m³/ft.cana açúcar	2,250	10,2
	Vapor para cozimento		0,170 t/ft.cana açúcar	0,085	0,4
	Condensadores /multijatos cozedores		8 a 15 m³/ft.cana açúcar	5,750	26,0
	Diluição de méis e magas		0,050 m³/ft.cana açúcar	0,030	0,1
	Retardamento do cozimento		0,020 m³/ft.cana açúcar	0,010	0,0
	Lavagem de açúcar (1/3 água e 2/3 vapor)		0,030 m³/ft.cana açúcar	0,015	0,1
	Retentor de pó de açúcar		0,040 m³/ft.cana açúcar	0,020	0,1
Subtotal				8,367	37,8
Fermentação (*2)	Preparo do mosto		0 a 10 m³/m³ etanol residual	0,100	0,5
	Resfriamento do caldo		30 m³/m³ etanol	1,250	5,6
	Preparo do pé-de-cuba		0,010 m³/m³ etanol	0,001	0,0
	Lavagem gases CO2 fermentação		1,5 a 3,6 m³/m³ etanol	0,015	0,1
	Resfriamento de dornas		60 a 80 m³/m³ etanol	3,000	13,6
Subtotal				4,366	19,7
Destilaria (*2)	Aquecimento (vapor)		3,5 a 5 kg/m³ etanol	0,360	1,6
	Resfriamento dos condensadores		80 a 120 m³/m³ etanol	3,500	15,8
Subtotal				3,860	17,4
Geração de anergia	Produção de vapor direto		400 a 600 kg/ft.cana total	0,500	2,3
	Dessuperaquecimento		0,030 L/kg vapor	0,015	0,1
	Lavagem de gases da caldeira		2,0 m³/ft. vapor	1,000	4,5
	Limpeza dos cinzeiros		0,500 m³/ft.vapor	0,250	1,1
	Resfriamento óleo e ar dos turbogeradores		15 L/kW	0,500	2,3
	Água torres de condensação (*3)		38 m³/ft.vapor	6,0 (**)	2,1
Subtotal				2,265	10,2
Outros	Limpeza pisos e equipamento		0,050 m³/ft.cana total	0,050	0,2
	Uso potável		70 L/funcionário.dia	0,030	0,1
Subtotal				0,080	0,4
Total				22,126	100

Obs. (*1) itens que não participam do processo de etanol;

(*2) os que não participam do processo de açúcar;

(*3) os que não participam apenas no caso de produção de energia excedente não sendo computado nas somas;

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

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009)

Segundo Elia Neto (2013), nas últimas três décadas, houve uma redução significativa da captação de água, que era de 15 a 20 m³/t de cana decorrentes dos circuitos abertos e passou para 5 m³/t de cana moída em 1997 com a adoção do uso racional da água, quando as usinas sucroalcooleiras fecham os circuitos de distribuição de água nos processos produtivos e iniciam a sua reutilização.

Buscando a redução da pressão sobre os recursos hídricos e diminuição dos custos inerentes ao tratamento de água e de efluentes, e também os custos da cobrança pelo uso da água, o setor sucroenergético propôs como meta a captação de água no valor de 1 m³/t de cana processada e zerar o lançamento de efluentes, utilizando-os na fertirrigação das lavouras juntamente com a vinhaça (UNICA, 2014).

Alcançadas as metas propostas, o consumo de água, que é definido como a diferença entre a captação e o lançamento de efluentes, seria basicamente o valor da captação, 1m³/t de cana (UNICA, 2014).

Na Figura 5, é apresentado o uso médio global de água que é de aproximadamente 2 m³/t de cana, em especial nas usinas da região Centro-Sul, demonstrando que tais unidades praticam um índice de reuso de 95% no processo de produção, embora muitas unidades captam apenas 1 m³/t de cana. (ANA, 2009).

Figura 5: Balanço médio global de água nas usinas sucroenergéticas



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009)

Dados recentes divulgados pelo SIAMIG (2017), mostram que a meta de captação de água de 1 m³/t de cana moída na safra 2016/2017 já é praticada em várias usinas, sendo que algumas empresas já possuem um índice de captação ainda menor.

3.5.1 Recepção, preparo e moagem da cana-de-açúcar

Nessa etapa do processo produtivo, o uso de água se dá basicamente na lavagem da cana-de-açúcar, água de embebição e água para resfriamento de equipamentos (ANA, 2009).

O processo produtivo tem início com a entrada da cana-de-açúcar no setor de moagem. A cana recebida passa por pesagem e segue para amostragem. A coleta é feita através de sonda e nestas amostras são analisadas as características físico-químicas da cana-de-açúcar (RIBEIRO, 2011).

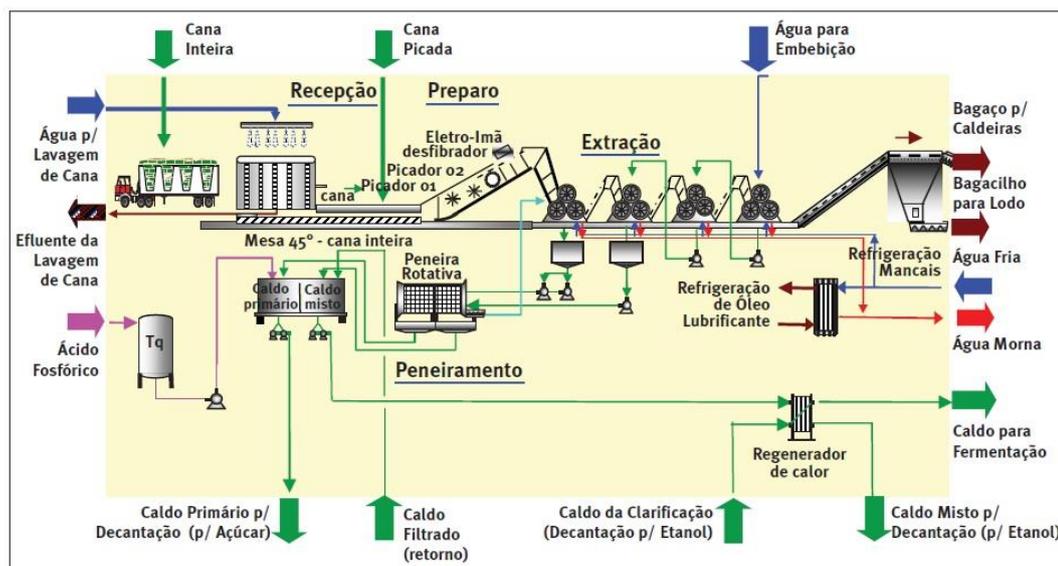
A cana-de-açúcar é descarregada sobre uma mesa alimentadora, que está sincronizada com a esteira metálica, através do equipamento HILO, o qual funciona como um tombador. Controla-se a perda de ATR (açúcar total recuperável) na água de lavagem, assim como o volume de água usada na lavagem da cana para remoção da terra advinda da lavoura. O preparo de cana-de-açúcar se dá através de um desfibrador que trabalha em alta rotação contendo facas e martelos de aço carbono soldado. Toda cana desfibrada passa pelo eletroímã para remoção das partículas metálicas (RIBEIRO, 2011).

Após o preparo, a cana-de-açúcar segue para a moagem, cujo objetivo é extrair o caldo quando da passagem da cana desfibrada sob os rolos da moenda. Nesse processo adiciona-se água (embebição) ao bagaço com objetivo de aumentar a extração de caldo.

Antigamente toda a cana, colhida manualmente e com uso da queima como método facilitador, era lavada nas mesas de recepção, com utilização de cerca de 10m³/t de cana processada. Com a eliminação da lavagem da cana picada, mas considerando que uma unidade sucroenergética pode receber tanto cana picada quanto cana inteira, o uso de água se reduziu a cerca de 2,6 m³/t de cana (ANA, 2009).

Na Figura 6 é apresentado o fluxograma da recepção, preparo e extração do caldo (ANA, 2009).

Figura 6: Fluxograma das etapas de recepção, preparo e moagem



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009)

3.5.2 Fabricação de açúcar

No processo de moagem são extraídos dois tipos de caldos: o caldo primário, o qual é destinado a fabricação de açúcar e o caldo misto para produção de etanol.

A fabricação de açúcar tem início com o tratamento do caldo primário, com a eliminação das impurezas e acerto do pH.

No pré-aquecimento, o caldo ganha temperatura de 40 - 65°C, por meio de aquecedores a vapor constituídos de aço carbono. Adiciona-se então SO₂ através da queima do enxofre em circuito fechado, objetivando auxiliar na decantação e clarificação do caldo, monitorando o pH e o teor de sulfito (ANA, 2009).

Após a sulfitação, adiciona-se leite de cal para correção do pH, que auxilia na formação de precipitado, que será removido na decantação. Posteriormente, objetivando a eliminação de gases e microrganismos, a passagem do caldo no trocador de calor eleva a temperatura para aproximadamente 100 - 110°C e assegurara temperatura no 2º aquecimento (RIBEIRO, 2011).

Logo em seguida é realizada a clarificação do caldo, por meio da decantação, separando as impurezas que são precipitadas através da adição de polímeros. O caldo é então filtrado, sendo que o mesmo retorna para o processo e a torta de filtro (resíduo da fabricação de açúcar) é destinada para a lavoura como adubo orgânico. Então o caldo é encaminhado para a vaporização quando o caldo perde a água e se

transforma em xarope e passa pelo processo de cozimento de massas, com o objetivo de concentrar a sacarose nos cristais de açúcar já existentes (RIBEIRO, 2011).

A massa cozida de açúcar sofre um processo de centrifugação, onde ocorre a separação dos cristais de sacarose dos méis, com adição de vapor e água para lavagem das massas. Finalmente o açúcar é transportado ao secador e depois segue para o envase (RIBEIRO, 2011).

No tratamento de caldo o consumo médio é de 0,57 m³/t cana e na fabricação do açúcar o consumo é de 8,36 m³/t de cana processada (ANA, 2009).

3.5.3 Produção de etanol

O processo de produção de etanol, se dá a partir da extração do caldo nas moendas ou da fermentação do melaço oriundo da fabricação do açúcar.

O processo geral da fabricação do etanol envolve as etapas de tratamento e regeneração do caldo, preparo do mosto, fermentação e destilação (RIBEIRO, 2011).

O caldo extraído no setor de moenda passa por um processo similar ao tratamento de caldo da fábrica de açúcar, porém sem a sulfitação. O caldo clarificado é resfriado e juntado ao mel e água (mosto). Das dornas de fermentação, o mosto fermentado (vinho levedurado) segue para as centrífugas onde ocorre a separação da levedura que é enviada ao início do processo de fermentação e o vinho centrifugado segue para a destilação (RIBEIRO, 2011).

Segundo Ribeiro (2011), na destilaria, o vinho de levedurado passa por um aparelho de destilação formado por dois conjuntos de colunas de destilação (A e B). Na coluna A há formação de vinhaça, etanol hidratado e flegma. A vinhaça é usada na fertirrigação e o flegma é direcionado à coluna B que produz etanol hidratado, flegmaça e óleo fúsel. O etanol produzido nas colunas de destilação é encaminhado a um tanque pulmão e direcionado à unidade de desidratação por peneira molecular. Finalmente o vapor de etanol anidro que sai da coluna é condensado, resfriado e direcionando aos tanques de armazenamento.

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2009), estima-se o consumo de água na produção de etanol seja de 8,22 m³/t de cana.

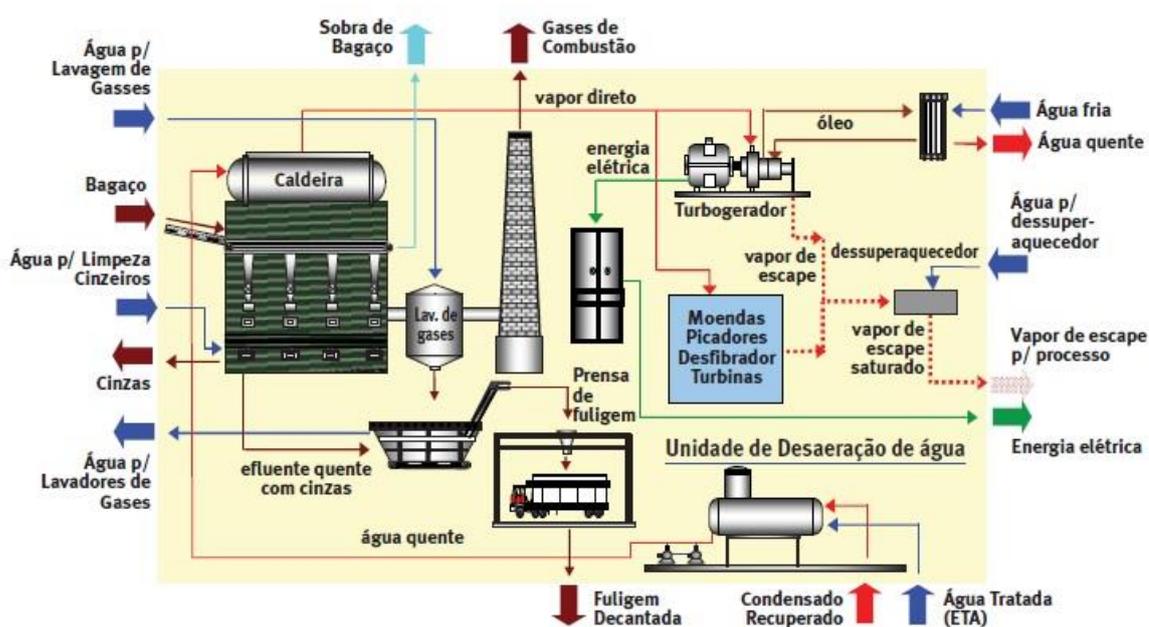
3.5.4 Geração de bioeletricidade

A energia necessária para o funcionamento das usinas sucroenergéticas é gerada nas próprias unidades por meio da queima do bagaço de cana (biomassa).

O bagaço é queimado em caldeiras gerando vapor que é processado em turbogeradores, sendo transformado em energia mecânica e energia elétrica (bioenergia). A bioenergia produzida nas unidades é utilizada para consumo próprio e a energia excedente é comercializada (RIBEIRO, 2011).

Com a queima de bagaço nas caldeiras, são produzidos gases e cinzas que são lançados na atmosfera. Esses gases e cinzas são tratados em lavadores de gases via úmida, os quais requerem uma grande quantidade de água. As cinzas são depositadas nos cinzeiros das caldeiras e também são removidas com uso de água, gerando uma grande quantidade de efluente que deve ser tratado, geralmente com uso de um decantador de fuligem (RIBEIRO, 2011), conforme se vê na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma: Geração de energia



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009)

No processo de geração de bioeletricidade, estima-se o consumo de água de 2,26 m³/t.cana (ANA, 2009).

O residual produzido pelas cinzas através da queima do bagaço é combustível usado para produzir vapor em caldeira, se não forem levadas aos lavadores de gases e cinzas, são lançados na atmosfera (TORQUATO JUNIOR et al., 2009).

A Figura 8 apresenta as principais características físico-químicas dos despejos em evidência no processo produtivo de uma usina sucroenergética, sendo gerados 2 L de efluente por kg vapor no sistema de lavagem de gases.

Figura 8: Resumo dos tipos de despejos de usinas sucroalcooleiras

Despejos	Características Físico-químicas						
	Vazão	pH	T [°C]	RS [mg/L]	DQO [mg/L]	DBO ₅ [mg/L]	OG [mg/L]
Lavagem de cana	2 a 5 m ³ /t cana	5 - 6	amb.	5 - 10	280 - 700	180 - 500	0
Resfriamento de equipamentos (moendas, turbinas e turbogeradores)	0,715 m ³ /t cana	7	< 30	< 0,5	0	0	-
Colunas barométrica e multijatos da fábrica	70 a 100 L/kg açúcar	6 - 7	45	< 0,2	20 - 80	10 - 40	0
Resfriamento Destilaria	Caldo para mosto	30 L/L etanol	7	< 45	0	0	0
	Dornas	60 a 80 L/L etanol	7	< 35	0	0	0
	Condensador	80 - 120 L/L etanol	7	50 - 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 - 100	200 - 300	100 - 150	-
Condensados	Vapor escape	40 a 50 L/kg açúcar	7	80	0	0	0
	Vapor vegetal	50 a 60 L/kg açúcar	5 - 6	80 a 60	0	600 - 1.500	300 - 800
Limpeza de pisos e equipamentos.	50 L/t cana	5 - 6	Amb.	< 0,5	1.000 - 3.000	800 - 1.500	> 20
Esgoto doméstico	70 L/funcionário.dia	6 - 7	amb.	5 - 20	600	300	-
Vinhaça e flegmaça	12-18 L/L etanol	4 - 4,5	80	3 - 5	25.000 - 40.000	15.000 - 20.000	8

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009, p. 161)

As unidades sucroalcooleiras têm dado maior importância à água para ser usada nas caldeiras para a produção de vapor com o objetivo de atingir o maior rendimento possível e, para isso, seguem especificações padronizadas nas diversas faixas de pressão de trabalho das caldeiras. Entretanto, quanto às águas residuais menor importância tem sido dispensada aos lavadores de cinzas e gases das caldeiras, pois que ainda é reduzido o número de usinas que detêm dados e informações relevantes dessa espécie de resíduo, de maneira que se torna importante cada vez mais avaliar esta situação para promover a observação desta forma de tratamento tendo em vista o reuso dessas águas no processo industrial ou o seu correto descarte (TORQUATO JUNIOR et al., 2009).

Em relação à reutilização de água de lavagem de cinzas e gases, a prática difere entre as usinas sucroenergéticas, de modo que algumas fazem uso de um

circuitos semi-fechados e outras em circuitos abertos. O sistema semi-fechado a reutilização da água residual da lavagem se processa em um conjunto de tanques de sedimentação, implementados paralelamente, de maneira que um tanque sempre realiza a limpeza e os restantes fazem o retorno da água para a lavagem dos gases e cinzas oriundas das caldeiras. No sistema aberto, geralmente, a água é despejada em um reservatório de sedimentação, de forma que os seus resíduos mesclam-se com as outras águas residuais do processo industrial em um reservatório interposto e este abastece um sistema de tanques de estabilização, compondo um circuito totalmente aberto, sendo que, por fim, o produto obtido desse sistema de reservatórios terá seu bombeamento para outros usos, como a irrigação (TORQUATO JUNIOR et al., 2009; ANA, 2009).

A queima do bagaço na caldeira resulta em gases que são extraídos por força de ventiladores, arrastando fumaças e partículas maiores como fuligem, bagacilho semiqueimado, areia, a depender da qualidade do bagaço da cana processada. Tais partículas depositam-se nos ambientes interno e externo causando problemas e sujeira. O material particulado leve dispersa-se na atmosfera. A cooperativa Copersucar (1983 apud ANA, 2009) calculou o material particulado oriundo da combustão de bagaço em 2,2 a 3,6 kg/t de cana, sendo 80% na atmosfera e 20% nas fornalhas, cinzeiros e salão das caldeiras, de onde são extraídas por meio seco ou corrente contínua de água (ANA, 2009).

A caldeira das sucroalcooleiras emite material particulado a partir do processamento do bagaço e comumente recebem tratamento em duas espécies de equipamento, lavador de gases, com retentores de fuligem em via úmida, e multiclone, com retentores de fuligem em via seca. A Resolução Conama nº 382 de 26/12/2006 e Resolução Conama nº 436 de 22/12/2011, determinam que caldeiras novas com licenciamento aprovado depois da sua publicação, necessitam preencher requisitos de emissão de MP (material particulado) e de NO_x (óxido de nitrogênio), com prioridade para o uso do sistema de fuligem via úmida, por serem mais eficientes (ANA, 2009).

Geralmente, este equipamento é montado em posição anterior ao ventilador, de modo que as partículas presentes nos gases expelidos são capturadas por redução da velocidade de arrasto e por impactação com água (quando há lavador de gases por conduto úmido ou por força centrífuga quando se tratar de multiclone). No caso de retentores de fuligem de conduto úmido, o gás presente no equipamento

tem sua velocidade diminuída e o fluxo dirigido aos jatos d'água (aspersores) visando abarcar as partículas solidas e, assim, remanejadas para o ambiente líquido. A entrada de gás ocorre em tangência à parte inferior do retentor, circulando o gás em contracorrente com a água, o que lava os gases, que passam ao ventilador e a saem pela chaminé, como fumaça branca (escala de Ringelmann = 1) e fazendo a eficiente retirada de material particulado, isto é, a água operada em baixa pressão (1 kg/cm²) asperge por bocais paralelos instalados num anel, de modo que as partículas de água fazem a captura de fuligem, cinzas e areias dos gases, levando ao fundo do retentor (ANA, 2009).

Para a lavagem dos gases da caldeira a quantidade média de água utilizada é de 1,0 m³/t de cana moída e o uso específico é 2,0 m³/t de vapor (Tabela 6), alcançando o índice de 4,5% da água usada na indústria (ANA, 2009).

Tabela 6: Usos médios da água no processo de geração de energia

Setor	Finalidade	Usos específicos	Uso médio	
			(m ³ /t cana)	(%)
Geração de energia	Produção de vapor direto	400 a 600 kg/t cana total	0,500	2,3
	Dessuperaquecimento	0,030 L/kg vapor	0,015	0,1
	Lavagem de gases da caldeira	2,0 m ³ /t vapor	1,000	4,5
	Limpeza dos cinzeiros	0,5 m ³ /t vapor	0,250	1,1
	Resfriamento óleo e ar dos turbogeradores	15 L/kW	0,500	2,3
	Água torres de condensação	38 m ³ /t vapor	6,0	2,1
Subtotal			2,265	10,2

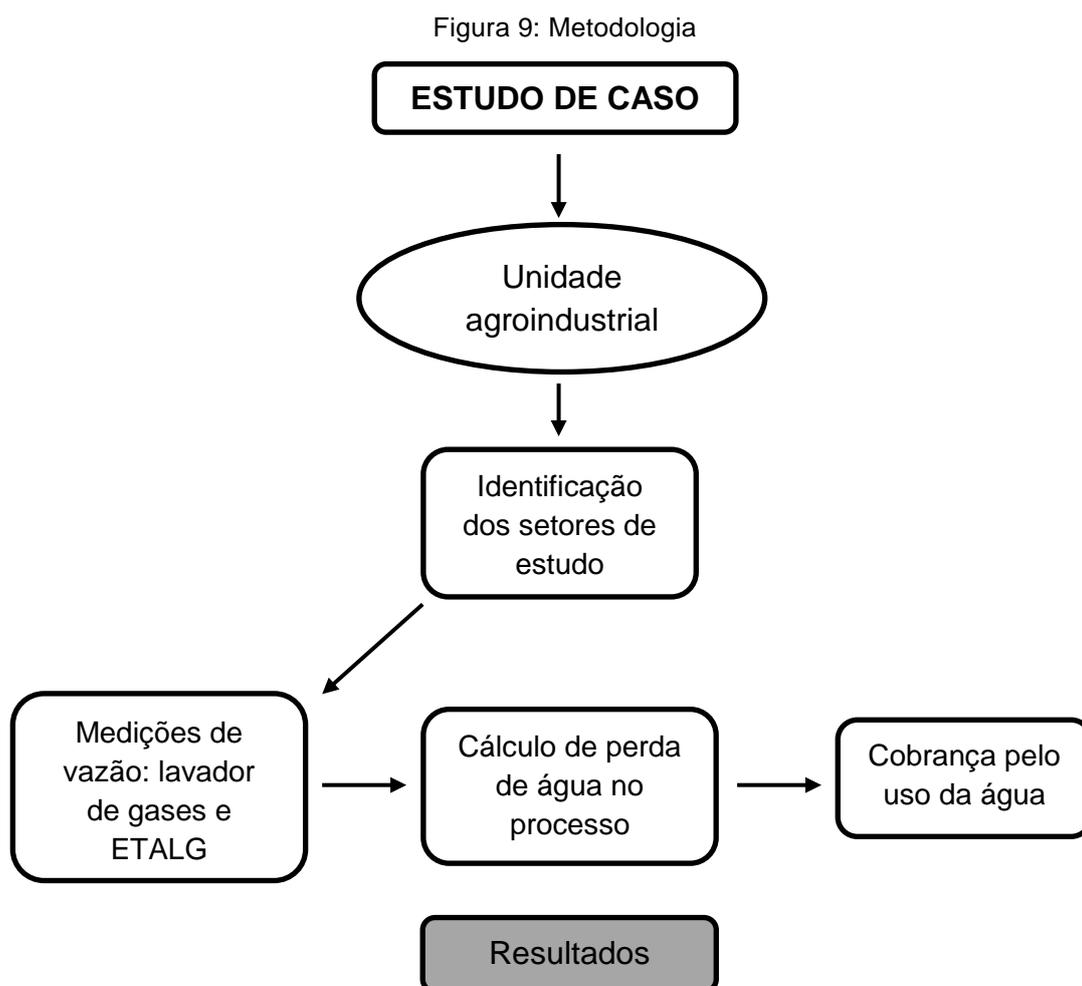
Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009), modificado pela autora

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em uma unidade sucroenergética localizada no Triângulo Mineiro.

Para a realização deste estudo e cumprimento dos objetivos propostos, foram adotadas as seguintes etapas (Figura 9):

- descrição da unidade agroindustrial em estudo;
- identificação e descrição dos setores de estudo na unidade;
- medições de vazão de água no lavador de gases e estação de tratamento de água de lavagem de gases - ETALG;
- cálculo da perda de água no processo de lavagem de gases;
- simulação dos preços cobrados pela água.



Fonte: Autora, (2017)

4.1 DESCRIÇÃO DA UNIDADE AGROINDUSTRIAL

Por meio de visita realizada no complexo agroindustrial da unidade objeto de estudo e conversa com gestor administrativo, foi possível caracterizar a Unidade quanto a sua localização, materialização do empreendimento, geração de emprego e produção.

Num primeiro momento, a empresa disponibilizou os dados gerais da Unidade produtiva e vazão de água captada superficial e subterrânea.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES DE ESTUDO NA UNIDADE

Foram realizadas visitas, na Unidade agroindustrial, durante a safra 2017/2018, com ênfase no entendimento das operações do lavador de gases da caldeira e estação de tratamento de água de lavagem de gases.

Os gestores disponibilizaram dados sobre a produção, equipamentos e planos de melhoria quanto ao consumo de água na unidade. As visitas e coleta de dados foram autorizadas pela Diretoria da empresa e acompanhadas pelos gestores de cada setor. Há uma preocupação dos gestores, quanto a perda de água no setor de lavagem de gases, cuja estimativa é de 20%.

4.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA NO LAVADOR DE GASES E ETALG

A medição de vazão foi realizada nas tubulações de interesse utilizando-se um aparelho medidor de vazão ultrassônico portátil (Figura 10). Os pontos de medição foram definidos através da análise do layout e posterior visita à unidade industrial.

Optou-se pela utilização do medidor ultrassônico não invasivo, Mod: HS S/N: 150422HS063, Transmissor Mod: TDS – 100H S/N: 81601904H HM S/N: 150422HM063 (Figura 10), ou seja, sem contato com o líquido, nas tubulações fechadas, pois esse equipamento consegue medir o fluxo de líquidos a partir da superfície dos tubos sem a necessidade de parada do processo ou desmontagem de estruturas de produção para se instalar o equipamento de medição.

Tal medidor possui sensores, também chamados de transdutores, e funciona com o mecanismo denominado *tempo de trânsito*, em que é medida a diferença

(tempo) em que o sinal emitido pelo primeiro sensor demora para ser recebido pelo segundo sensor. Essa diferença entre as medições a jusante e a montante é utilizada para se calcular a vazão do líquido na tubulação. Os transdutores devem ser fixados verticalmente em ambos os lados da tubulação cuja vazão do líquido será medida.

A equação utilizada para o cálculo de vazão de líquidos pelo medidor ultrassônico é descrita a seguir:

$$V = K \cdot D / \sin 2\theta \cdot 1 / (T_0 - t)^2 \Delta T \quad (1)$$

Em que:

V = Velocidade média do líquido

K = Constante

D = Diâmetro interno do tubo

θ = Ângulo de incidência das ondas ultrassônicas

T_0 = Tempo de transito da vazão zero

$\Delta T = T_1 - T_2$

T_1 = Tempo de trânsito das ondas transmitidas para o receptor a jusante

T_2 = Tempo de trânsito das ondas transmitidas para o receptor a montante

t = Tempo de trânsito das ondas através da parede e do revestimento do tubo

Para a realização das medições, é necessário que seja feita a configuração do aparelho observando os seguintes fatores: tamanho do tubo, tipo de revestimento do tubo, condições das paredes internas da tubulação e características do líquido.

Figura 10: Medidor de vazão ultrassônico



Fonte: Autora, (2017)

4.3.1 Pontos de medição de vazão de água

O primeiro ponto de medição foi na tubulação de entrada de água do lavador de gases da caldeira, cujo diâmetro nominal é de 10" (Figura 11).

Figura 11: Tubulação de entrada de água para o lavador de gases da caldeira



Fonte: Autora, (2017)

O segundo ponto de medição foi na tubulação (6") de entrada de água para a grelha e multiciclone da caldeira (Figura 12).

Figura 12: Tubulação principal da grelha e multiciclone da caldeira



Fonte: Autora, (2017)

O terceiro e último ponto de leitura de vazão foi na tubulação (10") de saída de efluente do lavador de gases (Figura 13).

Figura 13: Saída de efluente do lavador de gases



Fonte: Autora, (2017)

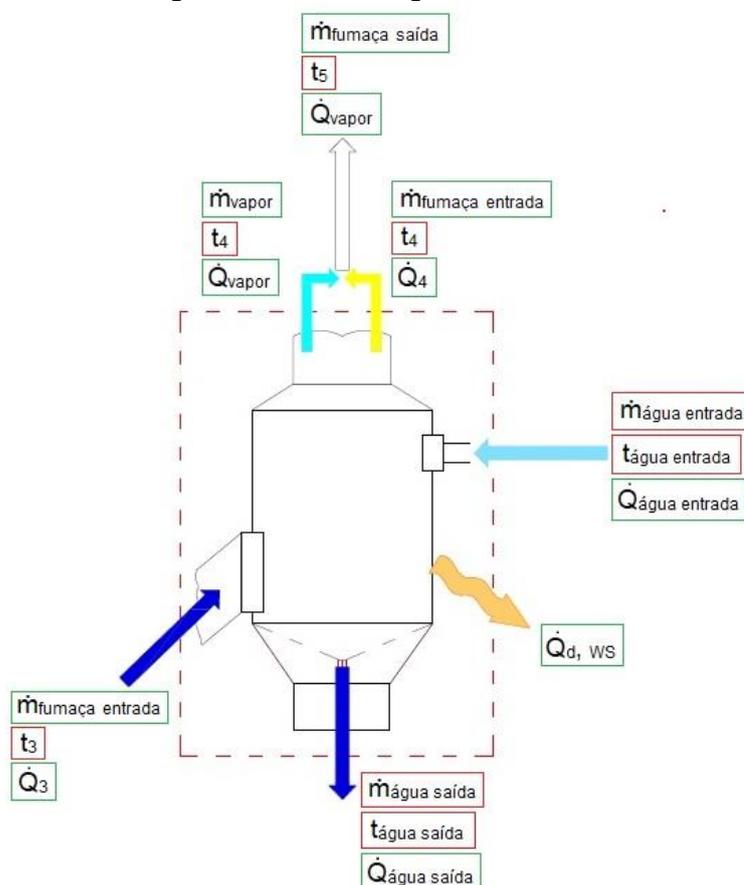
A empresa não possui sistema de monitoramento de vazão de água utilizada nos setores objetos de estudos. Porém, possui um sistema manual de apontamento de vazão das captações subterrânea e superficial. Esses dados apontam apenas a quantidade total de água utilizada tanto no processo industrial quanto consumo humano e as planilhas de apontamento são apresentadas ao órgão ambiental competente que monitora as outorgas de água.

4.4 CÁLCULO DO CONSUMO E PERDA DE ÁGUA NO PROCESSO

Com a obtenção dos resultados das medições de vazão realizadas durante a safra 2017/2018 e obtenção dos dados de produção, foi possível calcular o consumo e perda de água no setor de lavagem de gases, bem como na estação de tratamento de água de lavagem de gases.

Além das medições realizadas com medidor de vazão ultrassônico, foram executados os balanços de massa e energia do lavador de gases (Figura 14), em parceria com o Instituto Politécnico de Turim (POLITECNICO DI TORINO), na Itália.

Figura 14: Lavador de gases da caldeira



Fonte: LOVERO (2017), modificado pela autora

A seguir são apresentadas as equações para balanços de massa e energia (LOVERO, 2017).

Balanço de massa de gases de combustão:

$$\dot{m}_{\text{fumaça entrada}} = \dot{m}_{\text{fumaça saída}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \quad (2)$$

Balanço de massa de água:

$$\dot{m}_{\text{água entrada}} = \dot{m}_{\text{água saída}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \quad (3)$$

Em que:

- $\dot{m}_{\text{fumaça entrada}}$ é a vazão de gases de combustão que entra no lavador (kg/h);
- $\dot{m}_{\text{fumaça saída}}$ é a vazão de gases de combustão que sai do lavador (kg/h);
- \dot{m}_{vapor} é a taxa de evaporação de água no sistema de lavagem de gases (kg/h);
- $\dot{m}_{\text{água entrada}}$ é a vazão de água que entra no lavador de gases (kg/h);
- $\dot{m}_{\text{água saída}}$ é a vazão de água que sai do lavador para a ETALG (kg/h).

Para a resolução das equações de balanço foram coletados os seguintes dados na planta industrial, sendo as temperaturas de entrada e saída medidos com termopar:

- t_3 é a temperatura dos gases de combustão que entram no lavador de gases ($^{\circ}\text{C}$);
- $t_4 = t_5$ é a temperatura da fumaça que sai do lavador de gases ($^{\circ}\text{C}$);
- $t_{\text{água entrada}}$ temperatura da água que entra no lavador de gases ($^{\circ}\text{C}$);
- $t_{\text{água saída}}$ temperatura da água que sai do lavador de gases ($^{\circ}\text{C}$);
- $V_{\text{água entrada}}$ vazão de água que entra no lavador de gases (m^3/h).

Balanço de energia do lavador de gases:

$$\dot{m}_{\text{fumaça entrada}} (h_3 - h_4) + \dot{m}_{\text{água entrada}} \cdot h_{\text{água entrada}} - \dot{m}_{\text{água saída}} \cdot h_{\text{água saída}} - \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot h_{\text{vapor}} - Q_{d, WS} = 0 \quad (4)$$

Em que:

- h é a entalpia específica do da corrente de gases de combustão (kJ/kg);
- $h_{\text{água entrada}}$ é a entalpia específica da água que entra no lavador de gases (kJ/kg);
- $h_{\text{água saída}}$ é a entalpia específica da água na saída do lavador de gases (kJ/kg);
- h_{vapor} é a entalpia específica do vapor gerado no lavador de gases (kJ/kg);

– $Q_{d, ws}$ é a potência térmica perdida por convecção na superfície do lavador (kW).

O valor da entalpia do vapor foi calculado por:

$$h_{\text{vapor}} = 2501 + 1,85 t \quad (5)$$

Em que:

– 2501 é o calor latente para evaporar a água (kJ/kg);
 – 1,85 é a calor específico do vapor usualmente utilizado para o cálculo (kJ/(kg K)).

Para calcular a potência térmica dispersa por convecção ($Q_{d, ws}$) ao longo da superfície do lavador de gases, LOVERO (2017) utilizou a equação a seguir:

$$Q_{d, ws} = h \cdot A \cdot (t_{\text{água}} - t_0) \quad (6)$$

Em que:

– $Q_{d, ws}$ é a perda convectiva de calor (kW);
 – h é o coeficiente de transferência de calor entre a superfície externa do lavador e o ambiente ($W/(m^2 K)$);
 – A é a área da superfície lateral de troca de calor do lavador de gases (m^2);
 – $t_{\text{água}}$ é a temperatura da superfície externa do lavador de gases ($^{\circ}C$);
 – t_0 é a temperatura externa ($^{\circ}C$).

Com as combinações e resultados das equações acima é possível obter a vazão mássica do vapor:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{água entrada}} + \dot{m}_{\text{água saída}} \quad (7)$$

4.5 SIMULAÇÃO DOS PREÇOS PELO USO DAS ÁGUAS

Para simulação dos preços de cobrança pelo uso da água na Usina Cerradão, utilizou-se a metodologia aplicada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do rio das Velhas em razão de a

cobrança pelo uso ainda não ter sido implementado na bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande.

Sendo:

Preço por captação = R\$ 0,01/m³

Preço por consumo = R\$ 0,02/m³

Preço por lançamento de efluente = R\$ 0,07/m³

Essa equação foi estabelecida pela Deliberação Normativa CBH Rio das Velhas n° 03/2009 (alterada pela DN n° 04/2009), cuja cobrança se dá com a emissão de Documento de Arrecadação Estadual (DAE).

Conforme o Plano Plurianual de Aplicação (PPA), aprovado por Deliberação, os recursos oriundos das cobranças são destinados para estudos e pesquisas, atividades de educação, participação em eventos, treinamento dos membros e parceiros do Comitê e Subcomitês, entre outras aplicações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 UNIDADE OBJETO DE ESTUDO

A Unidade agroindustrial, usina de cana-de-açúcar, onde se realizou o estudo é a concretização de um projeto de investimento idealizado por dois grupos econômicos para a exploração agroindustrial da cana-de-açúcar na região no Triângulo Mineiro.

A materialização do empreendimento iniciou-se com a constituição da empresa em 1º de junho de 2006, projetada para uma moagem de até 2.400.000 toneladas de cana-de-açúcar em sua primeira fase.

A empresa gera cerca de 3.500 empregos diretos e indiretos, contratando colaboradores no município de sua localização e demais municípios vizinhos.

A operação efetiva da Unidade iniciou-se no ciclo 2009/2010, com a moagem de 785.627 toneladas de matéria prima. No ciclo 2016/2017 foram esmagadas 2.742.366 toneladas e no ciclo 2017/2018 alcançou a moagem de 3.116.907 toneladas de cana-de-açúcar.

Em 28 de agosto de 2015 foi constituída uma subunidade de geração de energia com o objetivo de operar as atividades de cogeração e exportação de energia elétrica, que chegaram a 260.000 MWh de cogeração e a 160.000 MWh de exportação, no ciclo 2017/2018.

5.1.1 Consumo de água na empresa

A Usina realiza a captação de água para consumo humano e uso industrial em dois pontos, sendo uma captação subterrânea (poço artesiano) e uma captação superficial em curso d'água.

Em ambas as captações são realizadas as medições de vazão por meio de hidrômetros e horímetros, sendo que os dados são registrados em planilhas e mantidos em arquivo.

A vazão outorgada para captação subterrânea é de 9,0 m³/h, conforme Portaria nº 2064/2016 de 29 de setembro de 2016. A captação de água no poço artesiano se dá 24 horas por dia, durante 365 dias do ano. A média de captação é de 3,21 m³/h,

sendo que durante a safra de 2017/2018 a Unidade captou 23.451 m³, ou seja, 23.451.000 de litros de água.

A captação superficial é feita no Ribeirão São Mateus (Figura 15) e a vazão outorgada é de 363 m³/h, de acordo com a Portaria 01652/2007. A captação no Ribeirão São Mateus ocorre durante a safra da Usina, geralmente de abril a novembro, 24 horas por dia.

Figura 15: Ponto de captação de água – Ribeirão São Mateus



Fonte: Autora, (2017)

Na safra 2017/2018 a média de captação superficial, para uso industrial, foi de 360,0 m³/h, ou seja, quase 2 bilhões de litros de água.

Considerando uma moagem de 3.116.907,81 toneladas de cana-de-açúcar, a média de captação ficou em 0,63 m³/tonelada de cana processada durante a safra 2017/2018.

Atualmente, a Unidade não utiliza água para lavagem da cana-de-açúcar, o que contribuiu para a redução de captação de água no Ribeirão São Mateus e toda a distribuição de água dentro da unidade industrial é em circuito fechado. O único ponto de consumo que não se faz o reuso é no lavador de veículos da unidade.

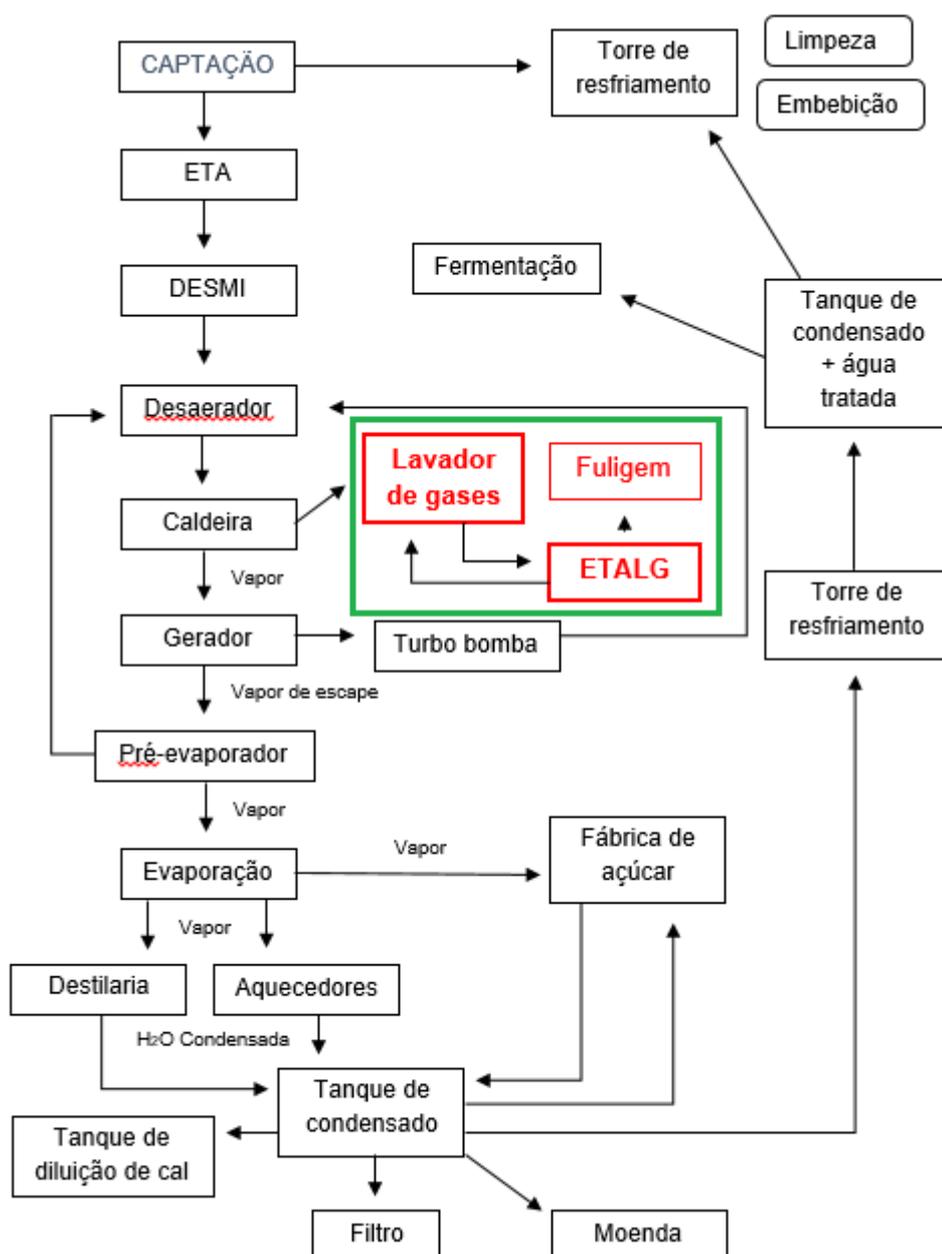
Apesar de se ter registros da captação de água feita pela empresa, não há um balanço hídrico que forneça dados sobre a quantidade de água efetivamente utilizada e perdida em cada etapa do processo.

5.1.2 Caracterização dos setores de lavagem de gases e ETALG

Foi elaborado um fluxograma (Figura 16) do uso de água na Unidade e posteriormente estabelecidos os setores a serem estudados e pontos de realização das medições de vazão.

Assim, ficou definido que o trabalho seria realizado no setor de lavagem de gases da caldeira de combustão de biomassa e estação de tratamento de água da lavagem de gases – ETALG.

Figura 16: Fluxograma do uso de água na Unidade



Fonte: Autora, (2017)

5.1.3 Caldeira e lavador de gases

A caldeira é do tipo aquatubular vertical de 02 (dois) tubulões, (capacidade de geração de 200t/h de vapor, pressão de projeto 75 kgf/ cm² e temperatura do vapor 490 °C), com circulação natural, suportada por estrutura metálica, fornalha com tubos aletados, tiragem induzida dos gases, com fluxo cruzado no feixe tubular e fornalha vertical isolada externamente com revestimento com invólucro de alumínio trapezoidal.

Sistema de combustão por grelha plana fixa tipo PIN HOLE, com queima sobre a grelha e parte da mesma em suspensão e limpeza alternada através de bicos de vapor, com válvulas de controle e programação.

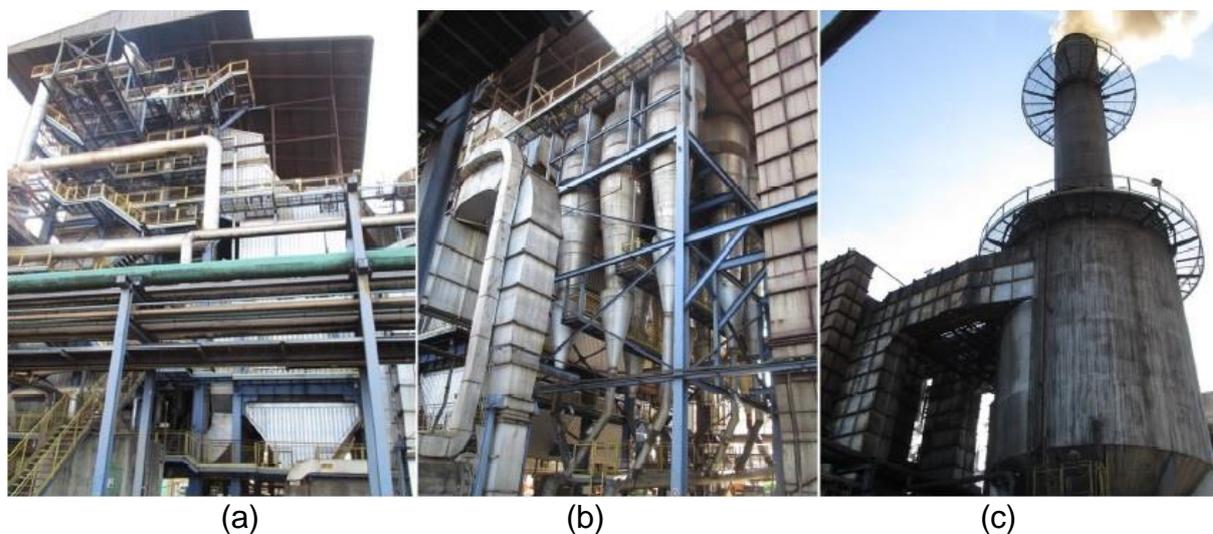
Sistema de ar secundário devidamente dimensionado relativo à (pressão x vazão); bocais instalados nas paredes traseira e frontal, acima das bocas de alimentação de combustível, formando uma cortina turbulenta e fornecendo o ar complementar para a queima dos finos, incandescentes e dos voláteis, diminuindo assim, as emissões de não-queimados.

Sistema de alimentação de combustível é feito por uma esteira de talisca que alimenta os alimentadores e destes para a fornalha. O combustível é distribuído na fornalha através de espargidores pneumáticos que sopram de forma intercaladas pelo damper borboleta montado defasados um dos outros, interligados por varões com acionamento por motor redutor único. Com este Sistema o combustível varre toda a superfície da grelha mantendo uma distribuição homogênea de combustível.

A limpeza das cinzas das grelhas e fuligem coletadas nas moegas do pré-ar, eco, multiclones e lavador de gás são por via úmida e encaminhada por gravidade através de canaletas até a decantação. Após tratamento, a água retorna ao sistema de limpeza de fuligens através do bombeamento. Nas Figuras 17 e 18 é possível visualizar os equipamentos descritos.

A lavagem de gases é um mecanismo de controle ambiental extremamente importante para a redução de material particulado a ser lançado para a atmosfera, de forma a atender a legislação vigente.

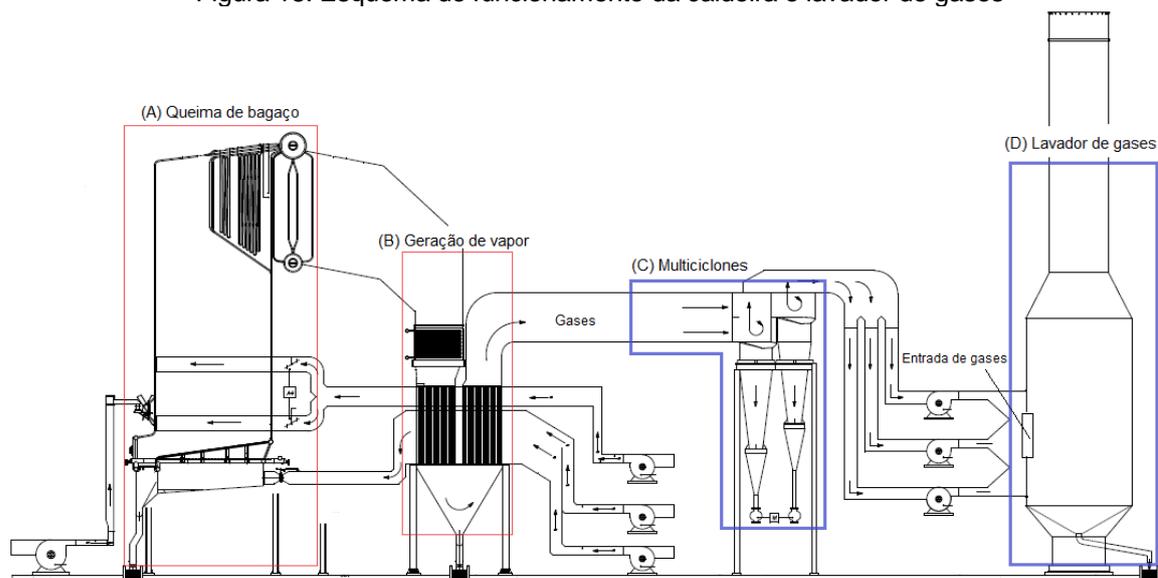
Figura 17: Caldeira Engevap



(a) (b) (c)
 Notas: (a) caldeira; (b) multiciclones; e, (c) lavador de gases.

Fonte: Autora, (2017)

Figura 18: Esquema de funcionamento da caldeira e lavador de gases



Fonte: Autora, (2017)

5.1.4 Resultados medidos na unidade de estudo

Na Tabela 7 são apresentados os resultados de todos os parâmetros medidos na unidade industrial durante a safra 2017/2018.

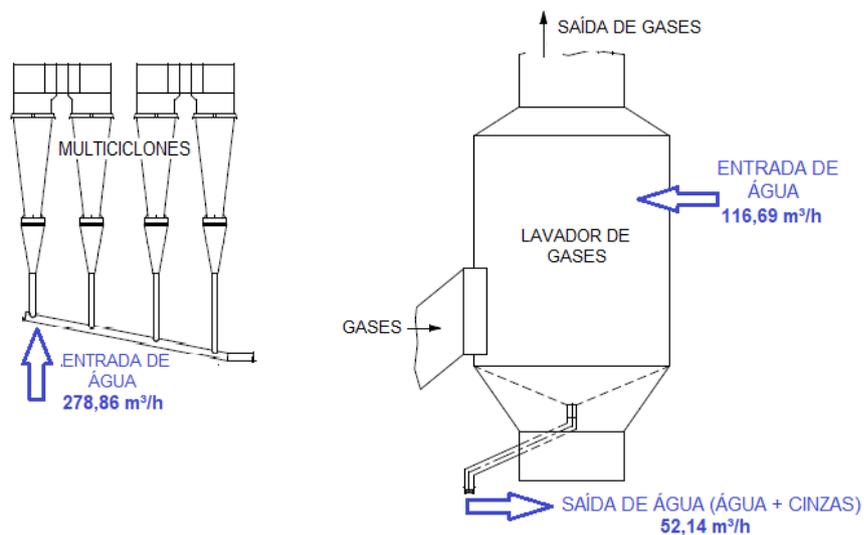
Tabela 7: Parâmetros medidos durante a safra 2017/2018

Unidade	Descrição	Quantidade
\dot{m}_{cana} (t/safra)	Taxa mássica de cana-de-açúcar processada	3.116.907
\dot{m}_{cana} (t/h)	Massa de cana-de-açúcar processada	558,34
\dot{m}_b (t/safra)	Taxa de geração de bagaço	807.056,95
\dot{m}_b (t/h)	Taxa de geração de bagaço	139,50
Gerador de vapor		
\dot{m}_{bq} (t/h)	Taxa de queima de bagaço	115,00
b.u (%)	Umidade do bagaço	46,8
t_1 (°C)	Temperatura da fumaça de saída do queimador	397
\dot{m}_{vapor} (ton/h)	Taxa de evaporação de água	237,5
t_{vapor} (°C)	Temperatura do vapor d'água	484
ρ_{vapor} (bar)	Pressão de vapor	65
t_{s_ar} (°C)	Temperatura da taxa de fluxo de ar da entrada secundária	213
T_{p_ar} (°C)	Temperatura da taxa de fluxo de ar da entrada primária	206
Lavador de gases		
t_3 (°C)	Temperatura de gases de combustão entrando no lavador	147
t_4 (°C)	Temperatura de gases de combustão saindo do lavador	87
t_5 (°C)	Temperatura de gases de combustão na saída da chaminé	87
$t_{água\ entrada}$ (°C)	Temperatura da água entrando no lavador de gases	53
$t_{água\ saída}$ (°C)	Temperatura da água na saída do lavador de gases	66
$V_{água\ entrada}$ (m ³ /h)	Vazão de água que entra no lavador	116,7
$\dot{m}_{fuligem}$ (t/dia)	Taxa de geração de fuligem	166,1
$\dot{m}_{fuligem}$ (t/safra)	Geração de fuligem	28.298,84
b.u (%)	Umidade da fuligem	78
$V_{água\ saída}$ (m ³ /h)	Vazão média de água saindo do lavador para a ETALG	52,1

Fonte: Autora, (2017)

Na Figura 19 são apresentados os pontos de medição de vazão e resultados obtidos.

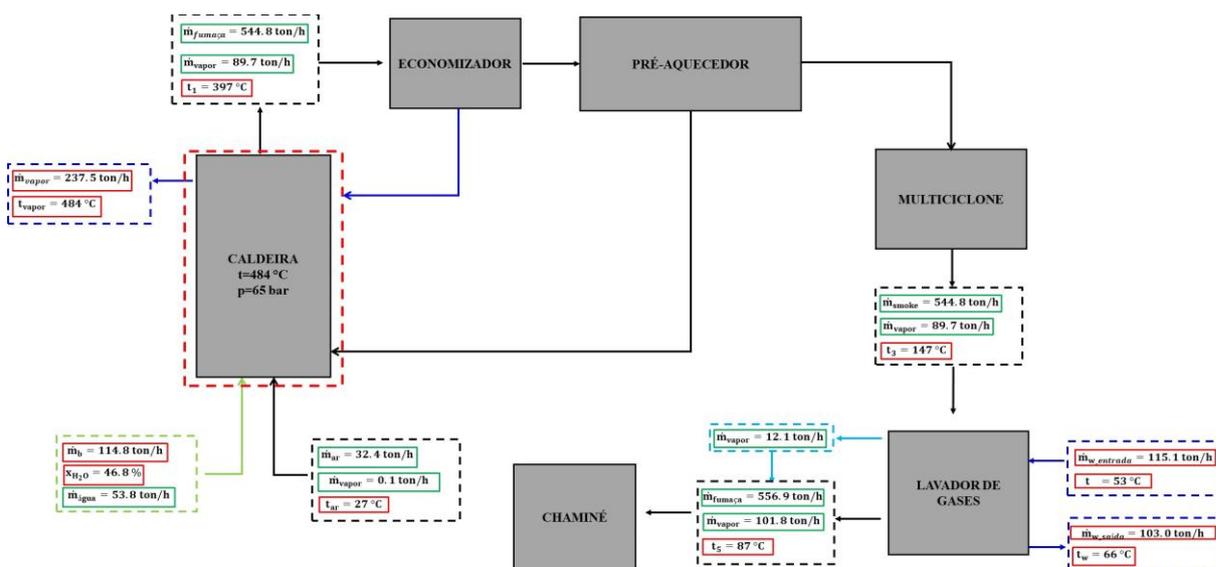
Figura 19: Resultados das medições de vazão



Fonte: Autora, (2017)

Através das medições de vazão e balanço de massa e energia foram obtidos os seguintes resultados (Figura 20).

Figura 20: Resultados dos balanços de massa e energia do lavador de gases



Fonte: LOVERO (2017), modificado pela autora

A vazão de água obtida nos balanços de massa e energia, na saída do lavador de gases foi de 101,8 t/h, valor este diferente do resultado médio das medições realizadas (51,8 t/h ou 52,1 m³/h). Isso se dá pelo fato de o lavador possuir uma válvula automática que abre e fecha conforme a pressão interna alterando o nível de água dentro do lavador, ou seja, parte da água que entra fica armazenada temporariamente. Para a estimativa da vazão de água perdida no lavador de gases foram utilizados os valores medidos. Assim, tem-se: para a queima de 114,8 t/h de bagaço, com umidade média de 46,8%, foram utilizados 115,1 t/h de água na operação do lavador de gases, ou seja, 1,003 t_{água}/t_{bagaço}.

Durante o processo de lavagem de gases, cerca de 12,1 t/h de água foram perdidos na forma de vapor para a atmosfera. Após a lavagem dos gases, o balanço aponta que apenas 103 t/h de água seguiram para a ETALG.

5.1.5 Estação de tratamento de água do lavador de gases (ETALG)

A Unidade possui uma ETALG da marca Mause SA (Figura 21), com capacidade volumétrica de 500 m³/h.

O processo inicia-se com a captação do efluente gerado no lavador de gases e limpeza dos cinzeiros da caldeira que é transportado por gravidade através de canaletas até o poço de captação de efluentes.

Na parte inferior do poço de efluentes existem bombas centrífugas que recalcam a água com sólidos suspensos até a peneira rotativa que tem a função de reter as partículas com tamanho superior a 2,0 mm. O efluente com partículas menores escoam por gravidade por um bocal na parte inferior da peneira rotativa até o clarificador para que ocorra a sedimentação dos sólidos finos.

A água clarificada, livre de sólidos, escoam por um vertedouro periférico para uma calha que capta a água direcionando o fluxo para uma tubulação, a qual descarrega essa água em um tanque pulmão de água de reuso e através de bombas centrífugas o fluido é recalcado até o lavador de gases.

Com as medições realizadas durante a safra 2017/2018, concluiu-se que a vazão de água a ser tratada, direcionada à ETALG, é de 331,0 m³/h. Estima-se uma perda de 3% de água durante o processo de tratamento de água, o que resulta em 10,2 m³/h.

No processo de tratamento da água do lavador de gases, são retiradas 6,9 t/h de fuligem, ou seja, 0,069 t/h de fuligem para cada 1 t/h de bagaço queimado, cuja

umidade é de 78,34% (b.u). Essa fuligem é direcionada para a compostagem e posteriormente encaminhada para aplicação nas áreas de plantio ou reforma de canaviais. Assim, tem-se uma perda de água na fuligem de 5,5 m³/h.

Figura 21: Estação de tratamento de água do lavador de gases



Fonte: Autora, (2017)

5.2 PERDA DE ÁGUA TOTAL NO SISTEMA

De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que há uma perda total de 27,8 m³/h: 11,6 m³/h na forma de vapor (lavador de gases), 10,2 m³/h na estação de tratamento de água de lavagem de gases e 5,5 m³/h na fuligem encaminhada à compostagem, ou seja, 7,72% de toda a água captada pela Usina.

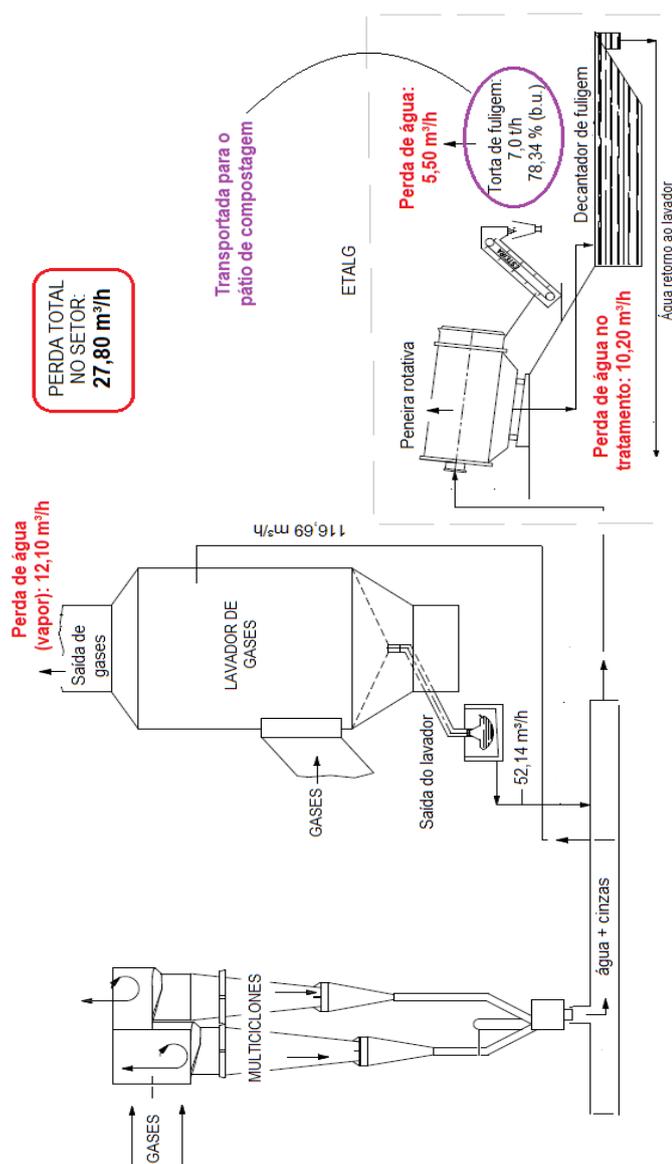
O estudo demonstrou que a queima de 115 t/h de bagaço contendo 46,8%(b.u.) de umidade gera 545 t/h de gases de combustão, dos quais 90 t/h são de umidade na forma de vapor. O material particulado arrastado da caldeira é coletado em sistema de multiciclone e lavador, gerando 6,9 t/h de torta de fuligem com 78%(b.u.) de umidade. O lavador opera com entrada de 115 t/h de água, 12,1 t/h (~10%) dos quais são perdidos por evaporação para a atmosfera, 5,4 t/h são perdidos na umidade da torta de fuligem e 10,2 t/h são perdidos no tratamento da água. As perdas de água com o lavador totalizam assim 27,6 t/h, correspondendo a um coeficiente de 58

kg_{água}/t_{cana} processada na safra de 2016-2017. A perda energética no lavador chega a 10,2 MW.

O estudo mostrou ainda que a perda de água no lavador de gases e estação de tratamento de água do lavador é de quase 24% do total que entra no processo.

Da vazão total de água que segue para a estação de tratamento de água do lavador de gases, apenas 36,44 m³/h retornam para o processo de lavagem, o que configura um índice de reuso de aproximadamente 70%. Na Figura 22 são apresentados os resultados de perda de água em cada ponto do setor de lavagem de gases.

Figura 22: Perda de água no lavador de gases e ETALG



Fonte: Autora, (2017)

5.3 COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

Para o cálculo do preço utilizou-se a seguinte equação (simulação) e vazões de captação e consumo de água (Tabela 8):

Preço por captação = R\$ 0,01/m³

Preço por consumo = R\$ 0,02/m³

Preço por lançamento de efluente = R\$ 0,07/m³

Tabela 8: Vazões adotadas na simulação

Vazões (m ³ /h)		
Captação	Lançamento	Consumo
360,0	0	360,0

Fonte: Autora, (2017)

Considerando a captação de 360 m³/h de água, durante 230 dias de safra, sendo que toda a água captada foi consumida e não houve lançamentos de efluentes em curso d'água, tem-se:

$$\text{R\$ } 0,01/\text{m}^3 \times 1.987.200 = \text{R\$ } 19.872,00$$

$$\text{R\$ } 0,02/\text{m}^3 \times 1.987.200 = \text{R\$ } 39.744,00$$

Sendo assim, com a simulação, o valor a ser pago ao Estado, pela captação e uso de água na indústria seria de R\$ 59.616,00/safra. Ou seja, considerando uma perda de água de 27,8 m³/h, há uma perda monetária no valor de R\$ 3.596,40.

Além disso, o custo com a manutenção do lavador de gases é de cerca de R\$ 12.000,00 e o custo da manutenção da ETALG é de R\$ 2.000,00/safra.

5.4 DEMAIS CUSTOS LEVANTADOS

Um indicador bastante importante foi observado durante a execução das medições de vazão de água no setor de lavagem de gases. Toda a torta de fuligem oriunda do processo de tratamento de água de lavagem de gases é transportada por caminhões (Figura 23) movidos a combustível fóssil, óleo diesel, para um pátio de

compostagem, para posteriormente ser direcionado e aplicado no solo das lavouras de cana-de-açúcar.

Figura 23: Caminhão sendo carregado de fuligem



Fonte: Autora, (2017)

Durante a safra 2017/2018, de acordo com o boletim de transporte e pesagem emitido pela Unidade, foram transportadas 29.353,24 toneladas de torta de fuligem para o pátio de compostagem, sendo necessárias 3.079 cargas.

O custo médio para o transporte da torta de fuligem para o pátio de compostagem é de R\$ 4,00/tonelada.

Considerando esse valor, na safra 2017/2018, foram gastos aproximadamente R\$ 118.000,00 apenas para o deslocamento da torta de fuligem da ETALG para o pátio de compostagem.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos no estudo, concluiu-se que:

A unidade de estudo, se caracteriza por um empreendimento de grande porte, com alto potencial produtivo, preocupado com as questões ambientais, mas que ainda possui consumo elevado de água em seu processo de produção;

O consumo de água no lavador de gases é inferior a vazão referenciada pela ANA (2009), quando se fala que o uso médio em unidades sucroenergéticas é de 2,00 m³/t. vapor, já que na Unidade de estudo o consumo específico foi de 0,50 m³/t. vapor;

O estudo validou a estimativa que os gestores da empresa têm com relação a perda de água no setor de lavagem de gases, comprovando uma perda de 24% do total que entra no processo;

O índice de reuso de água no lavador de gases é de aproximadamente 70%, pois apenas 36,44 m³/h retornam ao processo após tratamento;

A simulação dos preços que poderiam ser cobrados, por si só, não foram significativos do ponto de análise financeira; por outro lado, evidenciou-se que o maior custo financeiro está no transporte da torta de fuligem com alto percentual de umidade, girando em torno de R\$ 4,00/tonelada;

A realização das medições de vazão de água permitiu que os dados fossem confiáveis, servindo de ferramenta para a gestão dentro da empresa, pois de acordo com a Diretoria da empresa, a meta de redução da vazão de captação de água é de 50 m³/h nas próximas três safras;

Há a necessidade de se implantar um sistema de gestão de uso e reuso da água em toda a planta industrial.

7 RECOMENDAÇÕES

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Poderão ser realizados trabalhos acadêmicos na unidade industrial no sentido de:

Analisar as melhores técnicas de desaguamento de lodo (torta de fuligem), que possam oferecer um maior percentual de reuso da água e economia no transporte da fuligem;

Investigar a perda de água nos demais pontos em que a empresa demonstra preocupação, como nas torres de resfriamento e estação de tratamento de água;

Monitorar a eficiência do lavador de gases face a emissão atmosférica;

Monitorar o lavador de veículos, quantificando o consumo e perda de água no sistema.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA A UNIDADE ESTUDADA

Diante dos resultados obtidos recomenda-se à Unidade estudada:

Adoção de um sistema de remoção de umidade do lodo (torta de fuligem) a fim de se reduzir os custos com o transporte e o aproveitamento da água contida no composto. As tecnologias de remoção de umidade, também conhecidas como desaguamento, desidratação ou secagem de lodo (VANZETTO, 2012) são muito utilizadas em estações de tratamento de esgotos e estações de tratamento de água e poderão ser adequadas para o sistema de estação de tratamento de água do lavador de gases. O objetivo do desaguamento, além de aumentar a quantidade do material sólido residual, é diminuir o volume de lodo, podendo ser utilizadas tecnologias mecânicas ou naturais (SILVEIRA, 2012). Para a Unidade, além da redução do volume de lodo (torta de fuligem) a ser transportada, deverá ser utilizada uma tecnologia onde se consiga reutilizar a água removida do lodo. Silveira (2012), cita

algumas tecnologias de desaguamento de lodo: a) leitos de secagem, leitos de drenagem e *bag* de material geotêxtil, as quais são denominadas tecnologias naturais; e, b) filtros prensa e centrífugas, conhecidas como tecnologias mecânicas. As vantagens da redução do volume do lodo são: a) diminuição dos custos com transporte do material; b) maior facilidade de manipulação do lodo desaguado do que o lodo líquido; c) em caso de compostagem, o lodo desaguado, em razão da diminuição de seu volume há também a redução da quantidade de aditivos necessários e conseqüentemente redução de custos; d) ainda em caso de compostagem, o desaguamento reduz a geração de odores; e, e) redução da produção de chorume (METCALF e EDDY, 2003 apud VANZETTO, 2012). É extremamente importante uma avaliação das peculiaridades do setor de tratamento de água do lavador de gases, como disponibilidade de área e custos dos sistemas de desaguamento, para posterior definição das tecnologias a serem testadas na Unidade;

A instalação de medidores de vazão nos pontos principais do circuito de distribuição de água para o processo de produção, buscando quantificar o seu consumo, como ferramenta de gestão;

O mapeamento de todos os pontos de perdas de água;

A implantação de um programa de gerenciamento do uso e reuso de recursos hídricos;

Inserir a racionalização do uso da água como meta de sustentabilidade ambiental e econômica.

REFERÊNCIAS

ABERS, Rebecca; JORGE Karina Dino. **Descentralização da gestão da água**: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Ambiente & Sociedade*, v. VIII, n. 2, jul./dez. 2005.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Simulador da cobrança pelo uso dos recursos hídricos estaduais (SP)**. Disponível em: <http://www.agenciapcj.org.br/web_app/simcob/>. Acesso em: 21/08/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Apoio à gestão de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/gestaoderecursoshidricos.aspx>>. Acesso em: 15/08/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx>>. Acesso em: 23/08/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <http://www.sifaeg.com.br/wp-content/uploads/2013/07/Manual-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-e-reuso-da-agua.pdf> Acesso em: 01/08/2016.

AZEVEDO, Juliana Antunes de; SIMONELLI, Cristiano Hemerly. **Manejo de bacias hidrográficas: instalação do instrumento cobrança**. In: *Anais... VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM - Universidade Federal de São Carlos*, 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-019.pdf>>. Acesso em: 22/08/2017.

BOTÃO, Solange Gomes; LACAVA, Pedro Magalhães. **Uso de bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia elétrica, no Estado de São Paulo e a comercialização do excedente da energia gerada**. *Biociências*, v. 9, n. 23, 2003. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/biociencias/article/viewFile/446/264>>. Acesso em: 08/08/2016.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água. Origem, uso e preservação**. Editora Moderna. São Paulo, SP. Coleção Polêmica. 1993.

BRASIL. **Água: um recurso cada vez mais ameaçado**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Assembleia Constituinte do Congresso Nacional, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Brasília: Congresso Nacional, 1965. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771impressao.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

BRASIL. CONSELHO INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL – CIMA. **Resolução n.º 1, de 4 de março de 2015**. Brasília: Agência Nacional do Petróleo - ANP, 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=74502>>. Acesso em: 10/06/2016.

BRASIL. **Lei nº 6.938, 31 de agosto de 1981**. Brasília: Congresso Nacional, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

BRASIL. **Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989**. Brasília: Congresso Nacional, 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7735.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 15/08/2017.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm>. Acesso em: 16/08/2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Portaria n.º 75, de 5 de março de 2015**. Brasília: Agência Nacional do Petróleo - ANP, 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=74502>>. Acesso em: 10/06/2016.

CASSIRER, Ernst. **Antropologia filosófica**: ensaio sobre o homem. São Paulo: Mestre Jou, 1972.

CHOUCAIR, Geórgia. **Minas tem a maior produção histórica de açúcar**. Uberaba: Revista Encontro, 2017. Disponível em: <<https://www.revistaencontro.com.br/canal/revista/2017/05/minas-gerais-tem-a-maior-producao-historica-de-acucar.html>>. Acesso em: 17/10/2017.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE - CBH GRANDE. **Bacia Hidrográfica do Rio Grande - BHRG**. Estudos e Apresentações. Poços de Caldas-MG, 2012. Disponível em: <http://www.grande.cbh.gov.br/_docs/outros/ComitedeBaciaHidrograficadoRioGrande_2012.pdf>. Acesso em: 10/08/2017.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE - CBH GRANDE. **Termos de referência para contratação de serviços de consultoria para apoiar a elaboração do plano integrado de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do**

Rio Grande. Abril, 2015. Disponível em:

<http://www.grande.cbh.gov.br/_docs/deliberacoes/TermoReferencia_4_ReuniaoCTI.pdf>. Acesso em: 20/08/2017.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE. **A bacia.** Brasília: CBH Grande, 2012. Disponível em: <<http://www.grande.cbh.gov.br/Bacia.aspx>>. Acesso em: 16/08/2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. – v. 1.** Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/18042017090454_Conab_-_4_Levantamento_2016-17_180417.pdf>. Acesso em: 20/05/2017.

DA SILVA, Amanda Maria Gomes; FREIRE, Caroline da Silva; TAKIYA, Caio Seiti et al.. **Dossiê técnico:** plantas forrageiras. São Paulo: USP/DT (Agência USP de Inovação / Disque-Tecnologia), 2012. Disponível em: <<http://sbri.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwOQ==>>. Acesso em: 08/07/2016.

DECICINO, Ronaldo. **Material orgânico pode ser combustível.** São Paulo: UOL Educação, 2007. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/biomassa-material-organico-pode-ser-combustivel.htm>>. Acesso em: 15/08/2016.

ELIA NETO, **Gestão do recursos hídricos na agroindústria canvieira.**

Disponível em:

<<http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=12610505.>>_Acesso em: 11/12/2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional:** resultados preliminares - 2011. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 23/07/2016.

EUCLIDES, V.P.B. Suplementação de bovinos de corte. *iii* Encontro Nacional da Indústria de suplementos minerais. **Anais...** São Paulo/SP, ASBRAM, 2001.

GASTALDONI, C.. **Seminário interno perspectivas do programa etanol:** o papel do BNDES. Brasília: INMETRO, junho/2007. Disponível: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/perspectivasEtanol_CarlosGastaldoni.pdf>. Acesso: 10/08/2016.

GD8 - CBH BAIXO RIO GRANDE. **Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Baixo Rio Grande - GD8.** Belo Horizonte: IGAM, 2016. Disponível em:

<http://comites.igam.mg.gov.br/images/mapas/Mapas_PDF/Localizacao_GD8_A3.pdf>. Acesso em: 15/08/2017.

GOUVÊA, Júlia Ribeiro Ferreira. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP.**

Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade de São Paulo. Escola Superior De Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: USP-ESALQ, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-16072008-110128/publico/juliagouvea.pdf>>. Acesso em: 14/07/2016.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos começa em janeiro em Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2009b. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/910-cobranca-pelo-uso-de-recursos-hidricos-comeca-em-janeiro-em-minas-gerais>>. Acesso em: 18/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Manual econômico-financeiro da cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Belo Horizonte: IGAM, 2009a. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2015_ARQUIVOS/COBRANCA/Manual_Econ%C3%B4mico_Financeiro_Cobran%C3%A7a.pdf>. Acesso em: 18/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Proposta de termos de referência para planos diretores de recursos hídricos de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: IGAM, 2007. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/usodaagua/tdr-pdrhb.pdf>>. Acesso em: 18/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IGAM, 2017c. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/cadastro-de-uso-insignificante-de-recurso-hidrico>>. Acesso em: 17/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Cobrança pelo uso da água**. Belo Horizonte; IGAM, 2017e. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/cobranca-pelo-uso-de-recursos-hidricos/1455-perguntas-frequentes-cobranca-pelo-uso-da-agua>>. Acesso em: 22/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Cobrança pelo uso das águas**. Belo Horizonte: IGAM, 2017b. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/cobranca-pelo-uso-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 15/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Gestão das águas**. Belo Horizonte: IGAM, 2017a. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas>>. Acesso em: 16/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Regulação de uso da água**. Belo Horizonte: IGAM, 2017d. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/regulacao-de-uso-da-agua>>. Acesso em: 17/08/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. **Relatório anual de gestão e situação dos recursos hídricos de Minas Gerais - 2014**. Belo Horizonte, 2015.

Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/relatorios-de-gestao/9670-/download>>. Acesso em: 20/08/2017.

LOVERO, F.G. et al. **Estimativa do consumo e do descarte de água em lavadores de gases em caldeiras na queima de bagaço de cana**. In: 18º Congresso de Iniciação Científica e Pesquisa da Unaerp, Ribeirão Preto, 2017.

MACEDO, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Estudos Avançados**, 21(59): 157-164, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a11v2159.pdf>>. Acesso em: 06/07/2016.

MARENCO, José A.; NOBRE, Carlos Afonso; SELUCHI, Marcelo Enrique et al.. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. Revista USP, São Paulo, n. 106, p. 31-44, julho/agosto/setembro 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jose_Marengo/publication/304447015_A_seca_e_a_crise_hidrica_de_2014-2015_em_Sao_Paulo/links/5791249608ae0831552f9705/A-seca-e-a-crise-hidrica-de-2014-2015-em-Sao-Paulo.pdf>. Acesso em: 12/08/2017.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H.. Melhoramento da Cana-de-açúcar. In: A Borém. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa-MG: Editora Universidade Federal de Viçosa, 1999, v. 1, pp. 205-252.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 58, n.2, p. 295-301, abr./jun. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000200012>. Acesso em: 20/07/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Outorga federal**. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/outorga-federal>>. Acesso em: 15/08/2017.

NOVACANA.COM. **As usina de Açúcar e Etanol do Brasil**. Disponível em: <https://www.novacana.com/usinas_brasil/>. Acesso em: 17/10/2017.

PIMENTEL, I. M. C.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A. ET AL.. Balanço hídrico, caracterização e reúso de água de colunas barométricas na indústria sucro-alcooleira: estudo de caso. In: **Anais...** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá - MT, 2004. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23376/15466>>. Acesso em: 19/07/2016.

PORTAL BRASIL. **Cobrança pelo uso da água tem novos valores nas bacias de três rios paulistas**. Brasília: Portal Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/08/cobranca-pelo-uso-da-agua-tem-novos-valores-nas-bacias-de-tres-rios-paulistas>>. Acesso em: 20/08/2017.

PORTAL DOS COMITÊS. **Instrumentos de Gestão - CBH Baixo Rio Grande (GD8)**. Belo Horizonte: IGAM, 2017c. Disponível em:

<<http://comites.igam.mg.gov.br/instrumentos-de-gestao-gd8>>. Acesso em: 22/08/2017.

PORTAL DOS COMITÊS. **Mapa - Unidades de Planejamento**. Belo Horizonte: IGAM, 2017a. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/mapa-unidades-de-planejamento>>. Acesso em: 18/08/2017.

PORTAL DOS COMITÊS. **Plano Diretor - GD8**. Belo Horizonte: IGAM, 2017b. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/30-gd8-baixo-rio-grande/182-plano-diretor-gd8>>. Acesso em: 15/08/2017.

PORTAL INFOHIDRO. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Belo Horizonte: IGAM, 2017b. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/cobranca>>. Acesso em: 20/08/2017.

PORTAL INFOHIDRO. **Enquadramento dos corpos e cursos d'água**. Belo Horizonte: IGAM, 2017a. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/enquadramento>>. Acesso em: 22/08/2017.

REVISTA ALCOOLBRÁS. **Combustível para a consolidação**. Ed. 116. São Paulo: Editora Valete, agosto/2008. Disponível: <http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_116/mc_2.html>. Acesso: 29/06/2016.

RIBEIRO, Fabíola Maria Gonçalves. **Usos da água na indústria sucroalcooleira: estudo de caso**. Campinas, SP: [s.n.], 2011.

RIPOLLI, M. L. C.. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (Saccharum spp) e do seu potencial energético**. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba - SP, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-19082002-155948/publico/marco.pdf>>. Acesso em: 08/08/2016.

STAUT, L.A. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/CanaSolo/index.htm>. Acesso em: 2/4/2018

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; FIRME, D. J.; LEITE, F. P. Diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, município de Guanhães, MG, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 156-168, 2009. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/viewFile/109/295>>. Acesso em: 15/03/2018.

TORQUATO JUNIOR, H.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A. et al.. **Caracterização da água de lavagem de cinzas e gases de caldeiras na indústria de cana-de-açúcar**. Centro de Tecnologia de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – CTEC/UFAL. Maceió-AL: CTEC/UFAL, 2009.

Disponível em:

<<http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/AguaCinzaGasesCaldeiraIndustria.pdf>>.
Acesso em: 19/07/2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro**. São Paulo: UNICA, 2014. Disponível em: <http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 10/08/2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Banco de dados - bioenergia**. São Paulo: UNICA, 2012. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/apresentacoes/pag=1>>. Acesso em: 10/08/2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Bioeletricidade: a energia verde e limpa do Brasil**. Bioeletricidade.com. São Paulo: UNICA, 2011. Disponível em: <http://bioeletricidade.com.br/cartilha_bioeletricidade.pdf>. Acesso em: 10/08/2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Coletiva de imprensa: Estimativa Safra 2016/2017**. São Paulo: UNICA, 2016. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/download_media.php?idM=29483300>. Acesso em: 31/07/2016.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. **A cultura da cana-de-açúcar e os solos de Minas Gerais**. Araçatuba-SP: www.udop.com.br, 2012. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=987>>. Acesso em: 15/07/2016.

VANZETTO, A. S. **Análise das Alternativas Tecnológicas de Desaguamento de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM 139/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12062/1/2012_AlinyStradiottiVanzetto.pdf>. Acesso em: 12/03/2018.

VAZOLLER, Rosana Filomena. **Manual técnico sobre microbiologia de lodos ativados**. São Paulo: CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), 2002.

FNS – GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA AGROINDÚSTRIA
CANAVIEIRA <http://www.unica.com.br/noticia/3076544192033158412/utilizacao-responsavel-de-agua-e-marca-da-industria-sucroenergetica/>