



AMANDA MANDU DRABER

**QUALIDADE E CONSUMO DA ÁGUA DE
ABASTECIMENTO DE UMA INDÚSTRIA DO SETOR
SUCROALCOOLEIRO**

LAVRAS – MG

2021

AMANDA MANDU DRABER

**QUALIDADE E CONSUMO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE UMA
INDÚSTRIA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Camila Silva Franco

Orientadora

Lavras – MG

2021

AMANDA MANDU DRABER

**QUALIDADE E CONSUMO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE UMA
INDÚSTRIA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de novembro de 2021

Dra. Camila Silva Franco UFLA

Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira UFLA

Dra. Jaíza Ribeiro Mota e Silva SES/MG

Profa. Dra. Camila Silva Franco

Orientadora

Lavras – MG

2021

Agradecimentos

Após tantas experiências e tantas conquistas, primeiramente, agradeço a Deus por tudo! Pela saúde, bênçãos, força e resiliência concedidas.

E principalmente, por todas as pessoas que ele colocou no caminho que me fez chegar até aqui. Agradeço aos meus pais, Ana e Peter, por todo carinho e esforços, sem vocês, eu nada seria. Às minhas irmãs, Kátia e Bianca, que são exemplo de determinação e de mulheres fortes. Às minhas amigas irmãs, Andressa e Ariane, que sempre me apoiam e sempre estão ao meu lado independente do tempo. A todas meninas delicadas que às vezes não são tão delicadas assim... Ao Gabriel, por ser um companheiro compreensivo e paciente. Pela República Can Can, onde aprendi o significado de companheirismo e dedicação pelo que acreditamos.

Agradeço por todas as experiências dentro desta Universidade como NESAMB, Preserva Jr. e Enactus. Tenho certeza que sou uma profissional melhor por todos os desafios passados.

Agradeço imensamente pela paciência, bondade e dedicação da professora orientadora Camila em tempos difíceis.

Agradeço pela minha estrelinha que sempre esteve comigo e teve que partir. Essa conquista também é sua!

Como uma gestora um dia me disse “*você é gigante e vai longe. Voa, menina!*”... É uma pena não ter conseguido falar sobre todos aqueles “quem” me ajudaram a chegar até aqui. Eu sou porque nós somos.

Obrigada!

RESUMO

Com a necessidade de novas fontes de energia renováveis, o setor sucroalcooleiro é predominante na geração de energia por biomassa no Brasil, o qual demanda por grandes quantidades de água de qualidade. Para auxiliar no processo agroindustrial, foi caracterizada a qualidade da água do Rio Tietê para abastecimento da área de lavagem de caminhões de carregamento de cana-de-açúcar e abastecimento para o consumo humano dos colaboradores de uma agroindústria sucroalcooleira. A partir da caracterização da área de drenagem do ponto de captação e o levantamento histórico de variáveis da qualidade da água, foi realizado um levantamento de variáveis do manancial e foram calculados o Índice de Qualidade de Água, de Substâncias Tóxicas Organolépticas e de Qualidade das Águas Brutas para fins de abastecimento. Diante dos valores de qualidade de água apresentados, sua variação sazonal e da presença de Coliformes termotolerantes, verificou-se a necessidade de tratamento por filtração e desinfecção para os usos pretendidos. O IQA, ISTO e IAP variaram ao longo do tempo e as caracterizações dos índices pioraram, pois em 2019 obteve-se o ponto BAB1 “regular”. A vazão necessária para lavagem de máquinas agrícolas em período de safra foi de 12,60 m³/dia e de 2,96 m³/dia para uso de higienização e de alimentação dos colaboradores. Tal vazão para as áreas demandantes é passível de captação diante da vazão já outorgada no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

Palavras-chave: Agroindústria. Biomassa. Energia limpa. Qualidade de Água para uso Agroindustrial. Vazão Outorgada.

LISTA DE SIGLAS

APP - Área de Preservação Permanente

BHPCJ - Bacias Hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí

BHTS - Bacias Hidrográficas Tietê/Sorocaba

CBH - SMT- Bacia hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê

CBH - TJ - Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento de Água

IAP - Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGG SP - Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo

IQA - Índice de Qualidade das Águas

ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

SatVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação

SES/MG - Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais

SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivos específicos	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1. Fontes de energias utilizadas no Brasil e no mundo	10
3.2 Indústria sucroalcooleira	11
3.2.1. Impactos ambientais da geração de etanol por biomassa	14
3.3. Consumo, qualidade e tratamento de água no setor sucroalcooleiro	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1. Caracterização da Área de Estudo	18
4.2. Sistema de abastecimento e tratamento de água da indústria em estudo	19
4.3 Caracterização do uso do solo da área de drenagem do ponto de captação de água	19
4.4 Amostragem para análises da água	20
4.5. Cálculo dos índices de qualidade de água, substâncias tóxicas e organolépticas e água bruta	22
4.4. Cálculo da vazão consumida	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Caracterização do uso do solo da área de drenagem da captação	27
5.2. Qualidade da água do manancial de captação	29
5.3. Quantidade de água necessária para as atividades do setor	36
6. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

As formas de produção de bens de consumo evoluíram bastante após a revolução industrial. A modernização dos processos produtivos, devido à implementação de soluções tecnológicas como a automação e a inteligência artificial, tornou-se realidade em muitos setores e está transformando os padrões de consumo da população. Dessa forma, o acelerado ritmo da produção industrial resulta em aumento do consumo de energia.

Devido aos impactos ambientais que o uso intensivo de energia causa ao meio ambiente e pelo fato da oferta de energia derivada de fontes não renováveis estar se tornando escassa, a eficiência energética vem ganhando importância nos últimos anos. Nesse sentido, a busca por fontes de energia renováveis, que não sejam dependentes de combustíveis fósseis, tem se tornado cada vez mais necessária e importante.

O uso de fontes de energia consideradas limpas, as quais não emitem substâncias poluidoras, como solar, eólica, geotérmica, de biomassa e hidráulica são as grandes apostas para substituir a matriz energética industrial. A biomassa, material de origem vegetal ou animal usado com a finalidade de produzir energia, como, por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar, apresenta potencial para uso como fonte de energia para as indústrias. A biomassa, fonte primária de energia não fóssil, possui grande potencial de crescimento devido a facilidade de geração (aproveitamento de restos de culturas e das culturas energéticas) e por poder ser utilizada a qualquer momento, diferentemente da energia solar, que depende da radiação solar, ausências de nuvens e chuvas para o seu bom funcionamento.

Na indústria sucroalcooleira são produzidos três subprodutos com elevado potencial de geração de energia, o bagaço da cana-de-açúcar, a vinhaça, resíduo químico líquido, e a torta-de-filtro, provenientes do processo industrial que transforma a cana-de-açúcar em álcool. O bagaço é usado para geração de energia por meio de sua combustão e a vinhaça e torta, pela combustão do biogás produzido em sua digestão anaeróbia.

A indústria sucroalcooleira se caracteriza pelo uso intensivo de água em seus processos, como na lavagem da cana, nos condensadores, nos lavadores de gases, na embebição, nas caldeiras, no resfriamento, entre outros. A água deve ter qualidade compatível com cada uso pretendido, do contrário, torna-se necessário realizar tratamento para sua adequação.

2. OBJETIVOS

Caracterizar o sistema de abastecimento de água de uma indústria sucroalcooleira de grande porte situada no interior de São Paulo e sugerir fontes de captação e formas de tratamento para o atendimento da demanda de lavagem de caminhões empregadas no carregamento da cana-de-açúcar e para uso sanitário dos colaboradores.

2.1. Objetivos específicos

- Delimitar e caracterizar a área de drenagem do ponto de captação de água do empreendimento;
- Avaliar a qualidade da água captada ao longo do tempo;
- Estimar o consumo de água no empreendimento; e
- Sugerir outras fontes de captação de água para atender aos usos do empreendimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Fontes de energias utilizadas no Brasil e no mundo

O petróleo representa mais de um terço do produto utilizado como fonte de energia no mundo. Os países orientais ainda apresentam grande dependência dos combustíveis fósseis, enquanto os países ocidentais já apresentam médias elevadas de geração de energia de baixo carbono, principalmente devido às diferenças de renda e de disponibilidade. Apesar da crescente produção de energia de baixo carbono, ela ainda representa apenas 16% da geração elétrica anual mundial (HANNAH; ROSER, 2020).

A energia gerada a partir dos ventos, da água e do Sol são consideradas fontes limpas diante da menor emissão de gases poluentes e menores impactos ambientais, como a captura de Carbono no crescimento da cultura quando comparadas aos combustíveis fósseis. Quando as emissões por fontes móveis e fixas são consideradas, os biocombustíveis serão responsáveis por 16% do abastecimento dos modais utilizados para transporte em 2040 (CORREA et al., 2019).

A capacidade instalada de energia elétrica no Brasil é na ordem de 174,7GW, tendo maior participação das Usinas Hidroelétricas (62,5%), seguida pelas Usinas Termoelétricas (23,4%). No ano de 2020, as fontes hidráulicas foram responsáveis pela geração de 63,8% de energia elétrica, enquanto as fontes termoelétricas, nucleares, eólicas e solares foram responsáveis pela geração de apenas 36,2% de energia elétrica no país. Deste valor total, cabe destacar que a geração de energia eólica (9,2%) e biomassa (9%) representam metade desta geração (BEN, 2021).

A produção de biocombustível atualmente é originada da produção de biomassa. A biomassa pode ser gerada a partir da produção primária de cultivos de soja, milho, cana-de-açúcar e produção florestal, bem como produção secundária a partir dos subprodutos como palha, folhas, cascas, bagacilhos entre outros. O potencial energético da biomassa no Brasil é extenso devido ao forte caráter comercial agrícola, de grande área territorial com possibilidade de vários cultivos ao longo de um único ano e da alta radiação solar incidente (PNE 2030, 2021). No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (2021), as fontes de energia interna são 48,4% de fontes renováveis, onde 19,1% corresponde a biomassa da cana-de-açúcar, valor 47% maior que a lenha e carvão vegetal.

O Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) aponta a necessidade da redução da emissão atmosférica decorrente da queima de combustíveis fósseis e de limitar, até o final do século, em até 1,5°C, o aumento da temperatura global (IPCC, 2021). Diante disto, surgem inúmeras iniciativas para a descarbonização da forma de gerar energia: seja em forma de combustível para os automóveis, nas indústrias ou outros processos que impactam negativamente o meio ambiente.

Na Irlanda, país costeiro e de pequena extensão territorial, Lange e Cummins (2021) pesquisaram por interessados na geração de energia a partir dos ventos, ondas e marés e constataram que, havendo transparência e confiança entre as partes, há grande oportunidade de desenvolvimento dessa forma de produção de energia. Com o reconhecimento da sociedade sobre as questões ambientais, surge a oportunidade para acelerar a transição energética com pesquisas científicas e apoio entre setores privados, governamentais e sociedade (LANGE; CUMMINS, 2021).

Ao combinar radiação solar e ação dos ventos, DAI; HUANG; WANG, (2003) comprovam a eficiência de um modelo de chaminé que gera energia elétrica para povoados distantes no noroeste chinês. Ao mesclar três princípios elementares (o coletor de ar quente solar, turbina com gerador de energia a partir do vento e a chaminé solar), a limitação da variação sazonal da radiação solar é reduzida e torna possível gerar energia o ano inteiro com baixo custo de instalação e de operação.

Diante da iminente necessidade de utilização de fontes limpas de energia, a busca pela substituição dos combustíveis fósseis faz com que a biomassa, fonte primária de energia não fóssil, ganhe espaço de destaque na busca pelo desenvolvimento sustentável.

Em nossa país, devido à forte cultura agrícola, à grande extensão territorial, à elevada radiação solar e à possibilidade de realização de várias colheitas ao longo do ano, o potencial de uso de biomassa para produção de energia é elevado (PNE, 2021).

3.2 Indústria sucroalcooleira

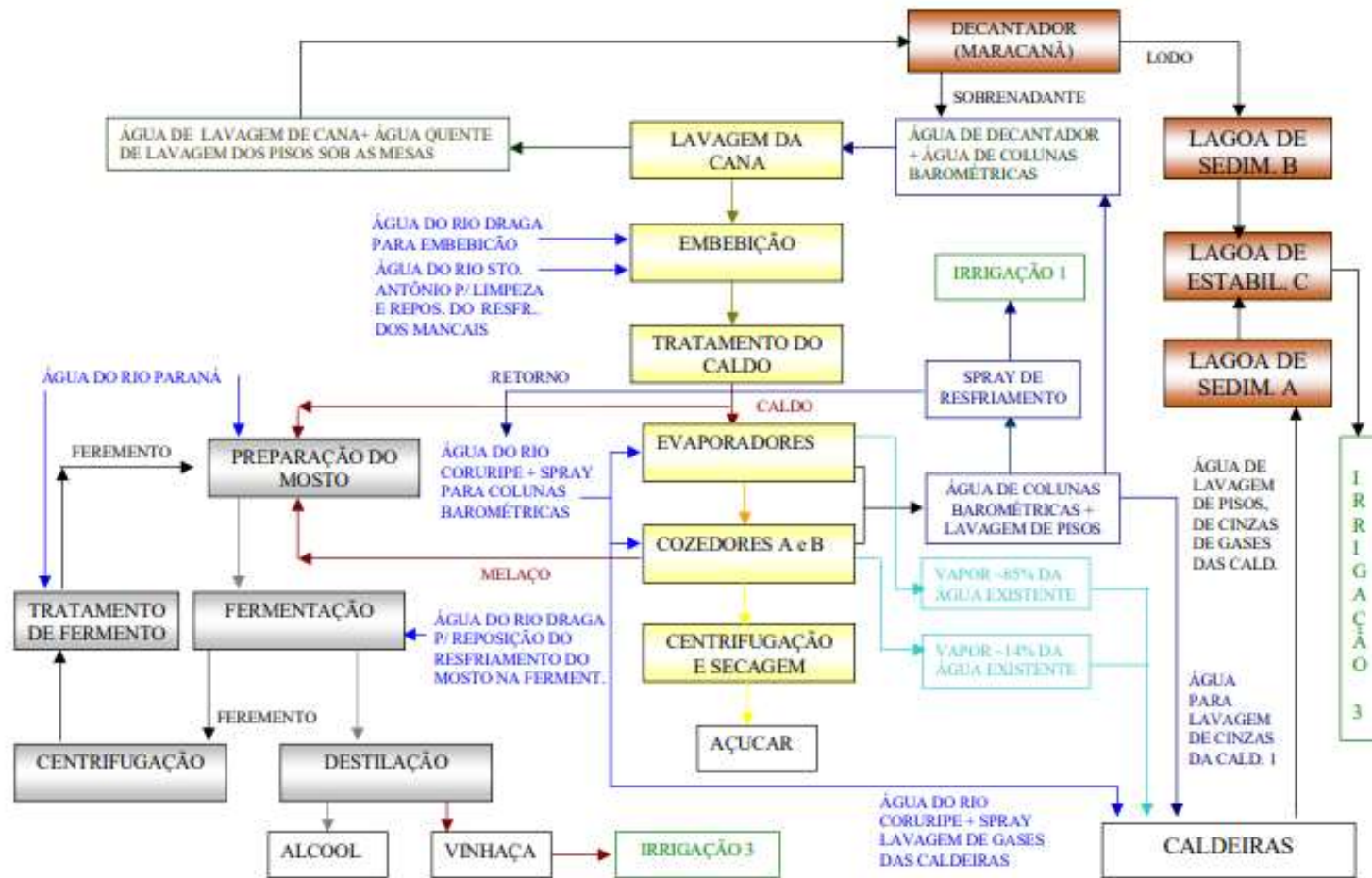
Apenas 50 anos após a introdução da cana-de-açúcar pelo Martin Afonso de Souza em território nacional, o Brasil começou a comercializar o açúcar mundialmente. Com aumento de consumo do produto, muitos países começaram a criar e expandir as refinarias (MACHADO, 2003). Esta expansão associada com aumento do consumo de açúcar resultou em investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias, como o *Ford T*, carro lançado em 1908 movido a

gasolina, querosene ou etanol, de acordo com a União da Indústria da Cana-de-Açúcar (ÚNICA, 2021). Desde então, diversos programas de incentivo e colaboração surgiram no Brasil.

Em 1931, foi estabelecido a obrigatoriedade de adição de, no mínimo, 5% de álcool de procedência nacional na gasolina importada (BRASIL, 1931). Caso não fosse obedecida, as sanções deveriam ser aplicadas aos infratores. Em 1975, o ProÁlcool foi criado a partir de grande investimento industrial na modernização das indústrias para aumento do preço do açúcar internacionalmente e a crise energética enfrentada nos anos 70 (ROSILLO-CALLE; CORTEZI, 1998). Seu objetivo principal foi aumentar a produção agro-energética, aliado à redução de impactos ambientais (BRAY et al., 2000). Em 2017, o RenovaBio foi instituído com objetivo de ampliar a participação dos biocombustíveis na matriz de transporte brasileira aliado com os compromissos assumidos mundialmente (BRASIL, 2017).

O processo de transformação da cana-de-açúcar em etanol, açúcar e biomassa e seus subprodutos (vinhaça, torta de filtro, cinzas e águas residuárias) ocorre nas etapas sequenciais de recepção-moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de etanol, utilidades e disposição de efluentes em área agrícola (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma dos processos produtivos do etanol e açúcar.



Fonte: TORQUATO et al., (2004).

3.2.1. Impactos ambientais da geração de etanol por biomassa

A cana-de-açúcar é constituída por água (74,5%), matéria orgânica (25,0%) e matéria mineral (0,5%), o bagaço *in natura*, resíduo do colmo após a moagem, apresenta 28% de hemicelulose e 14% de lignina em sua composição (MATTOS, 1992). O processamento da cana-de-açúcar em etanol ou açúcar gera resíduos que são dispostos em área agrícola: vinhaça, torta de filtro e cinzas de caldeira.

O bagaço, subproduto da moagem da cana-de-açúcar, é reincorporado ao processo de cogeração de energia e possui vantagens competitivas frente a produção descentralizada e a não utilização de combustível fóssil. Entretanto, possui difícil manejo de estocagem, diante de suas dimensões (PEREIRA et al., 2019), podendo causar incômodo às comunidades locais devido à sua dispersão. No período chuvoso, pode gerar chorume, líquido resultante da decomposição da matéria orgânica e que pode infiltrar no solo até o lençol freático. Este fluido gera preocupação, pois as moscas domésticas encontram as condições adequadas para sua proliferação.

A vinhaça, subproduto da destilação da cana-de-açúcar, possui alta concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio, baixo pH e pode conter metais pesados, não sendo possível o lançamento em corpo hídrico, pois pode afetar o equilíbrio aquático e impossibilitar o uso para outras finalidades (PEREIRA et al., 2019).

Os principais impactos ambientais do setor sucroalcooleiro dizem respeito à diminuição da disponibilidade hídrica decorrente da indução de processos erosivos e da captação superficial de água, a queima da palha da cana-de-açúcar, o descarte inconsciente de vinhaça na natureza, a perda da produtividade do solo, da biodiversidade e alterações climáticas. Os impactos ambientais negativos na produção da biomassa estão associados ao cultivo extensivo de grandes áreas territoriais e a perda de biodiversidade (CORREA et al., 2019), além do processo posterior a colheita: processos bioquímicos, físicos e termomecânicos de transformação da matéria orgânica em substâncias ricas em Carbono que são utilizadas para geração de energia.

Dias et al. (2012) avaliaram a integração do processo produtivo de etanol de primeira com o de segunda geração e verificaram que, na mesma área cultivada, a quantidade de etanol produzido por unidade de biomassa foi 30% maior, indicando a possibilidade de se obter eficiência no processo sem a necessidade de grandes áreas de cultivo. O etanol tradicional, de primeira geração, é produzido a partir do caldo ou melaço da cana-de-açúcar. Já o etanol de segunda geração é feito a partir de açúcares extraídos da celulose da planta, presentes na palha e no bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, madeira, sorgo, entre outros.

Os autores ainda concluíram que o aperfeiçoamento dos processos produtivos, a recuperação de resíduos e o uso da lignina e da pentose como matéria-prima, contribuem para a redução dos impactos ambientais da produção de etanol a partir da biomassa.

O primeiro estudo sobre a contribuição do etanol na redução da emissão de gases causadores do efeito estufa foi apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro em 1992. A partir deste marco, surgiram outros programas com maior foco na mitigação dos impactos ambientais causados pelo setor sucroenergético. O Protocolo Agroambiental, firmado em 2007 entre governo, produtores de cana-de-açúcar e as usinas de transformação, teve como objetivo a antecipação de prazos para encerrar o uso de fogo como método de colheita, restauração das matas ciliares e recuperação de nascentes.

Desde sua implantação, em 99% do território paulistano não é mais praticada a queima da cana como método de facilitar a colheita, embora especialistas afirmam o aumento de pragas associado a colheita mecanizada (SOUZA et al., 2008). Além da redução da emissão de gases do efeito estufa, “o consumo de água passou de 1,52 m³/tonelada de cana na safra 2010/2011 para 0,82 m³ por tonelada de cana na safra 2020/2021” (UNICA, 2021).

3.3. Consumo, qualidade e tratamento de água no setor sulcroatoleiro

Segundo Von Sperling (1996) a qualidade desejável para determinada água é função do seu uso previsto. Ainda de acordo com o autor, “a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem”, pois pode ter características combinadas entre sua área natural (composição do solo e cobertura) e as interferências realizadas pelo homem por meio do uso e ocupação do solo, lançamento de efluentes, vazamentos, entre outras atividades.

A qualidade da água a ser utilizada em um processo industrial é de extrema importância, uma vez que, se não estiver adequada para o uso pretendido, pode contaminar o produto, deteriorar equipamentos e prejudicar a qualidade do produto. Um exemplo disto é a qualidade da água empregada na transformação de água em vapor em caldeiras, a qual deve ser monitorada, uma vez que, se não estiver adequada para o uso, pode gerar incrustações nas tubulações devido à presença de sólidos e dureza, a depender do pH (VON SPERLING, 2005). Para caldeiras de baixa, média e alta pressão, existem intervalos de resultados aceitáveis para que não ocorram corrosões, depósitos e arrastes (ZARPELON; AZZOLINI, 2015). Nesse

sentido, a caracterização de física, química e biológica da água é fundamental para garantir qualidade e segurança em todas as etapas do processo produtivo (MIERZWA, 2005).

No processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, a água pode ser destinada para vários fins, como: irrigação da cana, lavagem da cana, lavagem dos pisos, máquinas e equipamento, resfriamento dos sistemas, geração de vapor e lavagem de gases e consumo dos colaboradores.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992), as águas naturais destinadas ao abastecimento público são classificadas em 4 tipos (Tabela 1), sendo necessário, para cada classificação, um tipo de tratamento, conforme segue:

Tabela 1 – Classificação das águas naturais para abastecimento público.

Tipos	A	B	C	D
DBO 5 dias (mg/L):				
- média	até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
- máxima, em qualquer amostra	1 - 3	3 - 4	4 - 6	> 6,0
Coliformes (NMP/100 mL)				
- média mensal em qualquer mês	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
- máximo	> 100 cm menos de 5% das amostras	> 5000 cm menos de 20% das amostras	> 20000 cm menos de 5% das amostras	-
pH	5 - 9	5 - 9	5 - 9	3,8 - 10,3
Cloretos	< 50	50 - 250	250 - 600	> 600
Fluoretos	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	-

Fonte: ABNT, (1992).

Para as águas naturais classificadas em 4 tipos de A a D, a Associação Brasileira de Normas Técnicas dispõe sobre o tratamento mínimo necessário para cada tipo de água (ABNT, 1992). Para cada caracterização do corpo hídrico de acordo com Tabela 1, existe o tratamento mínimo necessário.

- Tipo A - desinfecção e correção do pH;

- Tipo B - desinfecção e correção do pH e, além disso: decantação simples, para águas contendo sólidos sedimentáveis, quando, por meio desse processo, suas características se enquadrem nos padrões de potabilidade; ou filtração, precedida ou não de decantação, para águas de turbidez natural, medida na entrada do filtro, sempre inferior a 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e cor sempre inferior a 20 unidades, referidas aos Padrões de Platina;
- Tipo C - coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH;
- Tipo D - tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.

Para o consumo de água humana, devem ser seguidas as orientações e valores permitidos para os padrões de potabilidade indicados na Portaria Gabinete do Ministro/Ministério da Saúde nº 888/2021 (BRASIL, 2021), com a finalidade de não oferecer riscos à saúde (Tabela 2). De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, os corpos d'água do Território Nacional são classificadas em treze classes segundo a qualidade requerida para o uso preponderante, onde as águas destinadas ao abastecimento para consumo humano possuem quatro das cinco classificações de água doce (BRASIL, 2005).

Tabela 2 – Comparativo da Portaria de Potabilidade e da CONAMA nº 357.

Padrão	Unidade	VMP Portaria de Potabilidade nº 888/2021	VMP CONAMA 357 - Classe 2
Cor	.uH. NMP	15,00	75,00
Coliformes Termotolerantes	100m/L	200,00	1.000,00
Cloretos	mg/L	250,00	250,00
Dureza	mg/L	500,00	-
Ferro	mg/L	0,30	0,30
Manganês	mg/L	0,10	0,10
Nitrato	mg/L	10,00	10,00
.pH.		6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	1.000,00	500,00

*VMP – Valor Máximo Permitido ou recomendável.

Fonte: BRASIL, (2005); BRASIL, (2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo

O município de Barra Bonita está inserido na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (69,4% CBH - TJ) e na bacia hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (30,6% CBH-SMT). O reservatório da barragem de Barra Bonita, construído para geração de energia elétrica, serve ao transporte fluvial turístico e para abastecimento público do município, cuja bacia de acumulação possui 4.100.000 m³de água. A bacia hidrográfica de contribuição desse reservatório é constituída por setores das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a 26.007 km² de área de drenagem, segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH). As principais atividades econômicas desenvolvidas na região são a agropecuária e a produção industrial, com destaque para os polos petroquímico, têxtil, tecnológico e sucroalcooleiro.

De acordo com a classificação climática de Köpen, Barra Bonita apresenta clima mesotérmico (CWA), onde o inverno é seco e o verão é quente. A área delimitada deste município apresenta quase que na sua totalidade a cultura de cana-de-açúcar, áreas de preservação permanente e com identificação de poucas construções rurais. Diante disso, na área imediatamente à montante do ponto não existe despejo de efluentes industriais tampouco esgoto doméstico.

A sugestão de fontes de captação de água para atender aos usos do empreendimento dar-se-á para um reservatório que distribui água para uma área administrativa de uma empresa terceirizada, para uma oficina que presta serviços de logística e para uma área onde são armazenados subprodutos agroindustriais.

O reservatório de Barra Bonita está situado à jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300km de distância) no Rio Tietê. Devido ao fato da bacia hidrográfica de abastecimento estar inserida numa das regiões mais populosas do interior do Estado de São Paulo, a disponibilidade e conflitos pelo uso d'água geram preocupação com sua qualidade para usos múltiplos na sua extensão.

O local objeto de estudo pertence à uma companhia que é referência global em bioenergia e que tem se posicionado fortemente quanto a possuir uma matriz energética limpa e de baixo Carbono, dessa forma, conseguindo competir frente a outras grandes companhias do setor de energia. Focada em gerar soluções integradas, atua desde a produção da matéria-prima

para produção de açúcar e etanol, utilizando seus subprodutos sob a ótica da economia circular até a comercialização e distribuição ao redor do mundo.

4.2. Sistema de abastecimento e tratamento de água da indústria em estudo

A captação em cursos d'água constitui a forma mais usual de utilização de águas superficiais (JACINTO, 2004). A água captada do Rio Tietê é bombeada até o barramento industrial, onde fica armazenada em reservatórios até ser bombeada para a estação de tratamento de água da indústria, que posteriormente recebe em sistema de ciclo completo para posterior destino ao processo produtivo. O tratamento visa eliminar partículas em suspensão do líquido com utilização de coagulantes, floculantes e em seguida, desinfecção e correção do pH. Na unidade agroindustrial, a água passa pelos processos de mistura rápida, floculação com Policloreto de Alumínio, decantação, filtração rápida e a desinfecção com Hipoclorito de Sódio. Posteriormente, a água tratada é conduzida até a unidade industrial para o processo produtivo.

4.3 Caracterização do uso do solo da área de drenagem do ponto de captação de água

Para identificar riscos potenciais de contaminação da água captada, a área de drenagem do ponto de captação foi caracterizada por meio de imagens do Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SatVeg), ferramenta da Embrapa Informática Agropecuária utilizando o Índice Vegetativo (Enhanced Vegetation Index – EVI) com Satélite Terra e AQUA (satélites americanos desenvolvido em parceria com Brasil e Japão), sem data ou nuvens com resolução espacial de aproximadamente 250m.

Para identificar os mananciais e cursos d'água da área de drenagem, utilizou-se a base DataGeo da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Com o Mosaico das Cartas Topográficas do Estado de São Paulo, elaborado a partir das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo (IGG - SP), entre 1970 e 1980, lançada na escala 1:50.000, foi possível delimitar a área de drenagem do município da área de estudo pelo QGIS. A partir disso, migrou-se para o Google Earth para delimitar áreas industriais, loteamento, construções e demais empreendimentos no limite estabelecido.

4.4 Caracterização da qualidade da água do manancial de captação

Uma empresa geradora de energia elétrica a partir do uso de recursos hídricos, solar e eólica no território nacional, está consolidada na localização da área de estudo desde 1962, quando a obra da hidrelétrica foi concluída. Com a finalidade de realizar diagnóstico da qualidade das águas superficiais e de parâmetros limnológicos, a empresa contrata serviço terceirizado e especializado para monitorar periodicamente se a atividade do empreendimento impacta e modifica a dinâmica do reservatório. Para a análise do presente estudo, foram realizadas 27 coletas em 7 pontos da represa e seus afluentes no período de 2012 a 2019 (Figura 2). O ponto BAB1 está localizado em área lótica do rio Tietê e o BAB2 do rio Piracicaba. O BAB3 está em área de transição, após a confluência dos rios Tietê e Piracicaba. O ponto BAB4 está a montante do ponto de captação. Os pontos ALA e ARAQ são rios tributários da margem esquerda do reservatório, denominados Alambari e Araquá respectivamente.

Figura 2 – Pontos de amostragem ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

As variáveis analisadas (Tabela 3) foram aquelas que compõe os Índices de Qualidade de Água (IQA), de Qualidade de Águas Brutas para fins de Abastecimento Humano (IAP) e Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO).

Em cada ponto de amostragem foram analisados *in situ* e em laboratório 60 variáveis químicas, duas variáveis biológicas e três comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos), conforme preconizado em APHA (2005) e apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Variáveis e as metodologias utilizadas para obtenção.

Variável	Método
Temperatura do ar	Termômetro analítico
Transparência da água	Desaparecimento visual do disco de Secchi
Profundidade local	Profundímetro Speedtech - Manual of Sea Water Analysis, Canada, 1960
Temperatura da água	Sonda multiparâmetros marca Horiba, modelo U53
Oxigênio Dissolvido	
Porcentagem de saturação de oxigênio	
pH	
Condutividade elétrica	
Alcalinidade total	SMWW, 22 ^a ed. Método 2320B
Amônia	SMWW, 22 ^a ed. Método 4500-NH3 F
Metais (Alumínio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro total, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Zinco)	SMWW 22 ^a ed. Método 3120B, EPA SW-846 – 6010D – 2014, Método 3030
Cálcio total	SMWW, 3120B
Cloretos	SMWW 22 ^a ed. Método 4500Cl-B
Clorofila a	CETESB L5.306 - 2014
Coliformes termotolerantes	SMWW 22 ^a ed. Método 9221 A, C e E2
Cor	HACH - 8025 10 ^a ed.
DBO	SMWW 22 ^a ed. Método 5210B
DQO	SMWW 22 ^a ed. Método 5220D
Dureza total	SMWW, 2340B

Fenol	HACH 8047
Fósforo total	SMWW 22 ^a ed. Método 4500P
Nitrato	HACH 8039 9 ^a ed.
Nitrito	HACH 8507 10 ^a ed.
Nitrogênio total	SMWW 22 ^a ed. Método 4500N
Óleos e graxas	SMWW 5520D
Sólidos totais	SMWW 2540B
Sólidos totais e dissolvidos	HACH 8160
Turbidez	SMWW 2130B

Fonte: Da Autora.

4.5. Cálculo do IQA, IAP e ISTO

Para realizar o cálculo de Índice de Qualidade Água (IQA), Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO) e Índice de Qualidade de Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP), foram utilizadas as variáveis definidas pela CETESB (2018) e Lamparelli (2004).

Com intuito de fornecer mais informações sobre estado das águas, os indicadores são fundamentais para unir várias informações complexas em único resultado de fácil entendimento para a população. O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. O IAP é calculado em pontos de rios e reservatórios utilizados para o abastecimento público e é produto da ponderação do IQA e ISTO. As variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas e que afetam a qualidade organoléptica são agrupadas de maneira a fornecer o Índice de Substâncias Tóxicas e Organoléptica (ISTO), utilizado para determinar o IAP, a partir do IQA original

Para o IQA, são utilizadas nove variáveis para avaliação da qualidade da água e é calculado ela equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,
 w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo o n o número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

O cálculo de q_i é realizado por meio das equações que descrevem as curvas que relacionam qualidade da água com concentração da variável, disponíveis em Apêndice C – Índices de Qualidade da Água. Para tal, as variáveis de qualidade de água utilizadas para o cálculo do IQA são: Coliformes fecais, pH, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido.

A partir do cálculo efetuado, a classificação do IQA possui padronização de cores para identificação: azul para intervalo de resultado entre 79 e 100 (ótima); verde para intervalo de resultado entre 51 e 79 (boa); amarelo para intervalo de resultado entre 36 e 51 (regular); vermelho para intervalo de resultado entre 19 e 36 (ruim) e roxa para resultados menores ou iguais a 19 (péssima).

O ISTO é calculado a partir do produto de substâncias tóxicas e as que alteram a qualidade organoléptica da água, conforme as equações 2, 3 e 4. De acordo com o nível de qualidade (q_i), associa-se os valores numérico 0,5 e 1,0 e são geradas a partir das condicionais 5 e 6 e suas respectivas equações:

$$\text{Se valor medido} \leq LI, \text{então } q_i = 1,0 \quad (2)$$

$$\text{Caso contrário, } q_i = 0,5 \frac{(\text{Valor medido} - LI)}{(LS - LI)} \quad (3)$$

$$ISTO = ST \times SO \quad (4)$$

$$ST = \text{Mín} - 1 \left(q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC} \right) \times \text{Mín} - 2 \left(q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC} \right) \quad (5)$$

$$SO = \frac{q_{Al} + q_{Cu} + q_{Zn} + q_{Fe} + q_{Mn}}{5} \quad (6)$$

Em que:

ISTO: Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

ST: Substâncias Tóxicas

SO: Substâncias Organolépticas

LI – Limite Inferior

LS – Limite Superior

qAl: qualidade padrão de Alumínio
qCu: qualidade padrão de Cobre
qZn: qualidade padrão de Zinco
qFe: qualidade padrão de Ferro
qMn: qualidade padrão de Manganês
qTA: qualidade padrão de temperatura
qTHMFP: : qualidade padrão de potencial de formação de Trihalometanos
qCd: qualidade padrão de Cádmió
qCr: qualidade padrão de Cromo
qPb: qualidade padrão de Chumbo
qNi: qualidade padrão de Níquel
qHg: : qualidade padrão de Mercúrio
qNCC: : taxaço de número de celular de cianobactérias, produtoras de cianotoxinas.

Os limites inferiores e superiores (LI e LS) são estabelecidos de acordo com os padrões para classe 2 de recursos hídricos (BRASIL, 2005) e padrões de potabilidade (BRASIL, 2011), apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Limites Superiores e Inferiores dos metais e potencial de formação de Trihalometanos.

Grupo	Variáveis	Unidade	Limite Inferior	Limite Superior
Tóxicos				
	Cádmió	mg/L	0,005	0,010
	Chumbo	mg/L	0,010	0,033
	Cromo Total	mg/L	0,050	0,059
	Níquel	mg/L	0,020	0,025
	Mercúrio	mg/L	0,001	0,002
	PFTHM	µg/L	373,000	461,000
Organolépticos				
	Alumínio	mg/L	0,200	2,000
	Cobre	mg/L	2,000	8,000

Ferro	mg/L	0,300	5,000
Manganês	mg/L	0,100	0,500
Zinco	mg/L	5,000	5,900
Temp. água		40,00	

Fonte: CETESB, (2020).

O IAP é o produto da ponderação dos resultados do IQA e do ISTO (equação 7):

$$IAP = ISTO \times IQA \quad (7)$$

Em que:

IAP: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público

ISTO: Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

IQA: Índice de Qualidade das Águas.

A partir do cálculo efetuado, a classificação do IAP possui padronização de cores para identificação da mesma forma que o IQA

4.4. Cálculo da vazão consumida

Para realizar o dimensionamento do sistema de abastecimento, é necessário conhecer a demanda de água. Na literatura, são apontados valores médios de consumo por pessoa, isto é, a média diária por indivíduo e volumes necessários para satisfazer aos consumos comerciais e industriais, além das perdas no sistema (Tabela 5).

Tabela 5 – Demanda de água diária por local.

Natureza	Consumo
Escritórios comerciais	50 L/pessoa.dia
Indústrias (uso sanitário)	70 L/operário.dia
Lavagem de caminhão	350 L/caminhão

(Adaptado de: Yassuda & Nogami, 1978; Zaneti, Etchepare e Rubio, 2012.)

Foi adotado para os cálculos, o período de safra da colheita da cana-de-açúcar (meses), pois estes oito meses do ano são críticos, com maior consumo de água. No período considerado no estudo, a oficina onde são realizadas manutenções e limpezas de máquinas agrícolas funciona 24 horas nos 7 dias da semana, ao contrário do escritório administrativo, onde os colaboradores trabalham 9 horas por dia nos cinco dias da semana.

Na área de estudo, o consumo de água e comercial referente às atividades higiênicas e de limpeza, além de preparo de alimentos e industrial, para lavagem de peças automotivas possui seus quantitativos apresentados no Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade de colaboradores da área de estudo.

Descrição	Quantidade	UN
Administrativo	20	colaboradores
Oficina mecânica	7	colaboradores/turno
Rodotrem	50	caminhões
Treminhão	10	caminhões

Fonte: Da autora.

Além dos consumos, deve-se incorporar a perda de água na distribuição, para tal, foi adotado 20% da vazão total (equação 6).

$$Q_{total} = (Q_{uso\ comercial} + Q_{manutenção}) \times 1,2 \quad (6)$$

Em que

Q_{total} – vazão total utilizada durante 24 horas (m^3/d);

$Q_{uso\ comercial}$ – vazão utilizada pelos colaboradores para refeição e uso sanitário (m^3/d);

$Q_{manutenção}$ – vazão utilizada para limpeza e manutenção de equipamentos e áreas (m^3/d).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Uso do solo da área de drenagem do ponto de captação de água

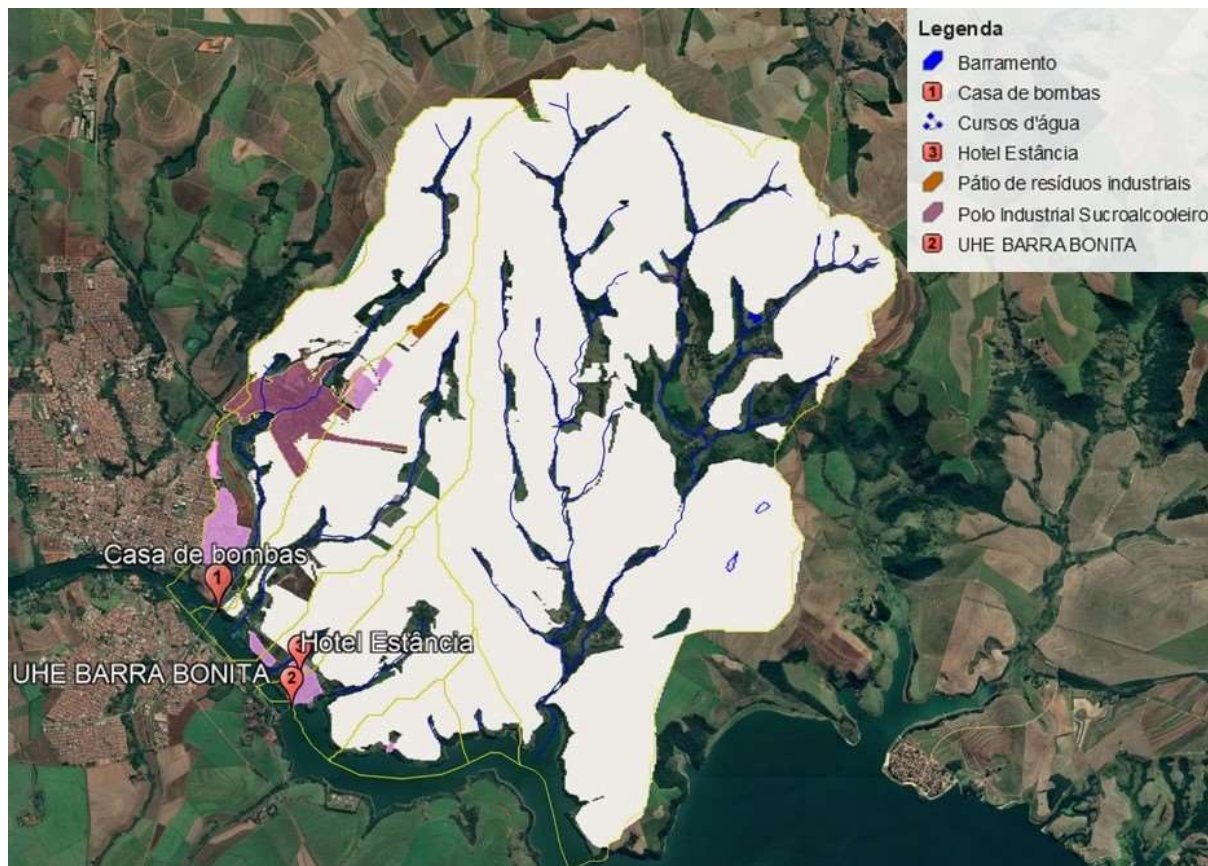
O ponto de captação de água está apresentado na Figura 3, sendo a área de contribuição até o ponto igual a 81 km². Conforme exposto na Figura 4, a região de interesse é constituída por cultivo da cana-de-açúcar (66%), área de preservação permanente (29%) e núcleo populacional construções rurais e industriais (5%). Por possuir épocas do ano bem definidas para o preparo do solo, plantio e colheita, o solo fica desprotegido e pode influenciar diretamente na qualidade e na quantidade disponível de água no curso hídrico. Diante do tráfego intenso de caminhões e máquinas agrícolas, o solo possui menor taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial. Nesse sentido, é fundamental avaliar o sistema aquático e o terrestre de forma integrada.

Figura 3 – Bacia de contribuição para o ponto de captação de água avaliado.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

Figura 4 – Uso e ocupação do solo da área da bacia de contribuição a partir das curvas de nível.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

O escoamento superficial, então potencializados, carrega consigo matéria orgânica, nutrientes, metais e microrganismos presentes no solo, nas culturas e nos agroquímicos utilizados para produção de cana-de-açúcar. Para os seres humanos, o consumo da água com elevadas concentrações de metais pesados e agroquímicos podem gerar dores de cabeça, coceira e alergias; mas em casos mais graves há possibilidade de surgimento de doenças cancerígenas (Tabela 7).

De acordo com a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, encontravam-se registros 63 ingredientes ativos para cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais ingredientes ativos utilizados são 2,4-D, Ametrina, Atrazina, Clomazom Diurom, Glifosato, Imazapique, Tebutiurom, Trifoxissulfurom Sódico. Estas substâncias representam riscos à saúde da população que mantém contato com a água que está sujeita ao escoamento superficial.

Tabela 7. Identificação dos agrotóxicos com sua indicação de uso e os malefícios para saúde humana.

Nome	Indicação de uso	Problemas se ingerido
Glifosato	É indicado seu uso em aplicação na pós-emergência da cultura e das plantas daninhas para capina química das culturas de café, cacau, citros, cana-de-açúcar.	Síndrome tóxica após a ingestão de doses altas: epigastralgia, ulceração ou lesão de mucosa gástrica, hipertermia, anúria, oligúria, hipotensão, conjuntivite, edema orbital, choque cardiogênico arritmias cardíacas, edema pulmonar não cardiogênico, pneumonite, necrose tubular aguda, elevação de enzimas hepáticas, leucócitos, acidose metabólica e hipercalcemia.
Atrazina	É um herbicida, apresentado sob a forma de suspensão concentrada com eficiência no controle da maioria das plantas daninha, anuais, tanto em aplicação de préemergencial como em pós-emergencial precoce, utilizado em cultura de cana-de-açúcar, milho e sorgo	A intoxicação: absorção da calda durante a pulverização ou ingestão acidental ou por água poluída pode ocorrer transtorno de memória e alteração citolítico hepática. Em caso de poluição em corpos d'água interrompa imediatamente a captação para o consumo humano ou animal.
Trifluralina	Composição trifluoro – 2,6 – dinitro-N, N-dipropyl-p-toluidine, herbicida seletivo, de ação não sistêmica pré-emergente do grupo químico Dinitroanilina.	A intoxicação por absorção de água causa irritação de mucosas, reflexos no sistema nervoso central, tonturas, dor de cabeça, náuseas, perturbações da vista e tremores. Esse produto é altamente bioconcentrável em peixes, a destinação inadequada de embalagens ou lavar equipamento próximo a rios e córregos pode ocasionar contaminação do solo e da água prejudicando a fauna e flora

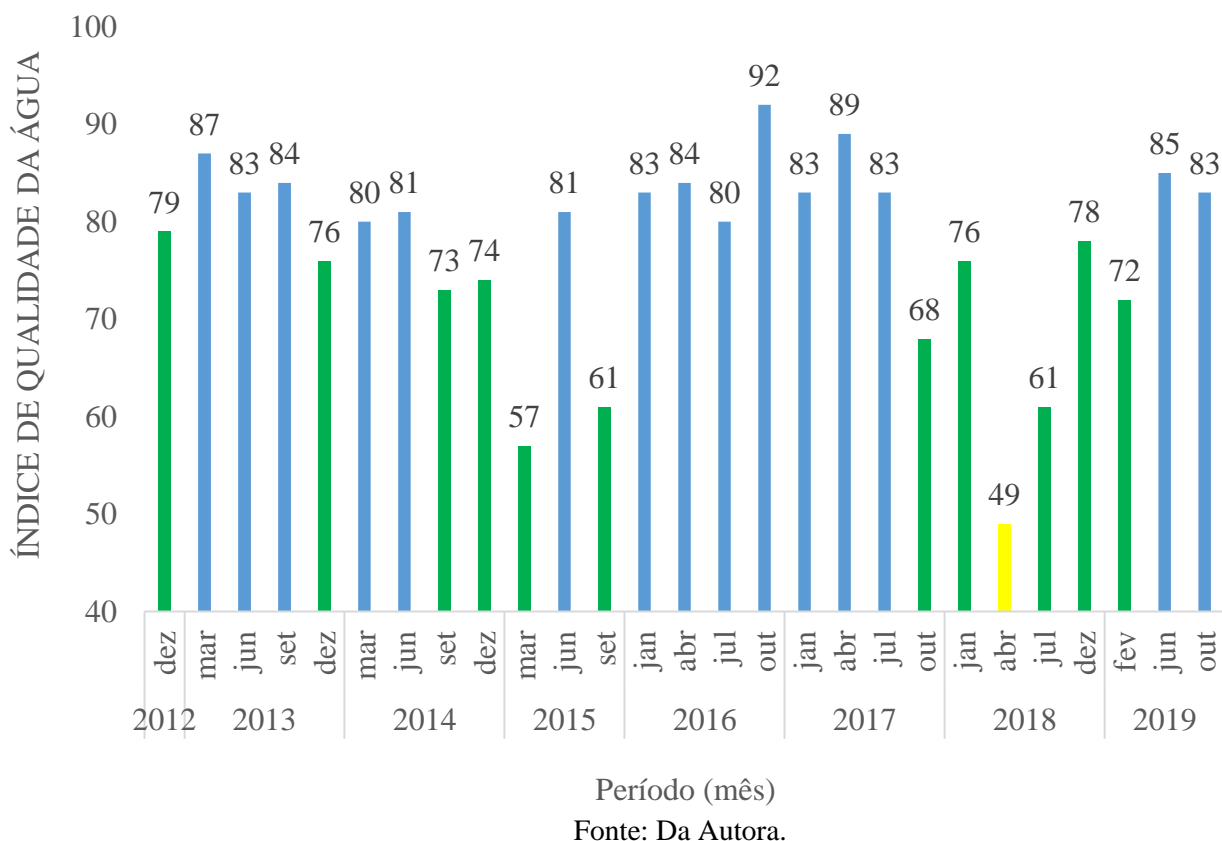
Fonte: Adaptado de (BRITO; ROCHA, 2014)

5.2. Qualidade da água do manancial de captação

A qualidade da água do ponto de captação (BAB4) variou ao longo dos anos analisados no presente estudo. De acordo com a base de dados de 2012 a 2019, a água teve classificação “ótima”, pois em 15 dos 27 meses analisados, seu valor ficou acima de 79, em 11 meses teve classificação

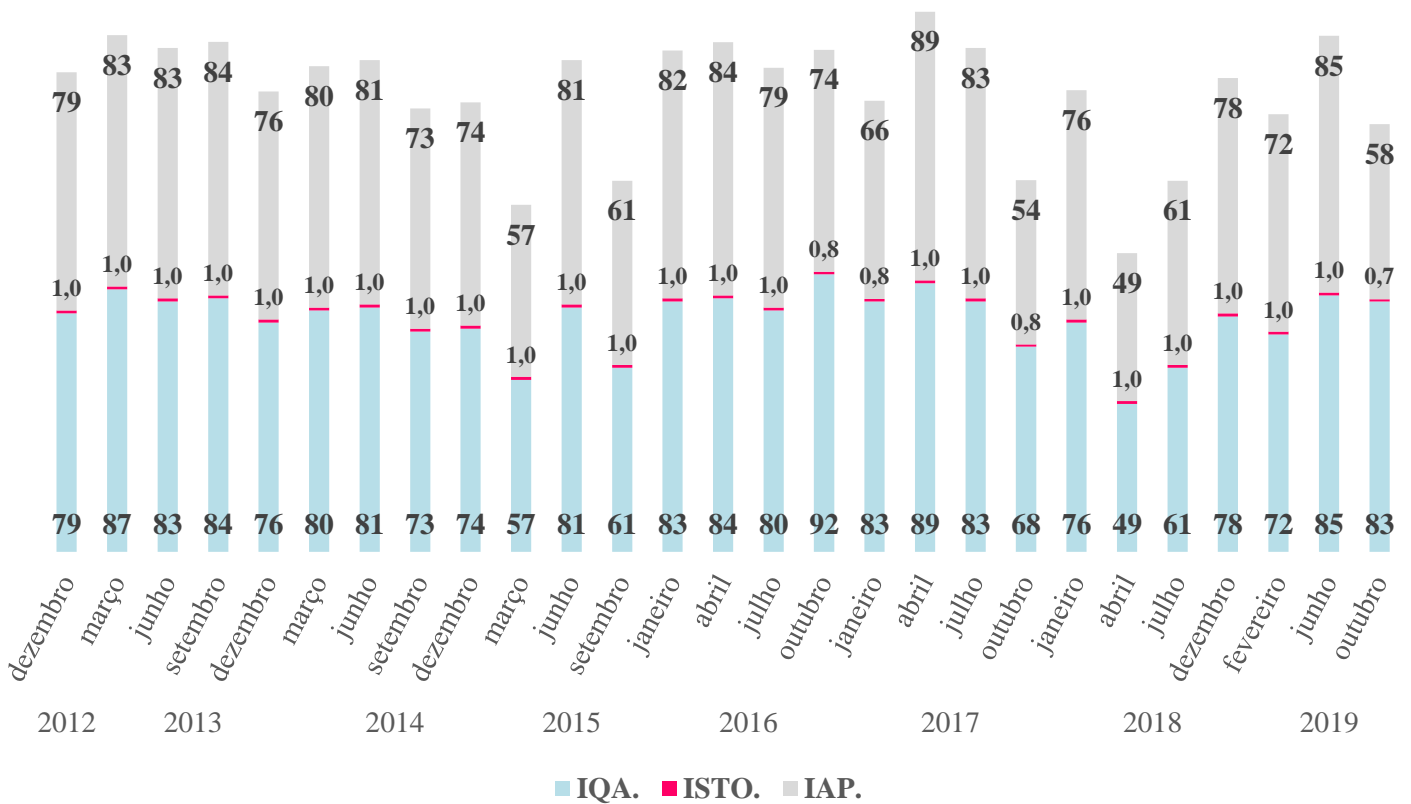
“boa” e em apenas uma única coleta de abril de 2018 apresentou classificação regular, pois as variáveis de Coliformes termotolerantes tiveram resultados muito acima do permitido. (Figura 5)

Figura 5 – Índice de Qualidade da Água do ponto BAB4, localizado a montante da captação.



O IAP, cujo resultado demonstra os resultados com fins de abastecimento de água para a sociedade, uma vez que seus limites são iguais ao padrão da Portaria 2914/11 de potabilidade e CONAMA 357/05, as variáveis analisadas são passíveis de remoção via tratamento convencional. Em abril de 2018, com o menor valor de IQA para o ponto logo a montante da captação, o IAP teve classificação “ruim”. Em 2016, o IAP teve a classificação mais baixa do período devido ao número de células de cianobactérias e a taxa de 0,8 no cálculo.

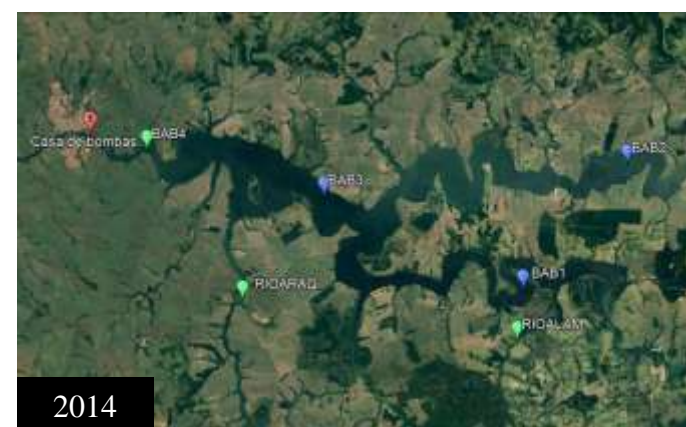
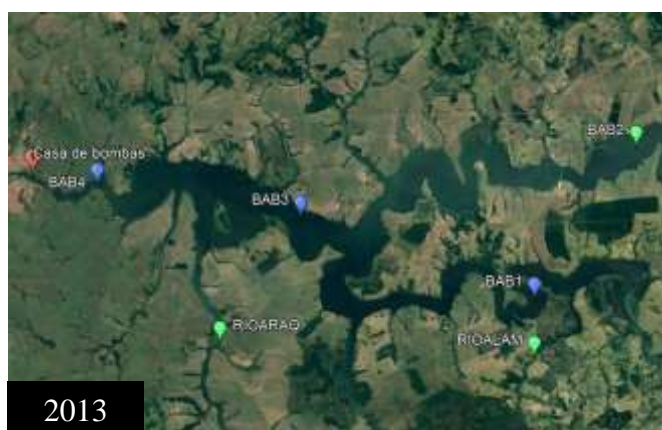
Figura 6. Comparação entre IAP, IQA e ISTO do ponto BAB4.



Fonte: Da Autora.

Durante o período de 2012 a 2019 o IAP teve alterações na sua classificação (Figura 7). De 2012 a 2013, embora o ponto BAB2 tenha sido caracterizado como “bom”, o ponto a montante da captação teve classificação “ótima”. Em 2014, o IAP regrediu uma classificação e a média geral foi “boa”, classificação que se manteve em 2015 para todos os pontos. Em 2016 apenas o BAB4 alterou a classificação para “ótima”. Em 2017 e 2018 apenas o ponto BAB3 teve classificação “ótima”, enquanto os demais estavam como “bom”. Na série histórica, apenas em 2019 teve ponto IAP classificado como “regular”, o BAB1, pois em novembro apresentou valor de manganês e cianobactérias acima do permitido para abastecimento humano. Devido a cianobactérias, em outubro dos anos, os valores do ISTO apresentaram menores valores. Os valores de IQA no período chuvoso são menores que o período de seca, sendo atribuído ao fato de não ocorrer escoamento superficial e arraste de produtos químicos para os cursos d’águas. Em paralelo, o período de entressafra da colheita corresponde ao período chuvoso, os valores de IQA e IAP são menores.

Figura 7. Classificação do IAP entre intervalo de 2012 a 2019.



Fonte: Adaptado de Google Earth, (2016).

Ao longo do período analisado, os pontos BAB1 e BAB2 apresentaram os maiores valores médios de Coliformes Termotolerantes, DBO, pH e Cloretos (Tabela 8). Pode-se associar estes resultados ao fato dos pontos em questão estarem localizados em áreas urbanizadas, nas quais há descarte de efluentes no curso d'água.

Tabela 8. Resultados médios das variáveis analisadas no período entre 2012 e 2019.

Ponto	Coliformes Termotolerantes (mg/L)	DBO (mg/L)	pH (mg/L)	Cloretos (mg/L)
ALA	3.915,00	3,69	7,11	11,02
ARA	4.794,41	4,47	7,28	13,62
BAB1	16.252,44	6,64	7,31	27,42
BAB2	22.155,19	6,26	7,26	25,69
BAB3	5.668,00	6,73	7,28	25,56
BAB4	7.485,81	5,34	7,26	25,68

Fonte: Da Autora.

Em BAB3 é possível observar a redução dos Coliformes Termotolerantes, mas ainda com valor acima do permitido para consumo humano. As menores concentrações de Coliformes Termotolerantes são observadas nos rios tributários da margem esquerda: o rio Alambari e o rio Araquá, únicos pontos que obtiveram resultados satisfatórios para DBO, pois são pontos localizados ao final de áreas de preservação permanente (APP). Esses resultados reforçam a importância do papel de conservação do solo e dos recursos hídricos que estas áreas possuem.

Alguns dos parâmetros monitorados apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação utilizado pelo laboratório de análise, como é o caso da maioria dos metais (Alumínio, Cobre, Cádmio, Chumbo, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco) nos 6 pontos observados. Compostos como o fenol e óleos e graxas também apresentaram concentrações muito baixas, abaixo do limite de quantificação em todos os pontos. Dentre os metais, apenas o Ferro dissolvido apresentou concentração elevada no rio Araquá, e o Manganês em todos os pontos localizados no corpo do reservatório (BAB1, BAB2, BAB3 e BAB4), com valores acima do permitido pela legislação (Tabela 9).

Tabela 9 – Resultados das variáveis analisadas na água em novembro de 2019 em comparação com a Resolução CONAMA 357/05 para águas de Classe 2.

Variáveis	Unidade	Limites CONAMA 357/05	BAB1	BAB2	BAB3	BAB4	ALA	ARA
Clorofila (a)	(µg/L)	30,0000	62	46	46	20	184	<LQ
DBO	(mg/L)	5,0000	5,6	9	5,9	8,1	12	5,9
DQO	(mg/L)	-	7	10	19	31	18	16
Cálcio Total	(mg/L)	-	7,21	4,95	5,56	6,17	6,39	4,42
Dureza Total	(mg/L)	-	35,3	28,5	29,3	33,3	32,4	28,6
Magnésio Total	(mg/L)	-	4,186	3,92	3,737	4,35	3,988	4,258
Alumínio dissolvido	(mg/L)	0,1000	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cobre dissolvido	(mg/L)	0,0090	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ferro dissolvidos	(mg/L)	0,3000	0,033	0,028	0,043	<LQ	0,076	0,77
Bário Total	(mg/L)	0,7000	0,046	0,053	0,06	0,06	0,054	0,116
Cádmio Total	(mg/L)	0,0010	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Chumbo Total	(mg/L)	0,0100	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cromo	(mg/L)	0,0500	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ferro total	(mg/L)	-	0,217	0,114	0,763	0,135	0,288	7,314
Fósforo total	(mg/L)	0,03 lântico; 0,05 inter; 0,1 lótico	1,441	0,375	0,553	0,642	1,08	0,356
Manganês total	(mg/L)	0,1000	0,144	0,179	0,221	0,103	0,093	0,394
Merúrio total	(mg/L)	0,0002	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Níquel total	(mg/L)	0,0250	0,009	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Zinco	(mg/L)	0,1800	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Nitrogênio total	(mg/L)	1,27 lântico; 2,18 lótico	46,7	13,3	14	14,8	45,9	8,46
Alcalinidade total	(mg CaCO ₃ / L)	-	118	81,8	63,9	63	90,2	43,2
Cloreto	(mg/L)	250,0000	67,3	37,1	40,5	40,5	47,9	<LQ

Cor real	(mg/L PtCo)	75,0000	30,4	15,7	18,8	14,6	24,2	45,8
Fenol	(mg/L)	0,0030	LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Nitrato	(mg/L)	10,0000	31,62	9,48	11,64	13,15	34,3	7,15
Nitrito	(mg/L)	1,0000	1,61	1,58	<LQ	<LQ	2,28	<LQ
Amônia	(mg/L)	3,7 para pH <= 7,5 2,0 para 7,5<pH<=8,0 1,0 para 8,0<pH<= 8,5 0,5 para pH>8,5	11,6	0,47	0,54	0,75	7,61	0,27
Óleos e Graxas		Ausentes	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus
Sólidos Totais	(mg/L)	-	360	192	258	172	274	138
Sólidos Dissolvidos Totais	(mg/L)	500,0000	234	171	153	148	179	42
Turbidez	(NTU)	100,0000	8,8	4,9	21	4,6	19	‘37

Fonte: Da Autora.

Concentrações elevadas de nutrientes foram registradas em todos os locais monitorados, principalmente de Nitrogênio e Fósforo totais, com valores acima dos limites máximos permitidos pelo CONAMA 357/2005 para Classe 2 de águas doces (BRASIL, 2005). Igualmente, as concentrações de Nitrato estiveram acima do limite em praticamente todos os locais. Ainda, concentrações elevadas de Nitrito e Amônia foram registradas em BAB1, BAB2 e ALA. Os fertilizantes, herbicidas ou pesticidas possuem em sua composição nitrato, composto que possui grande solubilidade em água e é importante para o desenvolvimento rápido para as plantas. Com áreas extensas agricultáveis, recomenda-se o uso adequado e de acordo com as doses especificadas nas bulas, pois pode contaminar os cursos d’água e aumentar as populações de algas e cianobactérias, ocorrendo a eutrofização da represa. Além disso, no solo, onde não é realizada a prática de calagem, pode ocorrer a acidificação, reduzindo a disponibilidade de nutrientes no solo e favorecer a liberação de metais tóxicos, como o Alumínio. Como resultado, a produtividade da cultura reduz.

Esses resultados são de alertas devido a probabilidade de eutrofização do curso d’água, cujos impactos econômicos podem afetar a sociedade e ao próprio empreendimento produtor de etanol; ao abastecimento, uma vez que a eutrofização pode alterar o sabor, odor, turbidez e

coloração da água, causando rejeição da população pelo consumo; e também pela mortalidade de peixes devido à redução de Oxigênio Dissolvido.

A mesma água captada para uso administrativo dos colaboradores será também utilizada para lavagem de caminhões canavieiros que necessitam de manutenção no pátio de logística. Para este uso menos restritivo, uma vez que não haverá ingestão e apenas contato das partículas aerossóis pelo operador, a qualidade da água captada no ponto BAB4 está adequada.

Para os sólidos em suspensão, embora os valores estejam em concordância com o estabelecido pelo CONAMA, deve ser destacada a elevada concentração registrada em BAB1, chegando a 234,0 mg/L de sólidos totais. O mesmo ocorre com a turbidez, uma vez que os valores são no mínimo dez vezes menor que o valor máximo permitido. Entretanto, diante da variação sazonal e o impacto das chuvas e operações, verifica-se a necessidade de tratamento por filtração e desinfecção, pelo menos.

5.3. Consumo de água no empreendimento

Para garantir a segurança contra princípios de incêndios bem como a visibilidade dos motoristas, para remoção da palha, restos de terra e outros tipos de resíduos que acumulam na carroceria do rodotrem e treminhão canavieiro, os quais realizam manutenção na logística de cana-de-açúcar, é necessária uma vazão de 25,20 m³/dia. Entretanto, quando se considera a manutenção de 50% da frota total, a vazão necessária é de 12,60 m³/dia. Para o abastecimento de água potável para consumo humano são necessários 2,96 m³/ dia.

Atualmente, a unidade industrial possui outorga para captação de 1.500m³/h, sendo totalmente satisfatória as condições de vazão para estes usos. Além disso, para usos menos nobres que o abastecimento humano, sugere-se a realização de estudos para captação de água de chuva.

6. CONCLUSÃO

A área da bacia de contribuição do escoamento da água superficial ao ponto de captação é de 81km², onde 66% desta área é cultivada para monocultura da cana-de-açúcar, 29% em Áreas de Preservação Permanente e apenas 5% de núcleos populacionais, construções rurais e industriais. Este cenário sugere riscos de contaminação por agrotóxicos e fertilizantes utilizados nas culturas.

Considerando os resultados observados nos pontos à montante da estação de captação de água para empreendimento agroindustrial, foi observado a baixa variabilidade sazonal entre estas. A contribuição das fontes de poluição ao longo do rio Tietê diminui ao chegar na primeira Usina Hidroelétrica de Barra Bonita, favorecendo então a recuperação da qualidade da água. Durante o intervalo de 2012 a 2019, o IQA do BAB4 teve classificação “ótima” em 56% dos meses analisados, 42% “bom” e apenas 4% como ruim, cujos meses foram de final de temporada de chuva e início das operações de colheita da cana-de-açúcar.

De acordo com os resultados observados no presente estudo, orienta-se a realização de tratamento de filtração seguida de desinfecção para a água destinada ao consumo humano. A qualidade da água atende aos requisitos necessários para a lavagem de máquinas agrícolas e pisos, entretanto, sugere-se a realização de estudos e projeto para captação da água pluvial. As vazões para abastecimento diário (2,96m³/d) e de lavagem das máquinas (12,60m³/d) são atendidas pela outorga emitida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo para o empreendimento estudado.

REFERÊNCIAS

- APHA – American Publication Health Association, **Standars methods for the examination of water and wastewater**. GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S.; EATON, A. D. (Eds.). USA: Washington D. C., 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18p.
- BRAY, S. C., FERREIRA, E. R., RUAS, D. G. G. **As políticas da agroindústria canavieira e o Proálcool no Brasil**. Unesp Marília Produções. 2000. Disponível em: < <http://doi.org/10.36311/2000.85-86738-14-X.p3-4>> Acesso em: 3 de novembro de 2021.
- BRITO, M. S., rocha, p.c. **Poluição dos córregos pelo escoamento superficial de agrotóxicos usados na plantação da cana-de-açúcar: dados gerais e um estudo de casos nos assentamentos Santa Rita do Pontal e Porto Letícia, pontal do Paranapanema**. 2014
- CORREA, D.F., BEYERB, H.L., FARGIONEC, J.E., HILD, J.D., POSSINGHAMB, H.P.THOMAS-HALLA, S.R., SCHENKA, P.M. **Towards the implementation of sustainable biofuel production systems**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 107 (2019) 250-263. ELSEVIER
- DAI, Y.J., HUANG, H.B., WANG, R.Z. **Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China**. Renewable Energy 28 (2003) 1295–1304
- DIAS, M.O.S., JUNQUEIRA, T.L., CAVALETT, O., CUNHA, M.P., JESUS, C.D.F., ROSSELL, C.E.V., FILHO, R.M., BONOMI, A. **Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash**. Bioresource Technology 103 (2012) 152-161 ELSEVIER
- Hannah Ritchie and Max Roser (2020) - "Energy". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/energy>'
- LANGE, M., CUMMINS, V. **Managing stakeholder perception and engagement for marine energy transitions in a decarbonising world**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 152. ELSEVIER, 2021.
- MACHADO, F. **Brasil, a doce terra – história do setor**. EMBRAPA 2003. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf> Acesso em: 3 de novembro de 2021.
- MEDEIROS, R.S. **Efeito da substituição do bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado por sorgo na fermentação ruminal em bovinos, digestibilidade in vitro em ovinos e desempenho animal em bovino em acabamento**. 1992. 104p. Dissertação (Mestre em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. São Paulo: OFICINA DE TEXTO, 2005.
- MUCARE, W.; POMPEU, S. L. **Barra Bonita - 100 anos de história**. 1. ed. Barra Bonita. 1999.
- PAYNE, H. **Pulling in Both Directions: How States Are Moving Toward Decarbonization While Continuing to Support Fossil Fuels** (April 25, 2020). Columbia Journal of Environmental Law Vol. 45, No. S (2020).
- PORTAL SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em:< <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao> >. Acesso em 31 de agosto de 2021.

PORTARIA GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Publicado em 07/05/2021. ed. 85 s1 p. 127.

Política Nacional de Biocombustíveis nº 13576 de 26 de dezembro de 2017. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Publicado em 27/12/2017.

RITCHIE, H., ROSER, M. **Energy**. 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy>> Acesso em: 16 de outubro de 2021.

ROSILLO-CALLE, F; CORTEZI, L. **Towards Proalcool idea review of the brazilian bioethanol programme**. Biomass and Bioenergy vol. 14 no. 2 pág 115-124. Elsevier,1998.

SILVEIRA, C.; LOPES, G. **O que é indústria 4.0**. Citisystems, nov/2016. Disponível em: Acesso em 19/10/2021.

SIMENSATO, L. A.; BUENO, S. M. **Importância da qualidade da água na indústria de alimentos**. Revista Científica Unilago, 2019.

SOUZA, Z.M., PAIXÃO, A.C.S., PRADO, R.M., CESARIN, L.G., SOUZA, R.S., MONTANARI, R. **Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha-da-raiz em canavial colhido sem queima**. FITOSSANIDADE. Bragantia 67 (2) 2008.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Manual of Sea Water Analysis**. Bulletin No. 25. Fisheries Research Board, Canada. 1960.

TORQUATO Jr, H.; CALLADO, N.H.; PEDROSA, V.A.; PIMENTEL, I.M.C.; MENEZES, A.C.V.; OMENA, S.P.F. **Demanda de água nos processos industriais de açúcar e álcool**. XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS [Trabalhos apresentados]. 2004.

ÚNICA. Histórico do setor. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/historico-do-setor/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Editora: UFMG, 1996. 2ª edição 2005.

ZANETI, R., ETCHEPARE, R., RUBIO, J. **More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation**. Journal of Cleaner Production 37 (2012) 115-124. ELSEVIER.

ZARPELON, W., AZZOLINI, J. C. **Caldeiras de alta pressão: caracterização e avaliação da qualidade do tratamento das águas de abastecimento**. Unoesc & Ciência - ACET, 6(2), 141–154. [VERIFICAR COMO DIGITA: v. 6 n. 2 (2015): Unoesc & Ciência - ACET]

OLIVEIRA, W. E.; GAGLIANONE, S.; YASSUDA, E. R.; PEREIRA, B. E. B.; MARTINS, J. A. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1976. 549 p.