



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

PEDRO HENRIQUE FERREIRA PIRES

CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, CINZA, FULIGEM E
ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES DO SETOR
SUCROENERGÉTICO, COM FOCO NA FORMAÇÃO DE DIOXINAS E FURANOS
E NO PODER CALORÍFICO DA FULIGEM

RIBEIRÃO PRETO - SP

2022

PEDRO HENRIQUE FERREIRA PIRES

**CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, CINZA, FULIGEM E
ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES DO SETOR
SUCROENERGÉTICO, COM FOCO NA FORMAÇÃO DE DIOXINAS E FURANOS
E NO PODER CALORÍFICO DA FULIGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini

RIBEIRÃO PRETO - SP

2022

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

- Universidade de Ribeirão Preto -

PIRES, Pedro Henrique Ferreira, 1996-
P667c Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar, cinza, fuligem e água do sistema de lavagem
de gases do setor sucroenergético, com foco na formação de dioxinas e furanos e no poder
calorífico da fuligem / Pedro Henrique Ferreira Pires. – Ribeirão Preto, 2022.
161 f. : il. color.

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

Dissertação (pós-graduação) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Mestrado em
Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2022.

1. Cana de açúcar. 2. Bagaço da cana. 3. Cana de açúcar – fuligem. II. Título.

CDD 628

PEDRO HENRIQUE FERREIRA PIRES

**“CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, CINZA,
FULIGEM E ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES DO SETOR
SUCROENERGÉTICO, COM FOCO NA FORMAÇÃO DE DIOXINAS E
FURANOS E NO PODER CALORÍFICO DA FULIGEM”**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao programa de Pós-
Graduação em Tecnologia
Ambiental do Centro de Ciências
Exatas, Naturais e Tecnologias da
Universidade de Ribeirão Preto,
para a obtenção do título de Mestre
em Tecnologia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Murilo Daniel
de Mello Innocentini.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 09 de maio de 2022

Resultado: APROVADO

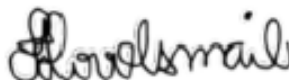
BANCA EXAMINADORA

MURILO DANIEL DE MELLO Assinado de forma digital por
INNOCENTINI:1029021180 MURILO DANIEL DE MELLO
INNOCENTINI:10290211808
8 Dados: 2022.05.14 21:37:52 -03'00'

Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello
Innocentini
Presidente - UNAERP



Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo
UNESC



Profa. Dra. Isadora Alves Lovo Ismail
UNAERP

Ribeirão Preto
2022

AGRADECIMENTOS

À minha família pela força e incentivo, em especial meu pai, Robinson Gimenes Ferreira Pires, minha mãe, Maria da Penha Angelotti Ferreira Pires, minha namorada, Adriana Elmosa Collucci e ao meu amigo Saad Barbar Netto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini, por todo auxílio, dedicação e suporte necessário para a conclusão da pesquisa.

À professora Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato, Laboratório de Recursos Hídricos (LRH) e Isabela Cristina Nóbrega de Souza por todo auxílio, dedicação e suporte.

Ao Francisco Diniz que colaborou com análises importantes para a conclusão da pesquisa.

A todas as usinas parceiras que cederam amostras e informações para a realização da pesquisa.

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol e açúcar e o maior produtor de cana-de-açúcar. A moagem da cana-de-açúcar é responsável pela geração de bagaço, cuja combustão em caldeiras resulta na produção de vapor, responsável pela cogeração de eletricidade e utilização no processo. Apesar dos benefícios econômicos, a queima do bagaço em caldeiras é responsável pela emissão de grandes quantidades de gases de combustão contendo material particulado e pela geração de cinzas e fuligens. Para esta emissão enquadrar-se nos parâmetros regidos por lei é necessária a limpeza dos gases em via úmida (lavador de gases) ou via seca (precipitador eletrostático). Estudos apontam a presença de dioxinas e furanos, compostos extremamente tóxicos ao ser humano e ao meio ambiente, nas cinzas e fuligens provenientes da queima do bagaço. Estes compostos podem ficar adsorvidos nas cinzas e fuligens ou presentes na água utilizada no sistema de lavagem de gases. Este trabalho teve como objetivo a caracterização de cinzas e fuligens, bem como da água dos lavadores para a identificação de compostos precursores clorados, bem como de dioxinas e furanos e a determinação do poder calorífico inferior (PCI) da fuligem. Foram realizadas nove coletas de amostras em oito usinas na região de Ribeirão Preto – SP. As amostras de bagaço, cinzas provenientes do cinzeiro da caldeira e efluente do lavador de gases ou cinza (precipitador eletrostático), foram caracterizadas em busca de cloro e carbono orgânico total (COT) precursores para a formação de dioxinas e furanos. Detectou-se uma alta concentração de cloretos na água de entrada e saída do lavador de gases com valores aproximados de 1000 mg/L a 1300 mg/L. A maior concentração de cloretos na saída indica a transferência de cloretos da fuligem para a água no lavador. Foram realizados ensaios para determinar e quantificar metais presentes nas amostras em busca de catalisadores para a reação de formação de dioxinas e furanos (cobre, ferro, zinco e alumínio) os quais foram encontrados em maior quantidade na torta de fuligem. Em amostras de cinzas e fuligens foi detectada a presença de aproximadamente 1000 mg/kg e 4000 mg/kg de ferro, além de um elevado teor de umidade e COT nas amostras de fuligem de algumas usinas, obteve-se resultados de 86,7% e 54,8%. O valor de COT reflete um elevado valor de PCI na fuligem de 12,91 MJ/kg. Constatou-se a presença de furanos em amostras de fuligem com valores de 1198,05 pg/kg_{fuligem seca} e 10,11 pg/kg_{fuligem seca}. A diferença dos valores obtidos de furanos pode estar ligada à eficiência do sistema de tratamento.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; bagaço; combustão; fuligem; dioxinas; furanos; poder calorífico; composição química.

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of ethanol and sugar and the largest producer of sugarcane. The milling of sugarcane is responsible for the generation of bagasse, whose combustion in boilers results in the production of steam, responsible for the cogeneration of electricity and use in the process. Despite the economic benefits, the burning of bagasse in boilers is responsible for the emission of large amounts of flue gases containing particulate matter and for the generation of ash and soot. For this emission to fall within the parameters governed by law, it is necessary to clean the gases in a wet way (gas scrubber) or dry way (electrostatic precipitator). Studies point to the presence of dioxins and furans, compounds that are extremely toxic to humans and the environment, in the ash and soot from the burning of bagasse. These compounds can be adsorbed on ash and soot or present in the water used in the gas washing system. The objective of this work was the characterization of ash and soot, as well as the washing water for the identification of chlorinated precursor compounds, as well as dioxins and furans and the determination of the lower calorific power (PCI) of soot. Nine samples were collected in eight plants in the region of Ribeirão Preto - SP. Samples of bagasse, ash from the boiler ashtray and effluent from the gas scrubber or ash (electrostatic precipitator) were characterized in search of chlorine and total organic carbon (TOC) precursors for the formation of dioxins and furans. A high concentration of chlorides was detected in the inlet and outlet water of the gas scrubber with approximate values from 1000 mg/L to 1300 mg/L. The higher concentration of chlorides at the outlet indicates the transfer of chlorides from the soot to the water in the washer. Tests were carried out to determine and quantify metals present in the samples in search of catalysts for the reaction of dioxins and furans (copper, iron, zinc and aluminum) which were found in greater amounts in the soot cake. In ash and soot samples, the presence of approximately 1000 mg/kg and 4000 mg/kg of iron was detected, in addition to a high moisture content and TOC in the soot samples from some plants, results of 86.7% and 54.8% were obtained. The TOC value reflects a high PCI value in the soot of 12.91 MJ/kg. The presence of furans was verified in soot samples with values of 1198.05 pg/kg_{dry soot} and 10.11 pg/kg_{dry soot}. The difference in the values obtained for furans may be linked to the efficiency of the treatment system.

Keywords: sugarcane; bagasse; combustion; soot; dioxins; furans; calorific power; chemical composition.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LRH	Laboratório de Recursos Hídricos
BS	Base seca
BU	Base úmida
PCDD	Dibenzo-p-dioxinas policloradas ou dioxinas
PCDF	Dibenzofuranos policlorados ou furanos
PCB	Bifenilas policloradas
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
TCDD	2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina
BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
LD	Dose letal
PVC	Policloreto de vinila
TEF	Fator de toxicidade equivalente
TEQ	Toxicidade equivalente
BG	Bagaço
TF	Torta de fuligem
C	Cinza
Sl	Saída do lavador
El	Entrada do lavador
Cap	Captação
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
Pc	Produto comercial
Qtde	Quantidade
VLC	Água de entrada do lavador de gás
P.A.	Princípio ativo
COT	Carbono orgânico total
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Zn	Zinco
Ni	Níquel

Al	Alumínio
O	Oxigênio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
K	Potássio
Na	Sódio
Mn	Manganês

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo, produção e descarte de uma usina sucroenergética	19
Figura 2. Fluxograma simplificado de uma usina contendo algumas operações unitárias.....	20
Figura 3. Localizações das usinas no Brasil no ano de 2021	21
Figura 4. Localizações das usinas no Estado de São Paulo.....	21
Figura 5. Comparação entre a moagem de São Paulo e o Brasil na safra de 2019/2020	23
Figura 6. Estrutura e quantificação da cana-de-açúcar.....	24
Figura 7. Composição aproximada da cana-de-açúcar.....	24
Figura 8. Açúcar <i>Very High Polarization</i> (VHP), resultado da cristalização do caldo.....	26
Figura 9. Tipos de açúcares e suas diferenças visuais	26
Figura 10. Simplificação do sistema de cogeração energética	28
Figura 11. Balanço de massa para uma usina sucroenergética na safra 2019/2020	29
Figura 12. Caldeira do tipo Grelha <i>Pin Hole</i>	30
Figura 13. Caldeira do tipo BFB (leito fluidizado borbulhante)	31
Figura 14. Bagaço <i>in natura</i> (a) e cinzas com diferentes teores de carbono (b, c e d).....	32
Figura 15. Exemplo de um lavador de gás	33
Figura 16. Esquema de um lavador de gases.....	34
Figura 17. Fluxograma com a caldeira, lavador de gases e a geração de energia	34
Figura 18. Fluxograma do sistema de tratamento de água do lavador de gases.....	35
Figura 19. Projeto do sistema de tratamento de água do lavador de gases em 3D.....	36
Figura 20. Relação entre tamanho da partícula e eficiência de coleta em lavador de gás.....	36
Figura 21. Exemplo de precipitadores eletrostáticos utilizados no tratamento de gases provenientes de uma caldeira a carvão	37
Figura 22. Relação entre eficiência de precipitadores eletrostáticos e diâmetro da partícula ..	37
Figura 23. Funcionamento de um precipitador eletrostático	38
Figura 24. Exemplos de moléculas de bifelinas policloradas, dioxinas e furanos	39

Figura 25. Principais fontes de contaminação por compostos clorados em humanos.....	39
Figura 26. Relação entre produção e investimento em defensivos agrícolas	42
Figura 27. Classificação dos agrotóxicos	43
Figura 28. Zonas de reações de combustão	47
Figura 29. Equação química da <i>Deacon Reaction</i>	48
Figura 30. Rotas para a formação de dioxinas e furanos.....	49
Figura 31. Diferentes metais catalisadores e o impacto na formação de dioxinas	50
Figura 32. Fluxograma com metodologia de execução do estudo	56
Figura 33. Fluxograma simplificado de processos de uma usina e pontos de coleta de amostras em plantas com sistema de lavador de gases	57
Figura 34. Fluxograma simplificado de processos de uma usina e pontos de coleta de amostras em plantas com sistema de precipitador eletrostático	58
Figura 35. Ponto 1 de coleta de bagaço	59
Figura 36. Ponto 2 de coleta de cinza na caldeira	59
Figura 37. Ponto 3 de coleta da torta de fuligem no filtro a vácuo	60
Figura 38. Ponto 5 de coleta de água na saída do lavador de gases	60
Figura 39. Amostras sólidas de bagaço, torta de fuligem e cinzas coletadas em uma das usinas	61
Figura 40. Amostras líquidas do sistema de lavagem de gases coletadas em uma das usinas	61
Figura 41. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) <i>in natura</i>	67
Figura 42. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) seca.....	67
Figura 43. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) calcinada.	68
Figura 44. Variação de cloretos nas amostras de água da entrada e saída do lavador de gases e captação	75
Figura 45. Variação de cloretos nas amostras de bagaço, cinza e torta de fuligem	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol na safra 2019/2020	22
Tabela 2. Composição elementar da palha e do bagaço	27
Tabela 3. Composição química típica das cinzas coletadas em diferentes usinas.....	32
Tabela 4. Toxicidade de algumas substâncias	41
Tabela 5. Princípios ativos de defensivos agrícolas utilizados nas plantações de cana-de-açúcar	43
Tabela 6. Informações das bulas dos defensivos agrícolas utilizados nos canaviais	44
Tabela 7. Quantidade de cloro aplicado na cana-de-açúcar e estimativa da quantidade no bagaço	45
Tabela 8. Emissões de compostos clorados e a fonte de cloro	46
Tabela 9. Relação entre a formação de PCDD e PCDF e a temperatura.....	47
Tabela 10. Valores de Toxicidade Equivalente Internacional (I-TEQs) de dioxinas.....	51
Tabela 11. Valores de Toxicidade Equivalente Internacional (I-TEQs) de furanos.	51
Tabela 12. Relação entre umidade, poder calorífico superior e inferior em amostras de bagaço de cana-de-açúcar	53
Tabela 13. Valores de poder calorífico superior e inferior em amostras de bagaço de cana-de-açúcar.....	54
Tabela 14. Amostras coletadas nas usinas.....	62
Tabela 15. Metodologias aplicadas nas caracterizações realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos (LRH) da UNAERP	63
Tabela 16. Relação entre amostra e caracterização	64
Tabela 17. Data de coleta de amostras e informações nas usinas.....	66
Tabela 18. Resultados das análises realizadas no bagaço no Laboratório de Recursos Hídricos (LRH).....	68
Tabela 19. Resultados das análises realizadas na cinza no LRH.....	69
Tabela 20. Resultados das análises realizadas na torta de fuligem no LRH	70

Tabela 21. Resultados das análises realizadas na água de entrada do lavador de gases no LRH	72
Tabela 22. Resultados das análises realizadas na água de saída do lavador de gases no LRH	73
Tabela 23. Resultados das análises realizadas na água de captação no LRH.....	74
Tabela 24. Resultados da caracterização de furanos na amostra de fuligem da usina 1	76
Tabela 25. Resultados da caracterização de furanos na amostra de fuligem da usina 2	77
Tabela 26. Vazão e taxa de formação de furanos na fuligem seca das usinas 1 e 2.....	77
Tabela 27. Composição elementar da fuligem (CHONS) das usinas 1, 2 e 6	78
Tabela 28. Resultados obtidos com auxílio do espectrômetro de fluorescência	79
Tabela 29. Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) nas amostras de fuligens das usinas 1, 2 e 6	80
Tabela 30. Relação entre PCI do bagaço e da fuligem.....	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 SETOR SUCROENERGÉTICO	19
3.2 DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO NO PAÍS	20
3.3 CANA-DE-AÇÚCAR	23
3.3.1 Produtos e Subprodutos	25
3.4 COMBUSTÃO DE BAGAÇO	29
3.4.1 Lavador de Gases e Sistema de Limpeza	33
3.4.2 Precipitador Eletrostático	37
3.5 DIOXINAS E FURANOS.....	38
3.5.1 Impactos na Saúde Humana	39
3.5.2 Defensivos Agrícolas e o Cloro.....	41
3.5.3 Formação de dioxinas e furanos	45
3.5.3.1 <i>Synthesis de Novo</i> , precursores e <i>Deacon Reaction</i>	47
3.5.4 Toxicidade Equivalente	50
3.6 PODER CALORÍFICO	51
3.7 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	54
4 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE USINAS	56
4.2 DEFINIÇÃO DE PONTOS DE COLETA E REALIZAÇÃO DE COLETAS DE AMOSTRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, CINZA, FULIGEM, ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES E CAPTAÇÃO.....	57
4.3 PREPARO DE AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES, DO BAGAÇO, CINZA E DA TORTA DE FULIGEM.....	62

4.3.1 Preparação das Amostras.....	62
4.3.2 Caracterização das Amostras.....	63
4.4 BALANÇO DE MASSA.....	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO	68
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA CINZA.....	69
5.3 CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE FULIGEM.....	70
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ENTRADA DO LAVADOR DE GASES.....	71
5.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE SAÍDA DO LAVADOR DE GASES.....	72
5.6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CAPTAÇÃO.....	73
5.7 COMPARAÇÃO DOS CLORETOS	74
5.8 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE DIOXINAS E FURANOS.....	76
5.9 ANÁLISE ELEMENTAR E PODER CALORÍFICO DA FULIGEM.....	78
6 CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICES	90
APÊNDICE A – Usina 1	91
APÊNDICE B – Usina 2	97
APÊNDICE C – Usina 3	103
APÊNDICE D – Usina 4	109
APÊNDICE E – Usina 5.....	115
APÊNDICE F – Usina 6.....	121
APÊNDICE G – Usina 7	127
APÊNDICE H – Usina 8	133
APÊNDICE I – Usina 9.....	139
APÊNDICE J – Valor elementar de oxigênio das amostras de fuligem das usinas 1, 2 e 6 ..	145

ANEXOS.....	146
ANEXO A – Análise de dioxinas e furanos	147
ANEXO B – Análise elementar.....	160
ANEXO C – espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva.....	161

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de etanol e açúcar no mundo e, segundo Nachiluk (2021), o maior produtor de cana-de-açúcar (matéria-prima). O país pode ser considerado como referência em pesquisas e tecnologias no setor sucroenergético mas, apesar das usinas serem autossuficientes, as usinas ainda enfrentam diversos problemas ambientais.

A produção brasileira está concentrada cerca de 90% na região Centro-Sul, grande parte no Estado de São Paulo. Devido a estudos e tecnologias empregadas pode-se obter valores elevados de moagem e produção. Na região Centro-Sul moeu-se na safra de 2018/2019 cerca de $5,73.10^5$ mil toneladas de cana-de-açúcar e produziu-se $2,65.10^4$ mil toneladas de açúcar e $3,09.10^4$ mil m³ de etanol (OBSERVATÓRIO DA CANA, 2021).

A matéria-prima utilizada no processo industrial das usinas é a cana-de-açúcar juntamente com os insumos necessários. A composição da cana-de-açúcar pode variar de acordo com vários aspectos, como clima, solo e idade (tempo de colheita). A composição, em média, é de 74,5% de água, 25% de matéria orgânica e 0,5% de minerais (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Uma usina possui três grandes produtos: açúcar, etanol (hidratado e anidro) e energia elétrica. O processo inicia-se na moenda, onde extrai-se o caldo da cana-de-açúcar, sendo que o caldo com maior concentração em açúcar vai para a produção de açúcar e encaminha-se o caldo com menor concentração de açúcar para a produção de etanol.

Queima-se o bagaço resultante da moagem na caldeira, gerando-se assim uma grande quantidade de vapor responsável pelo acionamento das turbinas as quais geram energia elétrica, tornando-se a usina autossustentável energeticamente.

Apesar de toda sustentabilidade e cogeração de energia, este setor apresenta alguns problemas, como a geração de muita cinza (queima completa) e fuligem (queima incompleta, rica em material orgânico) na caldeira na queima do bagaço. Obtém-se em média cerca de 24 g de cinzas para cada quilograma de bagaço seco (2,4% em massa). A composição das cinzas varia de acordo com as condições de operações do processo, como temperatura, tempo de incineração e a composição da biomassa. Em geral as cinzas compõem-se de material orgânico, silicatos, dióxidos de silicato e óxidos de vários metais (CACURO *et al.*, 2015).

Com base em estudos sobre a queima de biomassa, pode-se constatar a presença de substâncias da família das dioxinas, furanos e organoclorados em cinzas volantes (CHOONG KWET YIVE, *et al.*, 2008). Estas substâncias tóxicas e cancerígenas, são provenientes do cloro

como precursor. Diversos processos industriais podem gerar estas toxinas, como processos de combustão (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999).

Dentro deste contexto, este trabalho caracterizou o bagaço, as cinzas e fuligens coletadas no cinzeiro e no filtro a vácuo, bem como a água que circula no lavador de gás em usinas na região de Ribeirão Preto – SP, região com maior concentração de usinas do setor sucroenergético da Terra, verificando-se uma possível existência de dioxinas e furanos, compostos não monitorados atualmente, possivelmente devido à utilização de defensivos agrícolas contendo como composição o cloro, elemento responsável pela geração de compostos clorados formados através da *Synthesis de Novo* e reações que ocorrem na presença de agentes precursores (cloro) e metais catalisadores. Pretende-se, também, avaliar o poder calorífico residual da fuligem para uma possível recuperação energética.

2 OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em geral e específicos, onde os objetivos específicos são metas para obter-se o objetivo geral.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar o potencial de geração de dioxinas e furanos (compostos organoclorados) durante o processo de queima do bagaço nas caldeiras e de tratamento dos gases de combustão nos sistemas de limpeza compostos por lavadores de gases ou precipitadores eletrostáticos nas usinas do setor sucroenergético, bem como avaliar o potencial energético da fuligem provinda da queima incompleta do bagaço da cana-de-açúcar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral fez-se necessário:

- a) Adoção de critérios para definição das usinas parceiras;
- b) Definição de pontos de coletas e realização de coletas de amostras de bagaço de cana-de-açúcar, cinza, fuligem, água do sistema de lavador de gases e captação;
- c) Preparação e caracterização de amostras coletadas através de análises físico-químicas;
- d) Realização do balanço de massa na caldeira e no sistema de coleta para determinação do potencial de formação de dioxinas e furanos;
- e) Determinação e avaliação do poder calorífico residual da fuligem retida nos lavadores para possível recuperação energética.

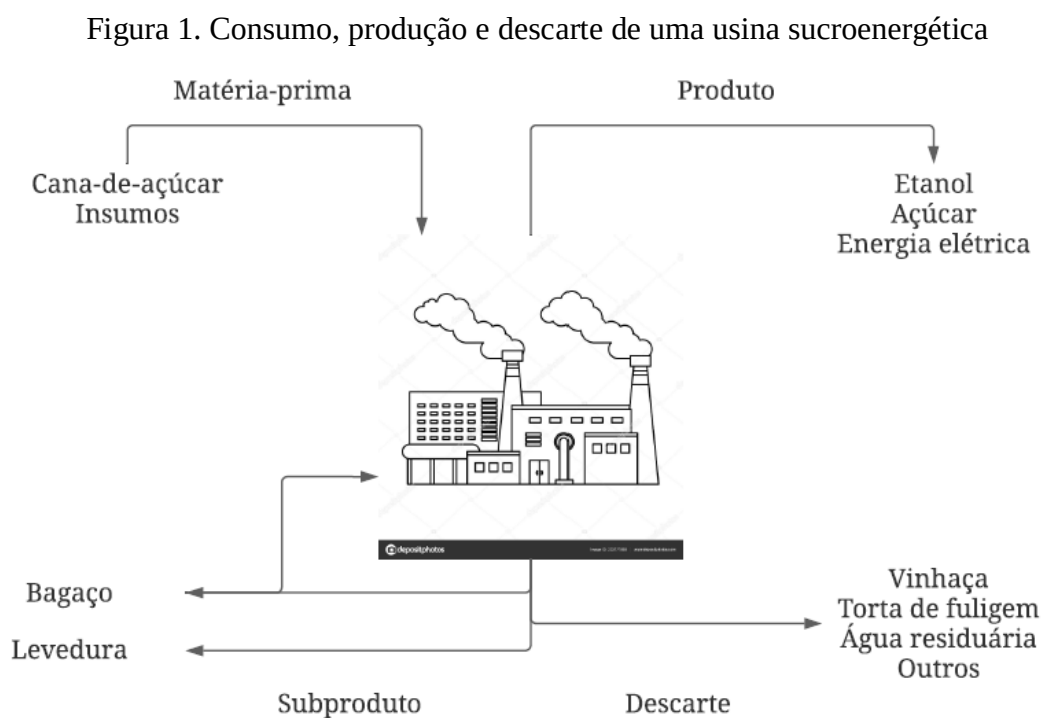
3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico é apresentado a revisão da literatura necessária sobre o tema.

3.1 SETOR SUCROENERGÉTICO

O setor sucroenergético conseguiu conciliar desenvolvimento com sustentabilidade, seja na própria usina, com a cogeração de energia, como no uso de etanol, combustível renovável e limpo, em veículos. Alguns subprodutos retornam ao solo, como exemplo vinhaça, cinza e a torta de fuligem, que são ricos em nutrientes, terminando-se o ciclo com os nutrientes de volta ao campo para o crescimento da cana-de-açúcar. O setor também reduz a pobreza e possui um grande impacto no desenvolvimento da região na qual a indústria foi instalada (NASTARI, 2012).

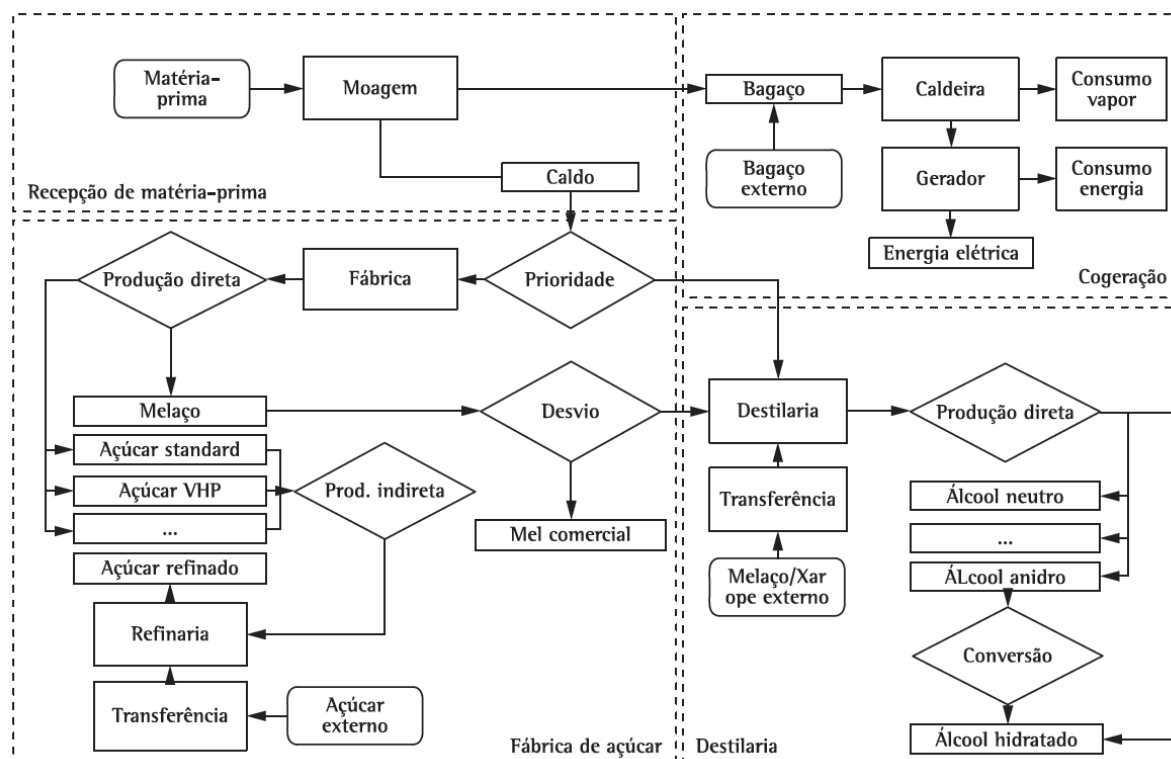
A Figura 1 contém um esquema simplificado que demonstra a matéria-prima, produtos, subprodutos e descartes que são utilizados e gerados por uma usina.



Fonte: Autor, 2022.

Uma usina possui diversos equipamentos e muitas operações unitárias são aplicadas para que seja possível transformar a cana-de-açúcar em açúcar, álcool e energia elétrica. A Figura 2 mostra o fluxograma do processo de uma usina resumidamente.

Figura 2. Fluxograma simplificado de uma usina contendo algumas operações unitárias



Fonte: (DE PAIVA; MORABITO, 2013).

3.2 DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO NO PAÍS

O Brasil possui extensas regiões favoráveis (clima e solo) e agricultáveis para o plantio da matéria-prima, a mesma não compete com cadeias alimentares, como nos Estados Unidos, que utiliza-se milho, e na Europa o trigo. Comparada com as outras matérias-primas, a cana-de-açúcar possui uma maior produtividade, com uma menor área de plantio, a queima do bagaço consegue suprir a necessidade energética da usina e pode-se ocorrer de haver excedentes. Porém, também existem alguns pontos negativos, como fatores políticos, elevado índice de endividamento de algumas usinas e poucas experiências com cana-de-açúcar transgênica se comparada com os grãos (YABE *et al.*, 2017).

Com as Figuras 3 e 4 pode-se perceber que a produção está concentrada na região Centro-Sul, estado de São Paulo. A Tabela 1 apresenta a moagem, a produção de açúcar e etanol na safra de 2019/2020 no território brasileiro.

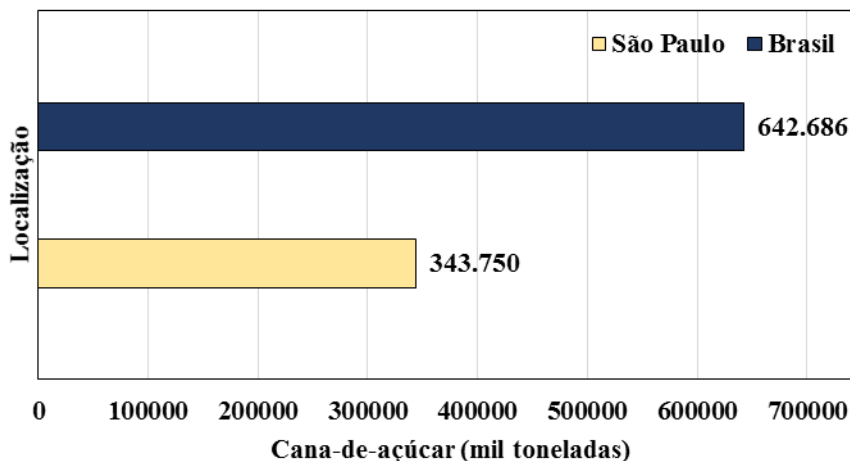
Tabela 1. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol na safra 2019/2020

	Estados	Cana-de-açúcar	Açúcar	Etanol (mil m ³)		
		(mil toneladas)	(mil toneladas)	Anidro	Hidratado	Total
Região Centro-Sul	Espírito Santo	2.884	138	111	8	119
	Goiás	75.268	1.782	1.044	4.488	5.533
	Mato Grosso	17.658	405	725	1.721	2.445
	Mato Grosso do Sul	47.515	731	704	2.628	3.332
	Minas Gerais	68.195	3.178	1.074	2.493	3.567
	Paraná	34.214	2.009	580	1.079	1.659
	Rio de Janeiro	846	4	0	57	57
	Rio Grande do Sul	31	0	0	2	2
	Santa Catarina	0	0	0	0	0
	São Paulo	343.750	18.515	5.708	10.836	16.545
Região Norte-Nordeste	Acre	0	0	0	0	0
	Alagoas	16.972	1.332	209	299	509
	Amapá	0	0	0	0	0
	Amazonas	290	12	0	9	9
	Bahia	4.105	119	83	166	249
	Ceará	0	0	0	0	0
	Maranhão	2.339	23	142	26	168
	Pará	1.195	56	43	16	58
	Paraíba	6.599	138	205	237	442
	Pernambuco	12.520	860	113	338	452
	Piauí	1.249	84	17	30	46
	Rio Grande do Norte	2.781	137	23	101	124
	Rondônia	86	0	0	5	5
	Roraima	0	0	0	0	0
	Sergipe	1.947	82	22	89	111
	Tocantins	2.241	0	82	85	166
Região Centro-Sul		590.361	26.761	9.946	23.313	33.258
Região Norte-Nordeste		52.325	2.845	939	1.400	2.339
Brasil		642.686	29.606	10.884	24.713	35.597

Fonte: (OBSERVATÓRIO DA CANA, 2021).

Analisando-se a Tabela 1, pode-se perceber que aproximadamente 50% da produção brasileira encontra-se no estado de São Paulo, como mostra a Figura 5, e 90% encontra-se na região Centro-Sul.

Figura 5. Comparação entre a moagem de São Paulo e o Brasil na safra de 2019/2020



Fonte: Autor, 2022.

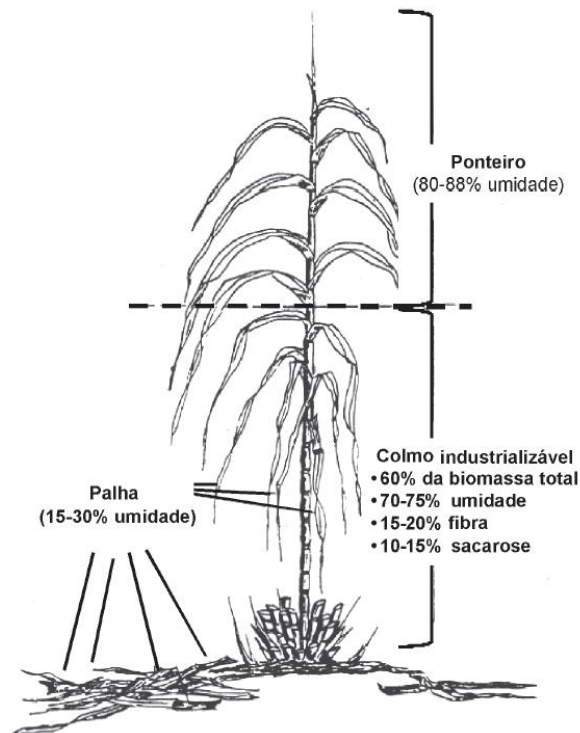
3.3 CANA-DE-AÇÚCAR

Alguns aspectos foram considerados para a adoção da cana-de-açúcar como matéria-prima, entre eles estão a alta produtividade, clima e solo favorável, grande quantidade de sacarose, glicose e frutose no caldo, fermentação prática para conversão em etanol se comparado ao milho e a mandioca, os quais é necessário realizar uma hidrólise antes da fermentação, aumentando-se assim os custos. A moagem da cana-de-açúcar gera o bagaço, o qual é utilizado na caldeira para a geração de energia (RIBEIRO *et al.*, 1999).

A utilização da cana-de-açúcar como matéria-prima nas usinas apresenta uma dificuldade, como uma certa proximidade entre o canavial e a indústria pois, após a colheita é necessário moer a cana-de-açúcar em até 36 horas, limitando-se, portanto, o período de armazenagem (YABE *et al.*, 2017).

A Figura 6 apresenta a estrutura da cana-de-açúcar (ponteiro, colmo e palha) e quantifica os componentes presentes.

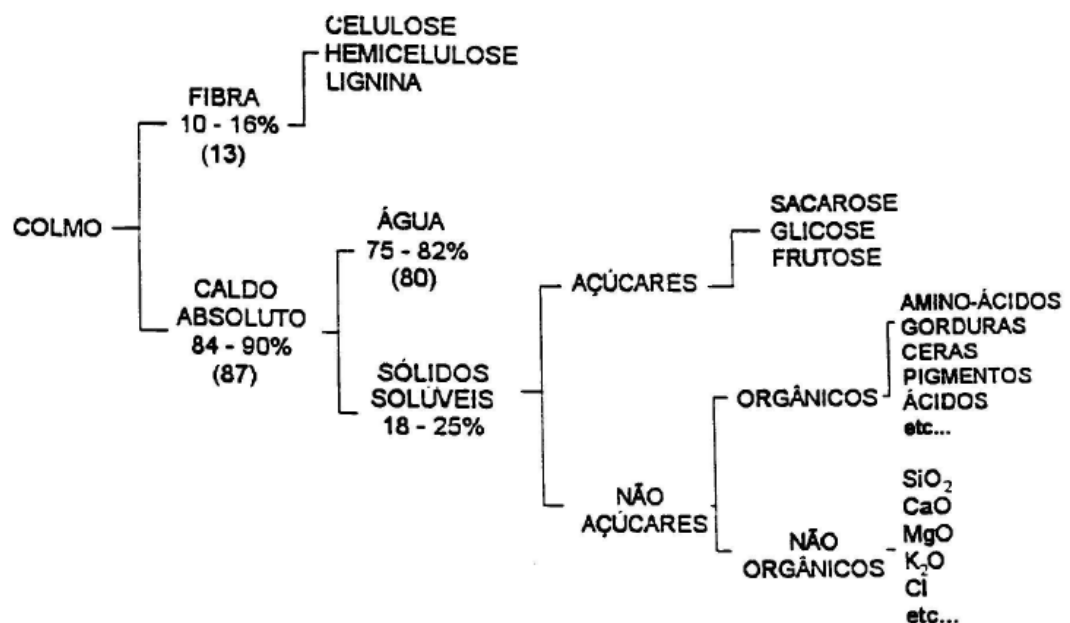
Figura 6. Estrutura e quantificação da cana-de-açúcar



Fonte: (MATSUOKA *et al.*, 2012).

Diversos fatores podem influenciar na composição da cana-de-açúcar, porém a Figura 7 mostra uma composição aproximada da cana-de-açúcar.

Figura 7. Composição aproximada da cana-de-açúcar



Fonte: (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Segundo RIBEIRO *et al.*, (1999), alguns fatores interferem na qualidade da cana-de-açúcar, dentre eles:

- **Maturação** – O teor de sacarose influencia diretamente no rendimento. O que define o período da safra é o tempo em que a cana-de-açúcar está em condições adequadas para colheita. A cana-de-açúcar apresenta dois períodos, o primeiro é o de grande crescimento vegetativo com uma branda produção de sacarose, o segundo ocorre um grande acúmulo de sacarose devido à escassez de fatores naturais necessários para o crescimento vegetativo, como clima e solo. Este fator pode ser controlado para obter-se a maturação desejada.
- **Impurezas** – A presença de impurezas afeta a qualidade da cana-de-açúcar, causa desgaste nos equipamentos, atrapalha no processamento e no produto final. Quando a cana-de-açúcar está inteira, lava-se para reduzir a quantidade de impurezas, porém perde-se até 2% de sacarose. Quando a mesma é picada não se realiza a lavagem, devido a área exposta ser maior.
- **Deterioração** – Com o passar do tempo, a cana-de-açúcar perde uma certa quantidade de água, consequentemente um aumento na concentração das fibras, dificultando-se a moagem e a retirada dos açúcares da cana-de-açúcar. Os próprios microrganismos presentes na cana-de-açúcar utilizam o açúcar presente para suas atividades microbianas.

3.3.1 Produtos e Subprodutos

Uma usina possui diversos produtos e subprodutos, e com o avanço tecnológico podem ocorrer mudanças e melhorias nas plantas industriais. Uma destas consequências é a mudança do nome de usina sucroalcooleira para sucroenergética devido à cogeração energética.

Os principais produtos são açúcar, etanol e energia elétrica. No entanto, para transformar a cana-de-açúcar nestes produtos ocorre a geração de alguns subprodutos como bagaço, cinza, torta de fuligem e vinhaça.

O caldo rico em sacarose é direcionado para a fabricação do açúcar, o açúcar produzido em maior quantidade nas usinas brasileiras é o *Very High Polarization* (VHP), que contém uma camada de mel, gerando-se assim a cor amarelada, como mostra a Figura 8. Este açúcar tem como destino a exportação para ser utilizado industrialmente ou para ser refinado para posterior consumo humano.

Figura 8. Açúcar *Very High Polarization* (VHP), resultado da cristalização do caldo



Fonte:(USANGELO, [s.d.]).

O açúcar VHP é utilizado como matéria-prima para produção de diversos tipos de açúcares para consumo, pode ser considerado como açúcar bruto, geralmente vendido a granel (GRUPO JB, 2020). A Figura 9 apresenta algumas variações de açúcares disponíveis comercialmente.

Figura 9. Tipos de açúcares e suas diferenças visuais



Fonte: (PINHEIRO, 2021).

Analisando-se a Figura 9, o açúcar é classificado quanto a sua granulometria e cor, devido às diferenças industriais no refino.

O caldo com menos teor de açúcares é direcionado para a destilaria, o qual passa por diversas operações, como fermentação nas dornas e destilação para obtenção do etanol anidro (sem água), o qual é adicionado na gasolina, e o etanol hidratado, utilizado diretamente nos veículos. Nas dornas ocorre-se também a formação de vinhaça.

A vinhaça é um dos subprodutos da fermentação dos açúcares, para cada litro de etanol produzido gera-se de 10 a 18 L de vinhaça. A mesma é rica em matéria orgânica, como exemplo o potássio, conseqüentemente possui uma alta demanda bioquímica de oxigênio e um alto poder poluente, porém um ótimo fertilizante. A utilização da vinhaça na fertirrigação reduz diversos custos e uso de água e fertilizantes (DA SILVA *et al.*, 2007).

O bagaço da cana-de-açúcar é proveniente das moendas e atualmente é utilizado como combustível nas caldeiras (junto com a palha) para geração de vapor e substitui combustíveis antigos como lenha. A composição da fibra do bagaço é basicamente 40% celulose, 35% hemicelulose e 15% lignina (responsável pelo poder calorífico) (PESQUISA FAPESP, 1998).

Hassuani *et al.* (2005) apresentam a composição elementar (Tabela 2) média da palha seca e do bagaço de cana-de-açúcar; para isso, foram utilizadas quatro variedades de cana-de-açúcar, diferentes fases de cultura e locais com diferentes condições de clima e solo.

Tabela 2. Composição elementar da palha e do bagaço

Composição*	Palha seca	Bagaço	Média	Desvio Padrão
Carbono	46,2	44,6	45,40	1,13
Hidrogênio	6,2	5,8	6,00	0,28
Nitrogênio	0,5	0,6	0,55	0,07
Oxigênio	43,0	44,5	43,75	1,06
Enxofre	0,1	0,1	0,10	0,00
Cloro	0,1	0,02	0,06	0,06

*Valores na base seca, % em massa.

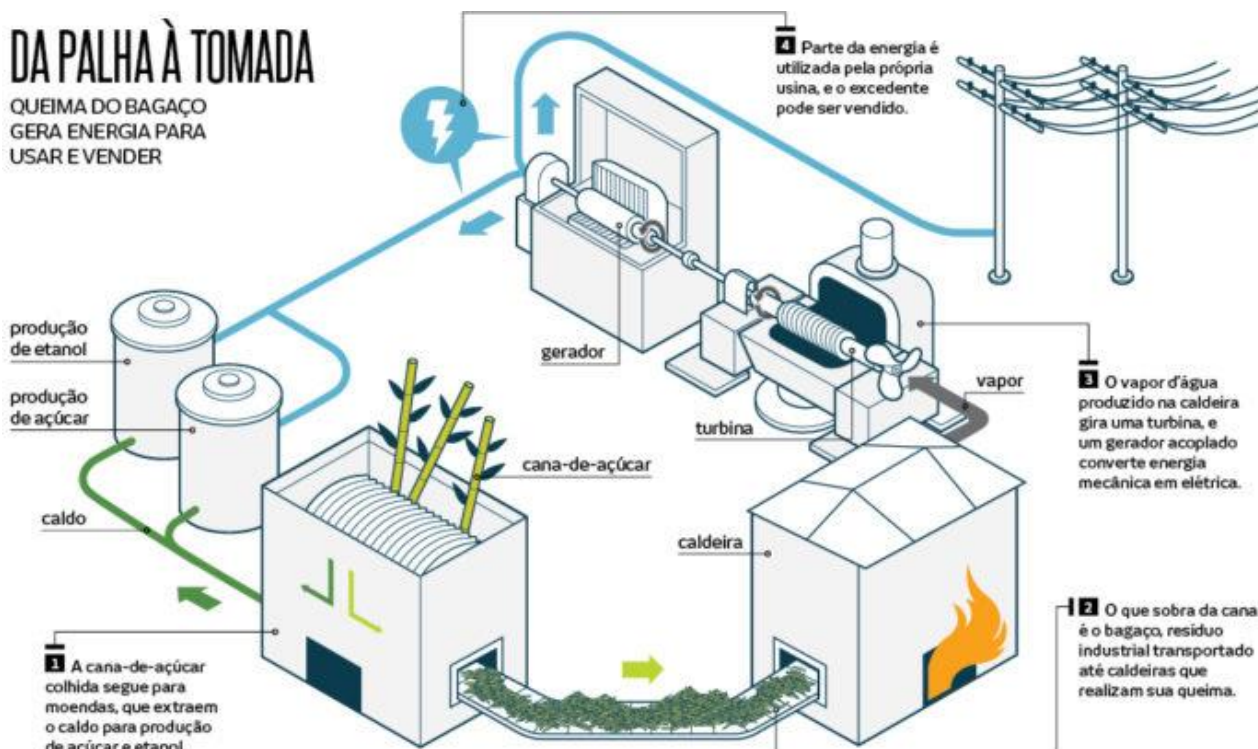
Fonte: Adaptado de (HASSUANI *et al.*, 2005).

Através da Tabela 2 nota-se elevados teores de carbono e oxigênio, porém constata-se também a presença de uma pequena quantidade de cloro, encontrado em maior quantidade na palha seca e em menor quantidade no bagaço.

O vapor de água gerado nas caldeiras (alta pressão e saturação) alimenta as turbinas acopladas a geradores (Figura 10) que são responsáveis pela geração de energia elétrica (energia limpa e renovável) utilizada por toda planta industrial. Após passar pelas turbinas, o vapor está

com uma pressão menor e é utilizado nos equipamentos industriais, como exemplo nos evaporadores para concentrar o caldo (LORENSETTI, 2021).

Figura 10. Simplificação do sistema de cogeração energética

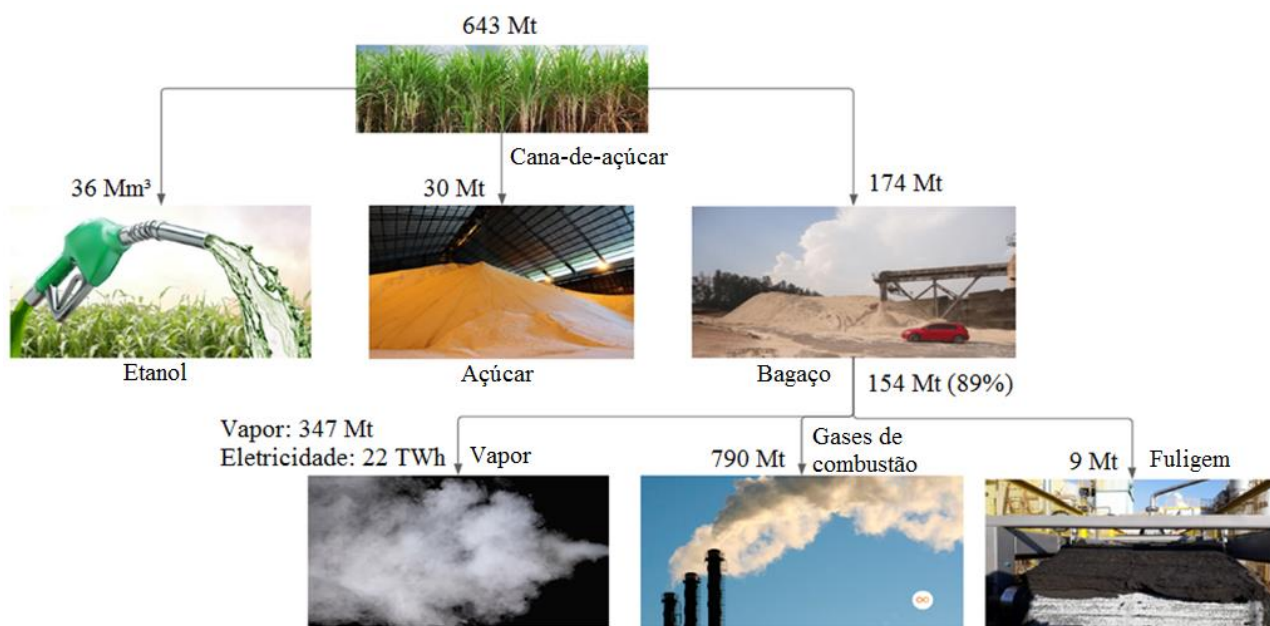


Fonte: (JOI, 2020).

Com a queima do bagaço e da palha na caldeira formam-se as cinzas e fuligens. As cinzas são divididas em dois grupos: cinzas volantes (*fly ash*) e cinzas pesadas (*bottom ash*). A composição do bagaço e, conseqüentemente, das cinzas, pode variar de acordo com o tipo de cana-de-açúcar, o manuseio no campo, fatores naturais, tipo e operação da caldeira, mas apresentam um baixo teor de carbono (OLIVEIRA, 2014a)

A partir de dados apresentados na Tabela 1 da produção da safra 2019/2020 e aplicando-se uma estequiometria, pode-se obter os valores da geração de bagaço, vapor, gases de combustão, cinzas, fuligens e valores da produção de açúcar, etanol e energia elétrica, como mostra a Figura 11.

Figura 11. Balanço de massa para uma usina sucroenergética na safra 2019/2020

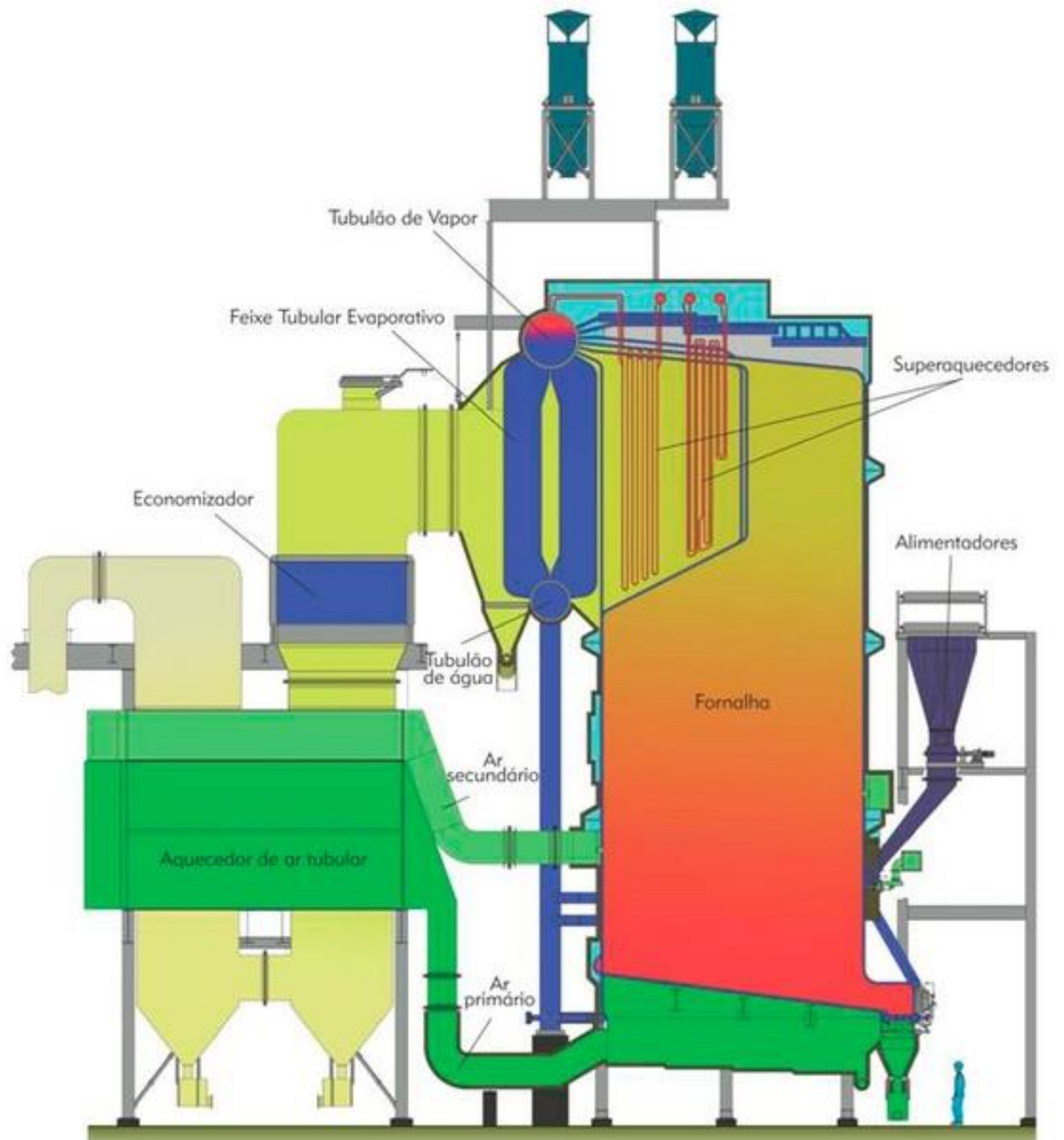


Fonte: Adaptado de (INNOCENTINI *et al.*, 2021).

Nota-se, pela Figura 11, que aproximadamente 27% da cana-de-açúcar moída transforma-se em bagaço e após a queima do mesmo obtém-se 3% de cinzas e fuligens.

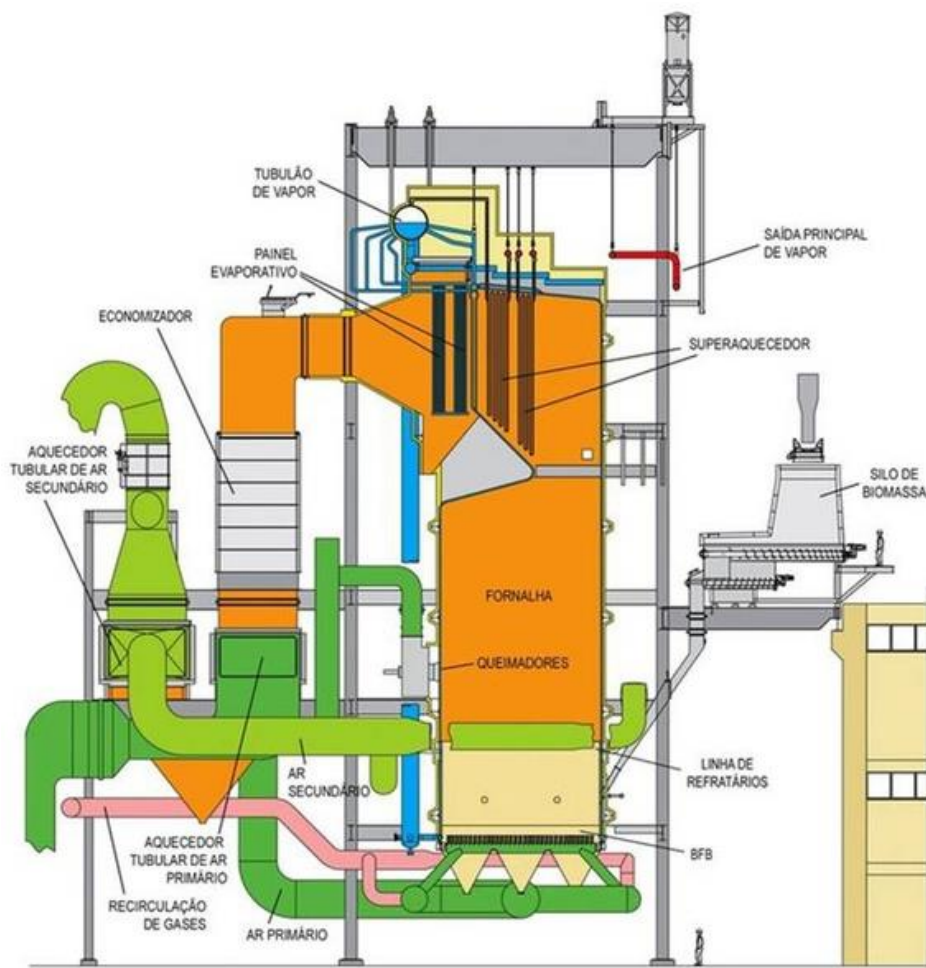
3.4 COMBUSTÃO DE BAGAÇO

Pode-se dizer que a caldeira é o coração de uma usina sucroenergética, pois gera energia elétrica e vapor para a operação a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar. Atualmente as caldeiras mais utilizadas são do tipo grelha (Figura 12) porém, neste modelo, parte do bagaço não é queimado (de 5% a 10%), elevando-se assim o teor de carbono das cinzas. Com o avanço da engenharia foi desenvolvida a caldeira do tipo BFB (leito fluidizado borbulhante), como mostra a Figura 13. Este modelo geralmente é a melhor opção, pois, devido à turbulência e alta temperatura do leito (areia), a quantidade de bagaço não queimado é inferior que 0,5% (RPA NEWS, 2020).

Figura 12. Caldeira do tipo Grelha *Pin Hole*

Fonte:(HPB, [s.d.]).

Figura 13. Caldeira do tipo BFB (leito fluidizado borbulhante)



Fonte: (HPB, [s.d.]).

A demanda energética cada vez maior fez com que a palha resultante da colheita da cana-de-açúcar, antes deixada no campo, fosse transportada e queimada nas caldeiras, porém existem algumas barreiras, como o custo para o transporte do campo para as usinas, o aumento da corrosão nas tubulações devido ao teor de cloro presente na palha de 0,1% até 0,7% contra 0,02% no bagaço, ambas porcentagens em massa e base seca. Ocorre também a formação de poluentes atmosféricos adicionais em comparação com a queima apenas do bagaço (HAKUO *et al.*, 2018).

A caldeira é composta por três partes: a fornalha, onde ocorre a queima do bagaço, a câmara de água e de vapor. A chaminé e os dutos de saída de vapor são construções independentes no corpo da mesma, por isso não estão expostos a pressão do vapor (BARBOSA *et al.*, 2018).

A qualidade do bagaço interfere na composição do material produzido na combustão (Figura 14) onde gera-se, além de fumaça, partículas grosseiras como cinza, fuligem, bagaço

parcialmente queimado e areia. Para retirar estes particulados que são arrastados pelos gases e atender aos parâmetros de emissão das Resoluções CONAMA 382/2006 e 436/2011 utiliza-se o lavador de gases (via úmida) ou precipitador eletrostático (via seca) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

Figura 14. Bagaço *in natura* (a) e cinzas com diferentes teores de carbono (b, c e d)



Fonte: (CORDEIRO, 2006).

A eficiência da caldeira, no processo de queima do bagaço, interfere diretamente na qualidade da cinza, quanto pior a eficiência na caldeira, maior a quantidade de carbono nas cinzas. A Figura 14 (a) refere-se ao bagaço *in natura*, os demais itens são as cinzas residuais. A cinza mais escura Figura 14 (b) é a com maior teor de carbono, resultante de uma combustão incompleta, a cinza (c) possui um menor teor de carbono que a cinza (b) (mais clara) e para finalizar a cinza (d) é gerada após uma combustão completa. Pode-se concluir que quanto maior o teor de carbono mais escura é a cinza (CORDEIRO, 2006).

Sílica é o principal elemento presente na cinza proveniente da queima do bagaço. A Tabela 3 apresenta a composição de cinzas coletadas em diferentes usinas (J, I, B e A).

Tabela 3. Composição química típica das cinzas coletadas em diferentes usinas

Composto Químico	Cinza J (%)	Cinza I (%)	Cinza B (%)	Cinza A (%)
SiO ₂	88,2	96,2	62,7	93,5
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	7,4	1,9	13,3	3,8
K ₂ O+Na ₂ O	1,4	0,3	1,9	0,8
TiO ₂	1	0,2	3,1	0,5
CaO	0,6	0,1	0,9	0,4
P ₂ O ₅	0,4	0,1	0,7	0,2
MgO	0,4	<0,1	0,6	0,3
SO ₃	<0,1	0,1	0,2	<0,1
Perda do Fogo	0,35	1,04	16,28	0,34

Fonte: (BESSA, 2009).

Com os valores obtidos na Tabela 3 nota-se que a composição pode variar de acordo com os diferentes tipos de bagaço. Óxidos de ferro, alumínio, potássio e sódio possuem uma grande variação entre as usinas. Os demais compostos presentes na Tabela 3 possuem variações menores.

Traços de dioxinas são encontrados nas cinzas provenientes da queima do bagaço e podem estar atribuídos a presença de cloro no bagaço e na palha. Isto pode ocorrer devido a utilização de fertilizantes com cloro em sua composição, como o cloreto de potássio (KCl) ou até mesmo a vinhaça. Usinas não possuem um sistema de tratamento adequado para as dioxinas, ou quando possuem, os mesmos contam com uma baixa eficiência. Seria necessário adaptar um sistema eficiente para a remoção da mesma, porém conta com um custo muito elevado. Como melhor opção seria a introdução de potássio por uma fonte não clorada nas plantações, o Silito Glauconítico, que apresenta o melhor custo-benefício (DUARTE *et al.*, 2020).

3.4.1 Lavador de Gases e Sistema de Limpeza

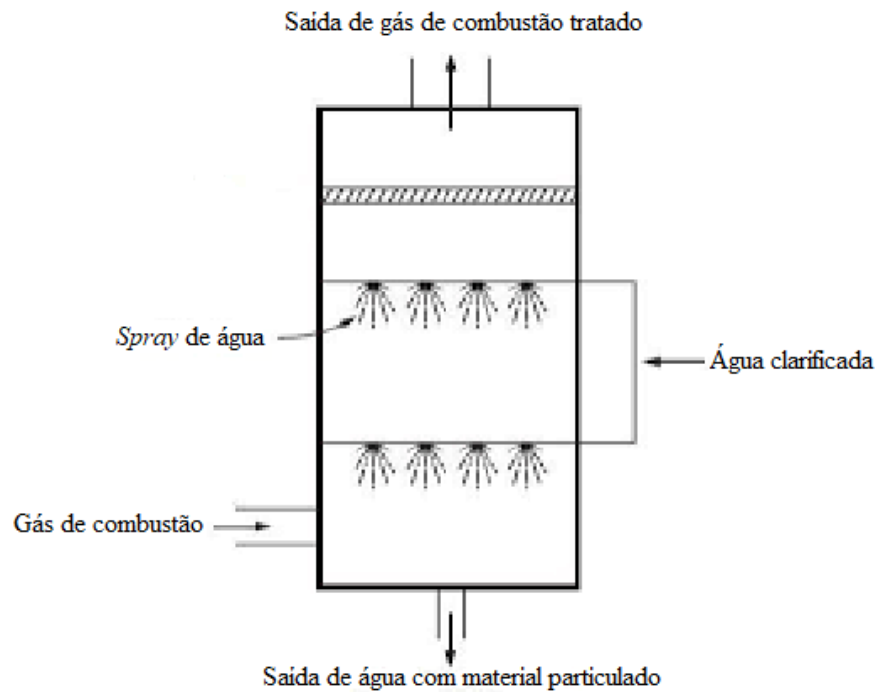
Para que os padrões de emissão estipulados pelos órgãos ambientais sejam atingidos, é necessário que os gases de combustão passem por um lavador de gases (Figuras 15 e 16) para a retirada de particulados antes de serem emitidos para a atmosfera.

Figura 15. Exemplo de um lavador de gás



Fonte: (HPB, [s.d.]).

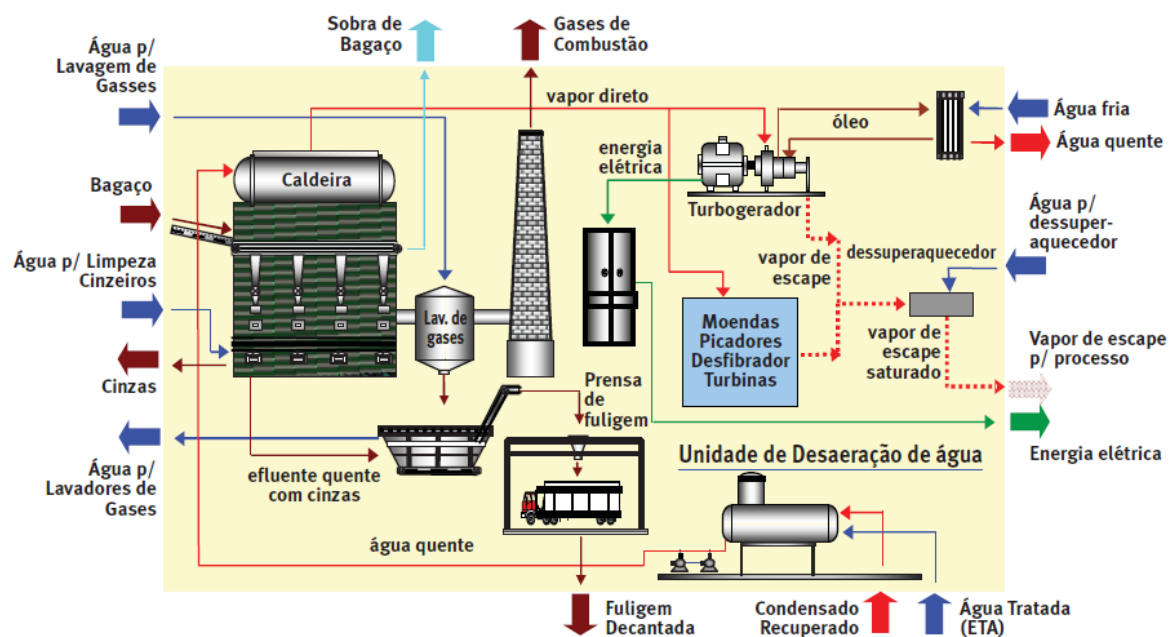
Figura 16. Esquema de um lavador de gases



Fonte: Adaptado de (BHARGAVA, 2016).

A Figura 17 apresenta um fluxograma onde é possível verificar o funcionamento do sistema da caldeira e da lavagem dos gases.

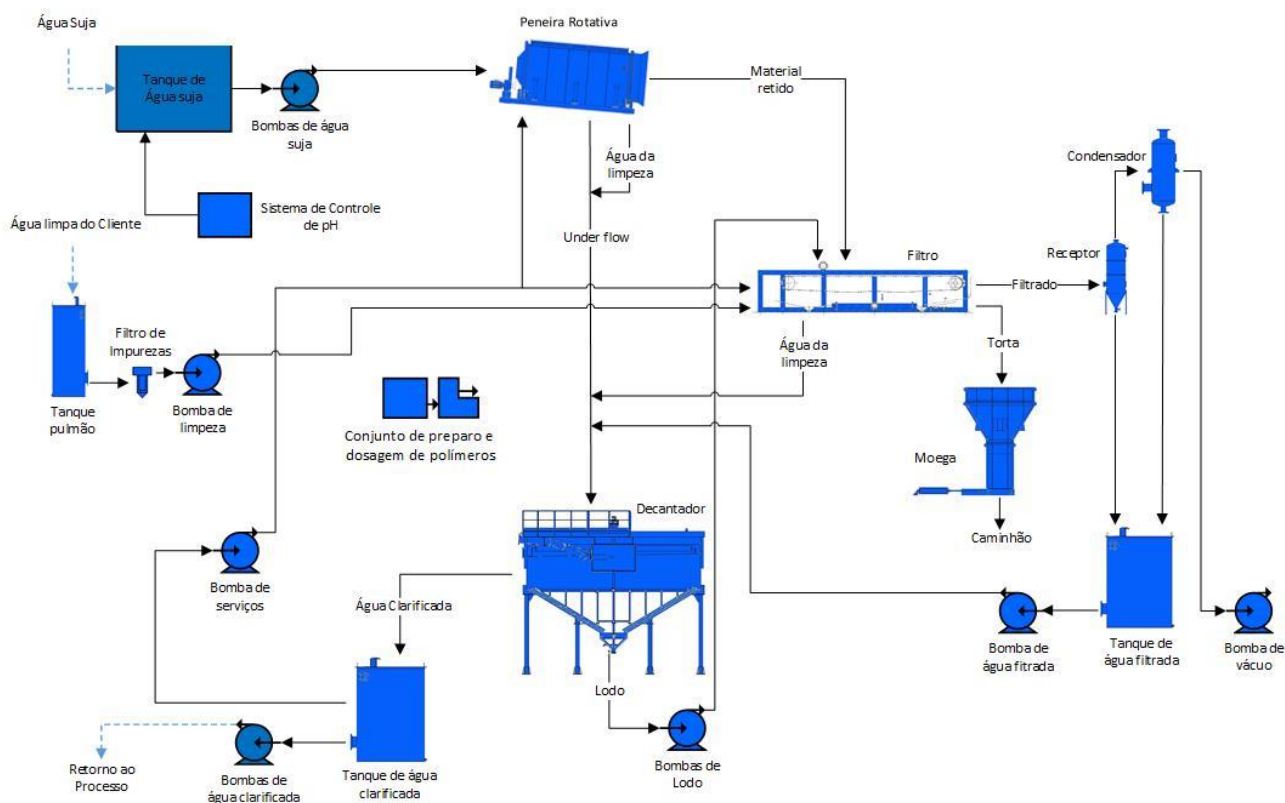
Figura 17. Fluxograma com a caldeira, lavador de gases e a geração de energia



Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

O lavador de gases está inserido em um sistema fechado (Figuras 18 e 19), a água clarificada entra no lavador, coleta o material particulado presente na fumaça através de uma transferência de massa e a fumaça “lavada” sai do sistema através de chaminés dentro dos padrões de emissões presentes na legislação. O efluente do lavador é encaminhado para o filtro a vácuo, o qual separa a fase líquida dos particulados grosseiros (torta de fuligem). A torta sai do filtro úmida e cai diretamente no caminhão para ser retirada da planta. A água é encaminhada para o clarificador onde recebe um breve tratamento e sai por calhas localizadas na parte superior do equipamento e, posteriormente, é encaminhada para o tanque de água clarificada, onde é bombeada para o lavador novamente. O lodo sedimentado no fundo é encaminhado para o filtro a vácuo (ORTEGA, 2013).

Figura 18. Fluxograma do sistema de tratamento de água do lavador de gases



Fonte: (PROGT, [s.d.]).

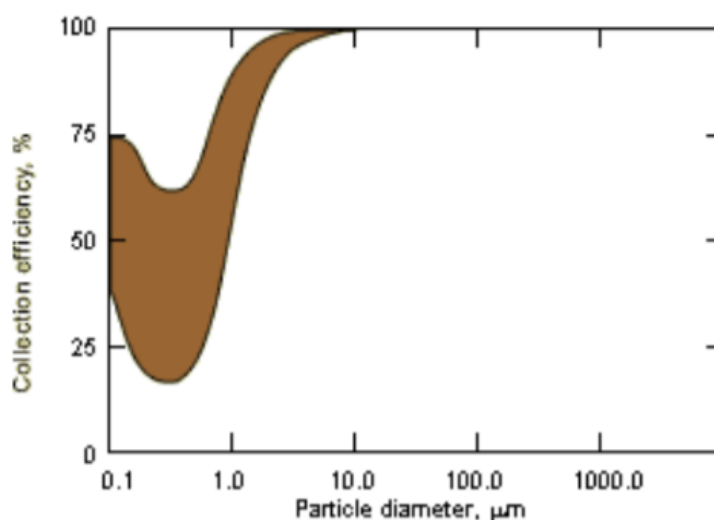
Figura 19. Projeto do sistema de tratamento de água do lavador de gases em 3D



Fonte: (PROGT, [s.d.]).

Apesar de toda praticidade para remoção de partículas e poluentes gasosos, para partículas menores de $5\ \mu\text{m}$, a eficiência de um lavador pode cair consideravelmente, como mostra a Figura 20. Alguns lavadores limitam-se a reter partículas maiores que $0,3\ \mu\text{m}$ (por movimento browniano), enquanto que partículas menores podem ser arrastadas pelo gás (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2010).

Figura 20. Relação entre tamanho da partícula e eficiência de coleta em lavador de gás



Fonte: (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2010)

3.4.2 Precipitador Eletrostático

Precipitadores eletrostáticos (Figura 21) são utilizados para a remoção de particulados em suspensão em um gás. Além da aplicação industrial em caldeiras por exemplo, pode ser aplicado em uso interno para limpeza de ar hospitalar e em escritórios. Apresenta uma alta eficiência (geralmente $>99\%$) e um baixo custo de operação, pois apresenta uma baixa perda de carga (MIZUNO, 2000).

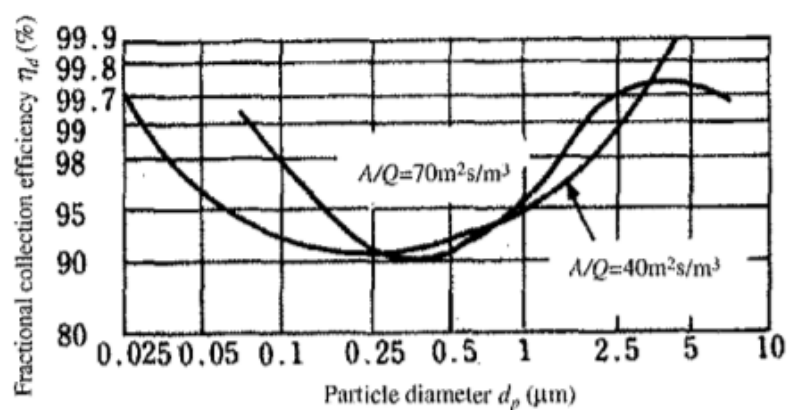
Figura 21. Exemplo de precipitadores eletrostáticos utilizados no tratamento de gases provenientes de uma caldeira a carvão



Fonte:(FRANCIS *et al.*, 2007).

Segundo Mizuno (2000) a eficiência do precipitador varia de acordo com o diâmetro da partícula, como mostra a Figura 22.

Figura 22. Relação entre eficiência de precipitadores eletrostáticos e diâmetro da partícula

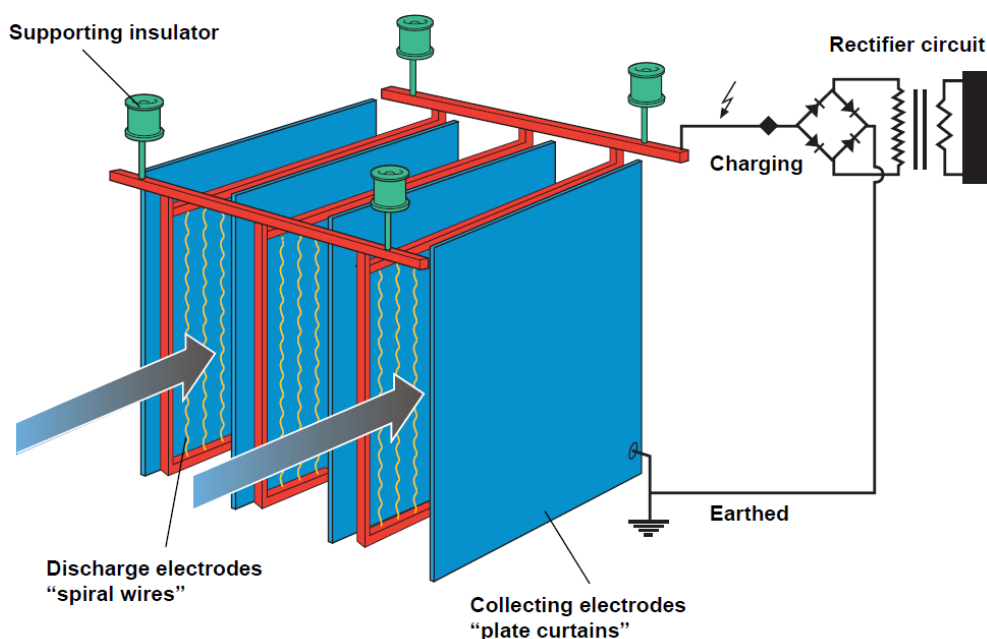


Fonte: (MIZUNO, 2000).

As menores eficiências encontram-se para partículas com diâmetro de 0,1 até 1,0 μm , e isso relaciona-se com a velocidade de migração e a carga. Para partículas maiores, a velocidade de migração é proporcional ao diâmetro, aumentando-se assim a eficiência (MIZUNO, 2000).

O funcionamento de um precipitador eletrostático consiste em carregar eletricamente as partículas com o bombeamento de íons gasosos ou elétrons, mas inicialmente formam-se os mesmos com uma descarga corona de alta voltagem no eletrodo. Após a polarização, a partícula acopla-se ao eletrodo de carga oposta. A Figura 23 exemplifica o funcionamento de um precipitador eletrostático (FRANCIS *et al.*, 2007).

Figura 23. Funcionamento de um precipitador eletrostático



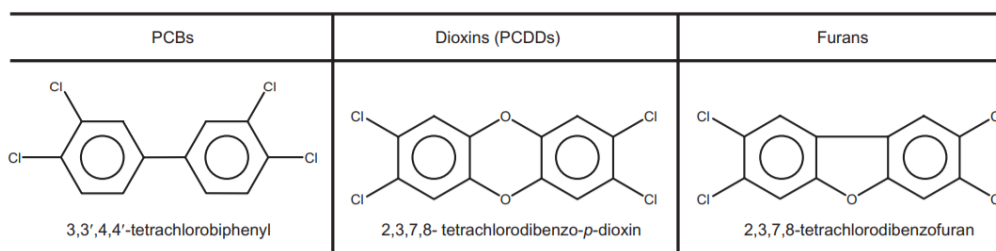
Fonte: (FRANCIS *et al.*, 2007).

3.5 DIOXINAS E FURANOS

Dioxinas e furanos referem-se a um grupo de compostos químicos tóxicos e cancerígenos organoclorados que apresentam fórmulas, respectivamente, $\text{C}_{12}\text{H}_{8-x}\text{Cl}_x\text{O}_2$ e $\text{C}_{12}\text{H}_{8-x}\text{Cl}_x\text{O}$, com $x = 1$ a 8 (ASSUNÇÃO; PESQUERO, 1999). Existem três famílias intimamente relacionadas: dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD, dioxinas), dibenzofuranos policlorados (PCDF, furanos) e bifenilas policloradas (PCB) (Figura 24). O termo dioxina também é usado genericamente para a dioxina mais estudada e uma das mais tóxicas: 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD). Os furanos diferem das dioxinas por terem apenas uma ponte de oxigênio unindo os anéis. Ao invés do cloro, outros átomos de halogênios (Br, F, I)

podem ocupar essas casas nos anéis. Existem 135 moléculas de furanos, 75 de dioxinas e 209 de PCB conhecidos.

Figura 24. Exemplos de moléculas de bifelinas policloradas, dioxinas e furanos



Fonte: Adaptado de (LOGANATHAN *et al.*, 2015).

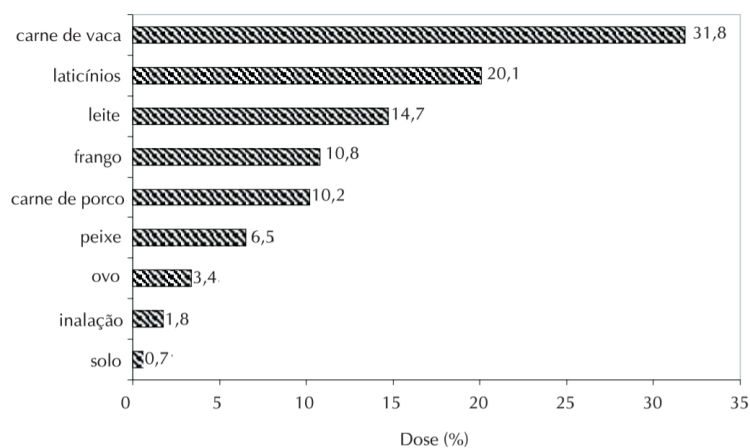
Estes compostos são estáveis, não sofrem degradação química, fotolítica e biológica e, por isso, são denominados Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) (BLOISE, 2018).

3.5.1 Impactos na Saúde Humana

A contaminação humana com dioxinas e furanos está relacionada com a ingestão de alimentos contaminados (mais de 90% dos casos). Com a emissão atmosférica ocorre a contaminação do ar e a transferência para a cadeia alimentar terrestre ou aquática. A contaminação também ocorre via inalação ou cutânea (VIÉGAS *et al.*, 2014).

As principais fontes de contaminação por compostos clorados em um cidadão estadunidense podem ser vistas na Figura 25.

Figura 25. Principais fontes de contaminação por compostos clorados em humanos



Fonte: (ASSUNÇÃO; PESQUERO, *apud* UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA, 1999).

Nota-se que a exposição alimentar de um estadunidense ocorre através de alimentos básicos do cotidiano como carne de vaca, frango, carne de porco e peixe. Leite e derivados também possuem papel nesta dispersão. Com todos esses alimentos responsáveis por contaminações, torna-se impossível a não ingestão dos mesmos.

A ingestão destes compostos pelos seres humanos pode ser na cadeia alimentar, através do consumo de alimentos gordurosos de origem animal, pela inalação ou pela água potável. Estas toxinas acumulam-se nos tecidos gordurosos humanos. Um caso famoso de exposição a dioxinas foi no Vietnã com o uso do Agente Laranja (CETESB, 2020).

Esta exposição causou diversos problemas de saúde nas pessoas expostas como também ao meio ambiente, como desmatamento, erosão, inundação e, conseqüentemente, ocorreu-se uma variação no ecossistema e mudanças climáticas. Este contaminante pode permanecer no solo superficial por até 15 anos e 100 anos no subsolo (AZEVEDO, [s.d.]).

O Agente Laranja é formado por dois herbicidas na mesma proporção, o ácido 2,4-diclorofenoxiacético e o ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético porém, para acelerar-se a produção, a temperatura foi aumentada e, com a presença de cloro, formou-se a TCDD (CRIADO, 2019).

A exposição a uma quantidade alta de dioxina ou furano em um curto período de tempo pode causar lesões na pele e alterações hepáticas. Segundo BBC BRASIL (2004) Viktor Yushchenko, político ucraniano, sofreu um atentado sendo exposto e contaminado por uma dose elevada de dioxina, conseqüentemente sofrendo algumas lesões na pele. A exposição prolongada a estas substâncias pode afetar o sistema imunológico, nervoso, endócrino e reprodutivo e, também, pode aumentar a chance de desenvolvimento de tumores (CETESB, 2020).

Manahan (2003) publicou uma tabela de toxicidade para algumas substâncias químicas, a qual a TCDD está inserida, como mostra a Tabela 4.

Comparando-se com outras substâncias, como exemplo o Malation, defensivo agrícola classificado como inseticida, o qual possui um LD₅₀ de 5000 mg/kg, a TCDD possui um LD₅₀ de 0,005 mg/kg, um valor muito baixo, em que ministrado em pequenas doses torna-se fatal.

LD₅₀ significa dose letal, ou seja, uma dose onde ocorre-se a morte de 50% dos indivíduos, valores tabelados medidos em ratos com dose oral.

Tabela 4. Toxicidade de algumas substâncias

Substância	LD₅₀ aproximado (mg substância/kg massa corpórea)	Classificação de toxicidade
Bis (2-etilhexil) Ftalato	-10 ⁵ -	Praticamente não tóxico > 1,5*10 ⁴ mg/kg
Etanol	-10 ⁴	Pouco tóxico
Cloreto de sódio	-	5*10 ³ - 1,5*10 ⁴ mg/kg
Malation	-10 ³ -	Toxicidade média 500 - 5000 mg/kg
Heptacloro	-10 ² -	Muito tóxico 50 - 500 mg/kg
Paration	-10 -	Extremamente tóxico 5 - 50 mg/kg
Tetraetil-pirofosfato nicotina	-1 -	
Tetrodotoxina	-10 ⁻¹ -	
	-10 ⁻² -	Imensamente tóxico <5 mg/kg
TCDD	-10 ⁻³ -	
	-10 ⁻⁴ -	
Toxina botulínica	-10 ⁻⁵	

Fonte: (MANAHAN, 2003).

3.5.2 Defensivos Agrícolas e o Cloro

Defensivos agrícolas são produtos químicos, biológicos ou orgânicos utilizados para a manutenção do campo, com objetivo de eliminar ervas (herbicidas) que em uma relação de competição consomem nutrientes destinados a plantação, fungos (fungicidas) e insetos (inseticidas), porém modificando-se a fauna e a flora. O principal ingrediente de um agrotóxico é chamado de princípio ativo, vendido isolado ou misturado com outros componentes, formando-se, assim, diversos produtos (TOOGE, 2019a).

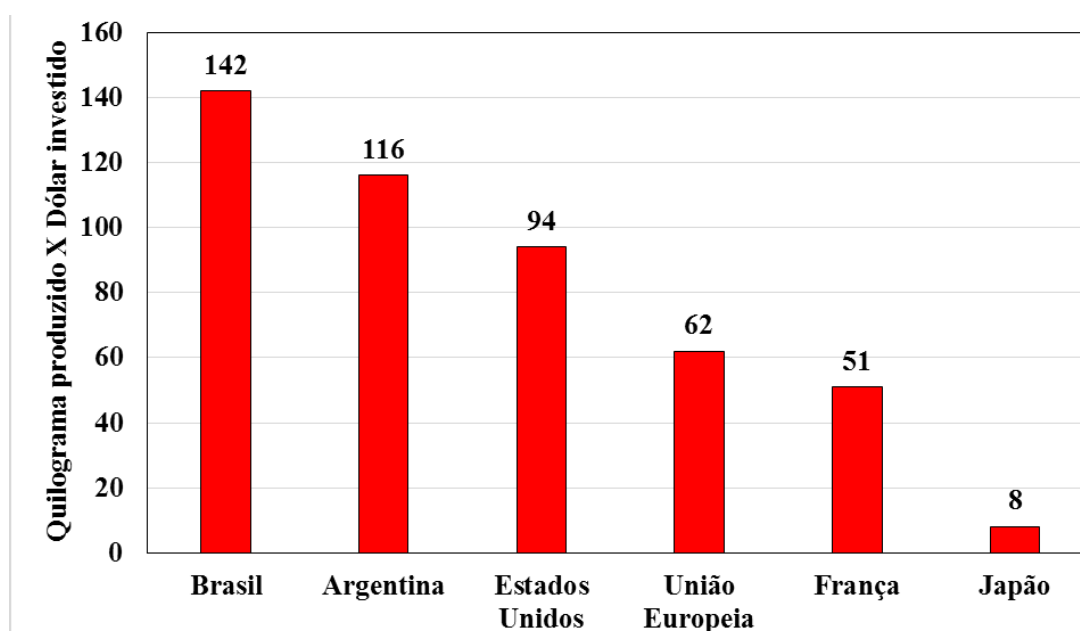
Para aplicar-se os defensivos agrícolas, pode-se utilizar aviões, através dos quais o produto é pulverizado sobre a plantação. Porém, o vento pode espalhar o defensivo agrícola e contaminar regiões vizinhas e rios. Em algumas concentrações, em contato, ingerido ou inalado,

os defensivos podem causar problemas no sistema circulatório, reprodutor e digestivo, bem como afetar órgãos como coração, fígado e cérebro (SANÁGUA, 2015).

Plantas daninhas podem ser eliminadas através de três formas: controle mecânico, com a utilização de tração animal, tratores ou até mesmo manualmente; controle químico, com a aplicação de herbicidas; e controle cultural, como preparo do solo e rotação de espécies. Estas pragas podem significar um dos principais problemas no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar pois, o custo de produção pode ser elevado em até 30 % (ROSSETTO; SANTIAGO, [s.d.]).

A aplicação de defensivos agrícolas afeta diretamente a produtividade e com a demanda atual torna-se algo indispensável na agricultura. A Figura 26 apresenta uma relação entre a quantidade produzida e o dinheiro investido em defensivos agrícolas.

Figura 26. Relação entre produção e investimento em defensivos agrícolas



Fonte: (Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - ABRAPA *apud* Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO *et al.*, 2018)

O gráfico apresenta o Brasil com uma melhor eficiência produtiva, medida pela relação entre produção e investimento aplicado, comparado com grandes potências como Estados Unidos, União Europeia e Japão.

Com o aumento da demanda de produtos e matéria-prima, foi inevitável a utilização de defensivos agrícolas em nível mundial para suprir o mercado. Estes recebem uma classificação, como mostra a Figura 27.

Figura 27. Classificação dos agrotóxicos



Fonte: (TOOGE *apud* INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA *et al.*, 2019b).

A Tabela 5 apresenta os principais princípios ativos de herbicidas, fungicidas e inseticidas vendidos e utilizados no Brasil, bem como suas características químicas retiradas do Pubchem, ([s.d.]), como número CAS de identificação, fórmula química, massa molar e um cálculo do teor de cloro presente.

Tabela 5. Princípios ativos de defensivos agrícolas utilizados nas plantações de cana-de-açúcar

Classificação	Princípio ativo	CAS	Fórmula	Massa molar (g/mol)	Teor cloro (%m)
Herbicidas					
4	2,4-D	94-75-7	$C_8H_6Cl_2O_3$	221,02	32,08
1	Dicloreto de paraquate	1910-42-5	$C_{12}H_{14}Cl_2N_2$	257,16	27,57
5	Diuron	330-54-1	$C_9H_{10}Cl_2N_2O$	233,09	30,42
4	S-Metolacoloro	87392-12-9	$C_{15}H_{22}ClNO_2$	283,79	12,49
4	Acetocloro	34256-82-1	$C_{14}H_{20}ClNO_2$	269,77	13,14
4	Sulfentrazona	122836-35-5	$C_{11}H_{10}Cl_2F_2N_4O_3S$	387,19	18,31
Fungicidas					
3	Piraclostrobina	175013-18-0	$C_{19}H_{18}ClN_3O_4$	387,82	9,14
4	Epoxiconazol	135319-73-2	$C_{17}H_{13}ClFN_3O$	329,76	10,75
Inseticidas					
4	Imidacloprido	138261-41-3	$C_9H_{10}ClN_5O_2$	255,66	13,87

Fonte: Adaptado de (TOOGE *apud* IBAMA *et al.*, 2019b).

Todos os compostos apresentados na Tabela 5 possuem cloro em sua composição e são utilizados nas plantações de cana-de-açúcar, conforme mencionado anteriormente.

A Tabela 6 apresenta informações da dosagem utilizada por área e a concentração do princípio ativo (P.A.) os quais foram retirados das bulas dos produtos. Estes valores variam de acordo com a necessidade do canavial. Foram considerados os valores máximos utilizados de dosagem e concentração para a realização dos cálculos.

Tabela 6. Informações das bulas dos defensivos agrícolas utilizados nos canaviais

Princípio ativo	Dosagem* (L _{pc} /ha)	Concentração* P.A. (g/L)	Qtde P.A. (g/ha)	Qtde cloro (g _{Cl} /ha)	Referência da bula do defensivo agrícola
Herbicidas					
2,4-D	1,50	806	1209	387,83	(AGROLINK, [s.d.]a)
Dicloreto de paraquate	2,00	276	552	152,19	(AGROLINK, [s.d.]b)
Diuron	6,40	500	3200	973,36	(AGROLINK, [s.d.]c)
S-Metolacoloro	3,00	960	2880	359,76	(AGROLINK, [s.d.]d)
Sulfentrazona	1,20	500	600	109,87	(AGROLINK, [s.d.]e)
Acetocloro	3,00	900	2700	354,80	(ARYSTA, [s.d.])
Fungicidas					
Piraclostrobina	0,50	250	125	11,43	(AGROLINK, [s.d.]f)
Epoxiconazol		50	25	2,69	(AGROLINK, [s.d.]g)
Inseticida					
Imidacloprido	3,00	480	1440	199,67	(AGROLINK, [s.d.]h)

Valores contendo * foram retirados da bula.

Fonte: Autor, 2022.

Com os valores da quantidade de cloro por hectare calculados e apresentados nas Tabelas 5 e 6, com a quantidade de cana-de-açúcar presente por hectare em 2019 de aproximadamente 75 toneladas apresentado por (NOVACANA, 2020) e dados do balanço de massa apresentados por Innocentini *et al.*, (2021), foi possível encontrar a quantidade de bagaço gerado por tonelada de cana-de-açúcar moída e construir a Tabela 7.

Tabela 7. Quantidade de cloro aplicado na cana-de-açúcar e estimativa da quantidade no bagaço

Princípio ativo	Quantidade de cloro na cana-de-açúcar (gCl/tcana-de-açúcar)	Quantidade de cloro no bagaço (mgCl/kgbagaço)
Herbicidas		
2,4-D	5,17	19,11
Dicloreto de paraquate	2,03	7,50
Diuron	12,98	47,96
S-Metolacoloro	4,80	17,73
Sulfentrazona	1,46	5,41
Acetocloro	4,73	17,48
Fungicidas		
Piraclostrobina	0,15	0,56
Epoxiconazol	0,04	0,13
Inseticida		
Imidacloprido	2,66	9,84

Fonte: Autor, 2022.

Somando-se todos os princípios ativos dos defensivos agrícolas, obtém-se um valor de, aproximadamente, 125 mgCl/kg_{bagaço}.

3.5.3 Formação de dioxinas e furanos

Estes compostos não surgem naturalmente e começaram a aparecer com a era industrial. São subprodutos de diversos processos relacionados ao cloro (precursor) como fabricação de pesticidas, clareamento de papel e celulose, incineração de resíduos e processos de combustão, como o do bagaço. Segundo Luscombe (1999) no processo de produção do policloreto de vinila (PVC) utiliza-se uma elevada quantidade de cloro, sendo assim responsável por grande parte das emissões destes compostos clorados ao meio ambiente. Se a temperatura de incineração é próxima ou superior a 900 °C e o tempo de residência é de 1 a 2 segundos, as dioxinas e furanos formados podem ser degradados (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999).

A Tabela 8 apresenta os principais processos responsáveis pela emissão de compostos clorados e as respectivas fontes de cloro. Observa-se o PVC sendo uma grande fonte de cloro em diversos processos de emissão de dioxinas, furanos e compostos clorados, além de uma elevada emissão na sua produção.

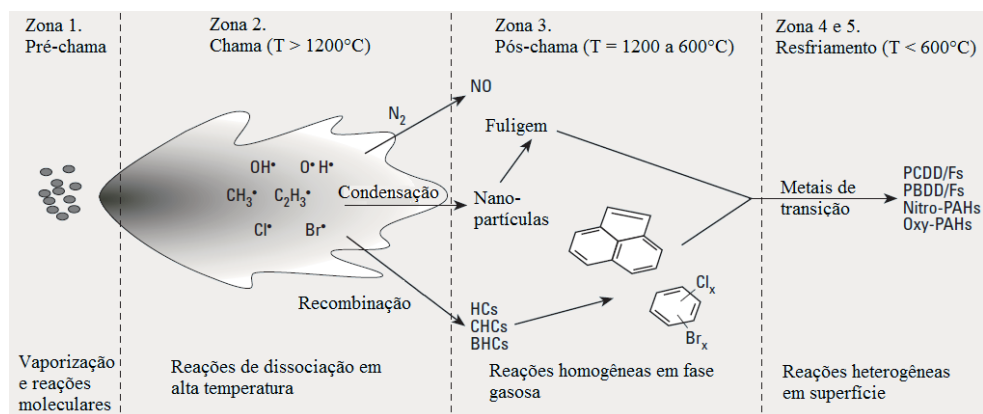
Tabela 8. Emissões de compostos clorados e a fonte de cloro

Processos	Fonte de cloro
Processos formadores de dioxinas	Emissor primário de cloro Incineração
Incineração do lixo hospitalar	PVC
Fusão dos metais ferrosos Incineração	PVC, queima de óleos com base em cloro, solventes clorados
Incineração de resíduos perigosos	Solventes gastos, detritos da indústria química, pesticidas
Fundição secundária do cobre	Cabos cobertos com PVC, PVC em telefones e equipamento eletrônico, solventes clorados/ óleos queimados
Fundição secundária de chumbo	PVC
Produção química	Uso de cloro ou organoclorados como reagente
Moinho de trituração	Alvejantes com base em cloro
Incêndios residenciais e edifícios	PVC, pentaclorofenol, PCBs, solventes clorados
Incêndios em veículos	PVC, óleos clorados queimados
Queima de combustível de veículos	Aditivos clorados
Incineração do lixo municipal	PVC, papel alvejado, lixo doméstico danoso
Incêndios em florestas	Pesticidas, deposição de organoclorados aerógenos
Incineração de lodo de esgoto	Subprodutos da cloração
Queima de madeira	PVC, pentaclorofenol ou químicos

Fonte: (LUSCOMBE, 1999).

Mesmo em incineradores de alta temperatura com maior eficiência pode ocorrer a formação de subprodutos tóxicos no resfriamento, após a combustão. Pode haver também zonas frias em incineradores com temperaturas altas e um ambiente altamente oxidativo onde o contato prolongado com temperaturas de 200 a 600 °C propiciam a formação de substâncias tóxicas (WALSH *et al.*, 2010). A Figura 28 esquematiza as zonas de reações de uma combustão.

Figura 28. Zonas de reações de combustão



Fonte: Adaptado de (CORMIER *et al.*, 2006).

Na zona 2 ocorre a formação de diversos poluentes, como exemplo o monóxido de carbono. Nas zonas 3 e 4 ocorrem a formação de poluentes orgânicos em fase gasosa. A formação de dioxinas e furanos ocorre na zona 5. As zonas 2 e 3 que formam nano-partículas de fuligem também transformam metais em catalisadores ativos, catalisando-se, assim, novos subprodutos tóxicos (CORMIER *et al.*, 2006).

3.5.3.1 *Synthesis de Novo*, precursores e *Deacon Reaction*

Para verificar a relação entre a *Synthesis de Novo* e a formação de compostos clorados como PCDD e PCDF foi realizado um experimento em um reator de leito fixo o qual controlou-se o fluxo de gases e utilizou-se 1,0 g de cinzas volantes. A Tabela 9 mostra alguns resultados obtidos no experimento (ASH *et al.*, 1993).

Tabela 9. Relação entre a formação de PCDD e PCDF e a temperatura

Cinza	T ($^{\circ}\text{C}$)	PCDD (ng)	PCDF (ng)
A	275	7	11
	300	195	815
	325	331	1052
	350	128	530
B	275	235	66
	300	439	266
	325	341	237
C	275	111	104
	300	179	137
	325	80	210

Fonte: Adaptado de (ASH *et al.*, 1993).

A diminuição dos compostos com o aumento da temperatura pode estar relacionada com reações de formação e destruição. Estes compostos são encontrados na fase sólida, podem ser adsorvidos pelas cinzas e que em altas temperaturas sejam um ótimo catalisador oxidativo (ASH; MILLIGAN; ALTWICKER, 1993).

Existem duas teorias para a formação das dioxinas: elementos precursores e a *Synthesis de Novo* (principal mecanismo de formação).

A teoria de elementos precursoras sugere que seja liberado ácido clorídrico (HCl) com a combustão do material contendo cloro. O HCl é oxidado a Cl₂ através da *Deacon Reaction* (Figura 29), catalisada por metais. Anéis aromáticos produzidos durante a incineração sofrem halogenação e são substituídos por Cl₂. O precursor clorado sofre oxidação catalisada por metais e ocorre a formação de dioxinas e furanos (VOGG *et al.*, 1988).

Figura 29. Equação química da *Deacon Reaction*



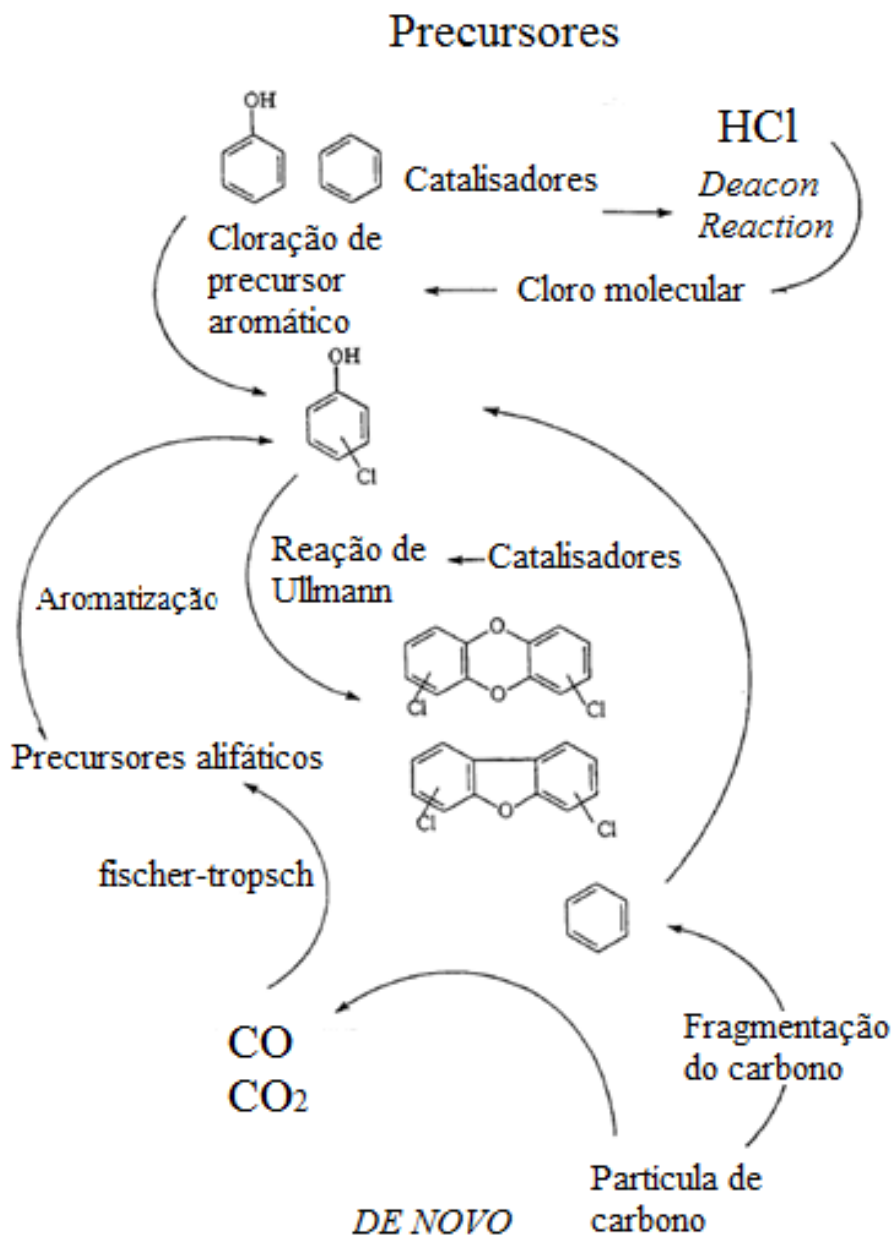
Fonte: Adaptado de (GHOSH, 2020).

A *Synthesis de Novo* sugere duas reações para a formação de compostos halogenados e necessita da presença de cinzas volantes com aromáticos não ligados, metais catalisadores e oxigênio. Primeiro ocorre uma reação de halogenação (substituição de um átomo de hidrogênio por um da família dos halogênios como cloro) em aromáticos presentes na superfície do carbono (cinza) catalisada por um metal. Após isso ocorre uma oxidação do carbono catalisada também por um metal formando-se assim diversos compostos orgânicos como dioxinas e furanos.

Para ambas rotas (Figura 30) ocorre a cloração (halogenação) do anel aromático por Cl₂, porém a oxidação do residual de cloro presente (como exemplo HCl) em Cl₂ durante a incineração denomina-se de *Deacon Reaction* (VOGG *et al.*, 1988).

Alguns fatores implicam no aumento de chance de ocorrer a reação, tais como teor de oxigênio, vapor de água, teor de carbono e regiões de baixa temperatura (aproximadamente 300 °C) em incineradores. Cloreto de cobre (CuCl₂) apresenta um excelente papel como catalisador, a adição de amônia (NH₃) neutraliza esta ação (VOGG *et al.*, 1988).

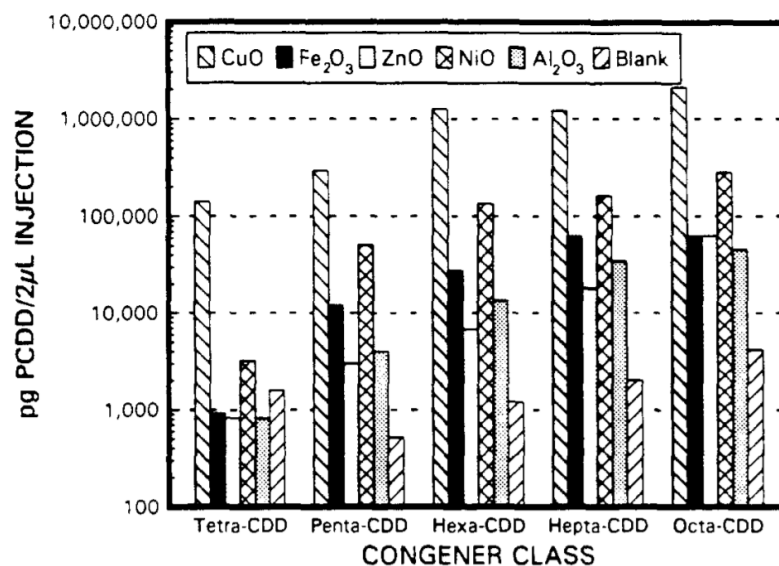
Figura 30. Rotas para a formação de dioxinas e furanos



Fonte: Adaptado de (TUPPURAINEN *et al.*, 1998).

A Figura 31 mostra a variação de formação de dioxinas na presença de diferentes metais catalisadores, como óxido de cobre (CuO), o qual apresentou um maior impacto na formação e observa-se também o óxido de níquel (NiO) com um significativo impacto. Para finalizar, óxido de zinco (ZnO), óxido de ferro III (Fe₂O₃) e óxido de alumínio (Al₂O₃) apresentaram impactos moderados e uma incerteza estatística (GULLETT *et al.*, 1992).

Figura 31. Diferentes metais catalisadores e o impacto na formação de dioxinas



Fonte: (GULLETT *et al.*, 1992).

3.5.4 Toxicidade Equivalente

Aplicando-se o efeito potencial relativo, pode-se estimar o fator de toxicidade de um congênere (TEF, em inglês, *Toxic Equivalency Factor*). A dioxina mais tóxica, 2,3,7,8 – TCDD assume o valor de TEF = 1. Com a aplicação da Equação 1 pode-se converter os valores de TEF para Toxicidade Equivalente (TEQ) (PUSENTE, 2016).

$$TEQ = \sum (C * TEF) \quad (1)$$

Onde:

TEQ = Toxicidade equivalente (pg_{OMSTEQ}/kg);

C = Concentração individual de cada congênere (pg/kg);

TEF = Fator de toxicidade equivalente (-).

As Tabelas 10 e 11 apresentam compostos, suas toxicidades equivalentes e propriedades (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997) (PUBCHEM, [s.d.]).

Tabela 10. Valores de Toxicidade Equivalente Internacional (I-TEQs) de dioxinas.

Composto Dioxinas	Fórmula química	Massa molar (g/mol)	Ponto de fusão (°C)	I-TEQs (-)
2,3,7,8-TCDD	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	322,0	305,0	1
1,2,3,7,8-PeCDD	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	356,4	240,0	0,5
1,2,3,4,7,8-HxCDD	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	390,9	273,0	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	390,9	243,0	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	390,9	285,0	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	C ₁₂ HCl ₇ O ₂	425,3	264,0	0,01
OCDD	C ₁₂ Cl ₈ O ₂	459,7	330,0	0,001

Fonte: (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997).

Tabela 11. Valores de Toxicidade Equivalente Internacional (I-TEQs) de furanos.

Composto Furanos	Fórmula química	Massa molar (g/mol)	Ponto de fusão (°C)	I-TEQs (-)
2,3,7,8-TCDF	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O	306,0	227,0	0,1
2,3,4,7,8-PeCDF	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	340,4	196,0	0,5
1,2,3,7,8-PeCDF	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	340,4	225,0	0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDF	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	374,9	-	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	374,9	-	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	374,9	-	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	374,9	239,5	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	C ₁₂ HCl ₇ O	409,3	233,0	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	C ₁₂ HCl ₇ O	409,3	-	0,01
OCDF	C ₁₂ Cl ₈ O	443,7	258,0	0,001

Fonte: (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997).

3.6 PODER CALORÍFICO

Poder calorífico é um parâmetro muito importante pois é a quantidade de energia liberada pela combustão completa de um combustível, sendo ele sólido, como exemplo o bagaço, gasoso ou líquido. Possui como unidade de medida energia liberada por massa ou volume, exemplo $\frac{J}{kg}$ (sólidos) ou $\frac{J}{m^3}$ (gases e líquidos (LOBÃO *et al.*, 2008)).

O poder calorífico possui duas divisões, poder calorífico superior (PCS), que representa o calor liberado com água resultante na fase líquida e poder calorífico inferior (PCI), que representa o calor liberado com toda a água no estado gasoso. Quando ocorre a combustão, são liberados dois componentes, dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) para combustão completa, porém, a água sempre será liberada e ocorre-se uma variação no calor liberado de acordo com o estado físico da água. Pode-se obter água nos dois estados físicos (líquido ou gasoso), sendo assim necessário fornecer o PCS e o PCI (LIMA, 2008).

Para encontrar-se o valor do poder calorífico superior aplica-se a Equação 2 (BEN *et al.*, *apud* BARBOSA *et al.*, 2009).

$$PCS = 33900C + 141800\left(H - \frac{O}{8}\right) + 9200S \quad (2)$$

Onde:

PCS = Poder calorífico superior [kJ/kg];

C, H, O, S = Teores de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre respectivamente, valores utilizados em fração [kg/kg].

A diferença entre o PCS e o PCI é a entalpia de vaporização da água formada na reação e a água existente no combustível. A Equação 3 mostra a equação que relaciona os poderes caloríficos e suas respectivas variáveis (LIMA, 2008).

$$PCI = PCS - 2440(9H + u) \quad (3)$$

Onde:

PCI = Poder calorífico inferior [kJ/kg];

PCS = Poder calorífico superior [kJ/kg];

H = Teor de hidrogênio no combustível [kg/kg];

u = Teor de umidade do combustível [kg de água/kg de combustível seco].

As combustões industriais geralmente possuem uma elevada temperatura, com isso, a água sempre será encontrada no estado de vapor, considerando-se sempre o poder calorífico inferior (PCI) (LIMA, 2008).

Para calcular o PCI de combustíveis, sejam eles sólidos ou líquidos, pode-se aplicar a Equação 4, equação de Dulong-Petit (USP EP PMT, 2013).

$$PCI = 338C + 1423\left(H - \frac{O}{8}\right) + 92S - 24,4(9H + M) \quad (4)$$

Onde:

PCI = Poder calorífico inferior [kJ/kg];

C, H, O, S = Porcentagem em peso de cada elemento químico, carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre [%];

M = Umidade no combustível [%].

O poder calorífico do bagaço da cana-de-açúcar varia de acordo com a umidade presente no mesmo. Correia *et al.* (2020) realizaram um experimento com bagaço armazenado a céu aberto durante um período de três anos (2007 até 2010), e foram coletadas dez amostras de aproximadamente 1,0 kg de bagaço cada para posteriores análises. A Tabela 12 apresenta a relação entre umidade e poder calorífico superior e inferior nas amostras.

Tabela 12. Relação entre umidade, poder calorífico superior e inferior em amostras de bagaço de cana-de-açúcar

Amostra	Teor umidade (%)	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
1	82,83	21,29	17,95
2	85,00	17,55	14,16
3	84,85	23,07	19,68
4	80,81	18,72	15,43
5	80,00	19,83	16,56
6	78,00	18,45	15,23
7	75,25	18,08	14,93
8	76,77	18,11	14,92
9	77,00	18,49	15,29
10	72,28	20,63	17,55

Fonte: Adaptado de (CORREIA *et al.*, 2020).

Analisando-se a Tabela 12 pode-se concluir que não houve significativa variação nos valores de poder calorífico devido a pequena variação na umidade.

Oliveira (2014b) realizou experimentos com amostras de bagaço de cana-de-açúcar recém coletadas para determinar o poder calorífico superior e inferior e obteve-se valores apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Valores de poder calorífico superior e inferior em amostras de bagaço de cana-de-açúcar

Amostra	Umidade (%)	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
1	45,39	17,15	16,83
2	51,10	16,59	16,27
3	48,46	16,05	15,73
4	49,81	16,66	16,33
5	47,92	15,47	15,15

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 2014b).

3.7 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Com o avanço tecnológico, os padrões de qualidade estão cada vez mais elevados, com isso, é necessário sempre realizar análises físico-químicas em produtos, para que seja possível a obtenção de valores qualitativos e quantitativos, como exemplo, definir quais substâncias estão presentes em uma determinada amostra e quantificá-las, obter pH, condutividade, cor, turbidez, entre outros diversos parâmetros. Laboratórios que realizam tais análises devem seguir padrões ABNT para garantir exatidão e precisão nos resultados (CONSEQ, [s.d.]).

Estes procedimentos podem ser divididos em análise imediata, que indica apenas a presença ou não de um componente na amostra, a análise qualitativa, que visa identificar todos os componentes presentes em uma amostra e a análise quantitativa, mais detalhada, que tem como objetivo indicar a quantidade de uma substância na amostra (CONSEQ, [s.d.]).

Os laboratórios também estão presentes dentro de indústrias e possuem um papel muito importante, prezar pela qualidade e segurança da matéria-prima até o produto. Todas as análises devem ser feitas dentro das normas e legislações, e os resultados devem estar dentro do valor permitido (OLIVEIRA, 2018).

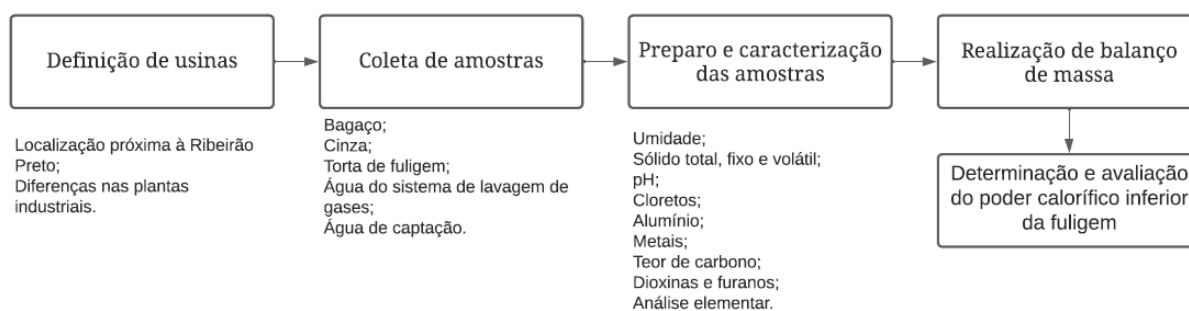
O preço da cana-de-açúcar varia de acordo com sua qualidade que, por sua vez, pode variar de acordo com diferentes fatores. Na entrada da usina, uma amostra de cana-de-açúcar é

coletada do caminhão e levada para o laboratório para realização de ensaio para aferir-se a quantidade de açúcar total recuperável (ATR) (GIRALDELI, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com coleta de amostras de diferentes usinas sucroenergéticas da região de Ribeirão Preto, estado de São Paulo. A Figura 32 contém o fluxograma com resumo da metodologia empregada para atender aos objetivos propostos.

Figura 32. Fluxograma com metodologia de execução do estudo



Fonte: Autor, 2022.

4.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE USINAS

Os critérios contemplados para a seleção de usinas para a realização desta pesquisa foram os seguintes:

- Localização próxima à cidade de Ribeirão Preto - SP;
- Diferenças nas plantas industriais.

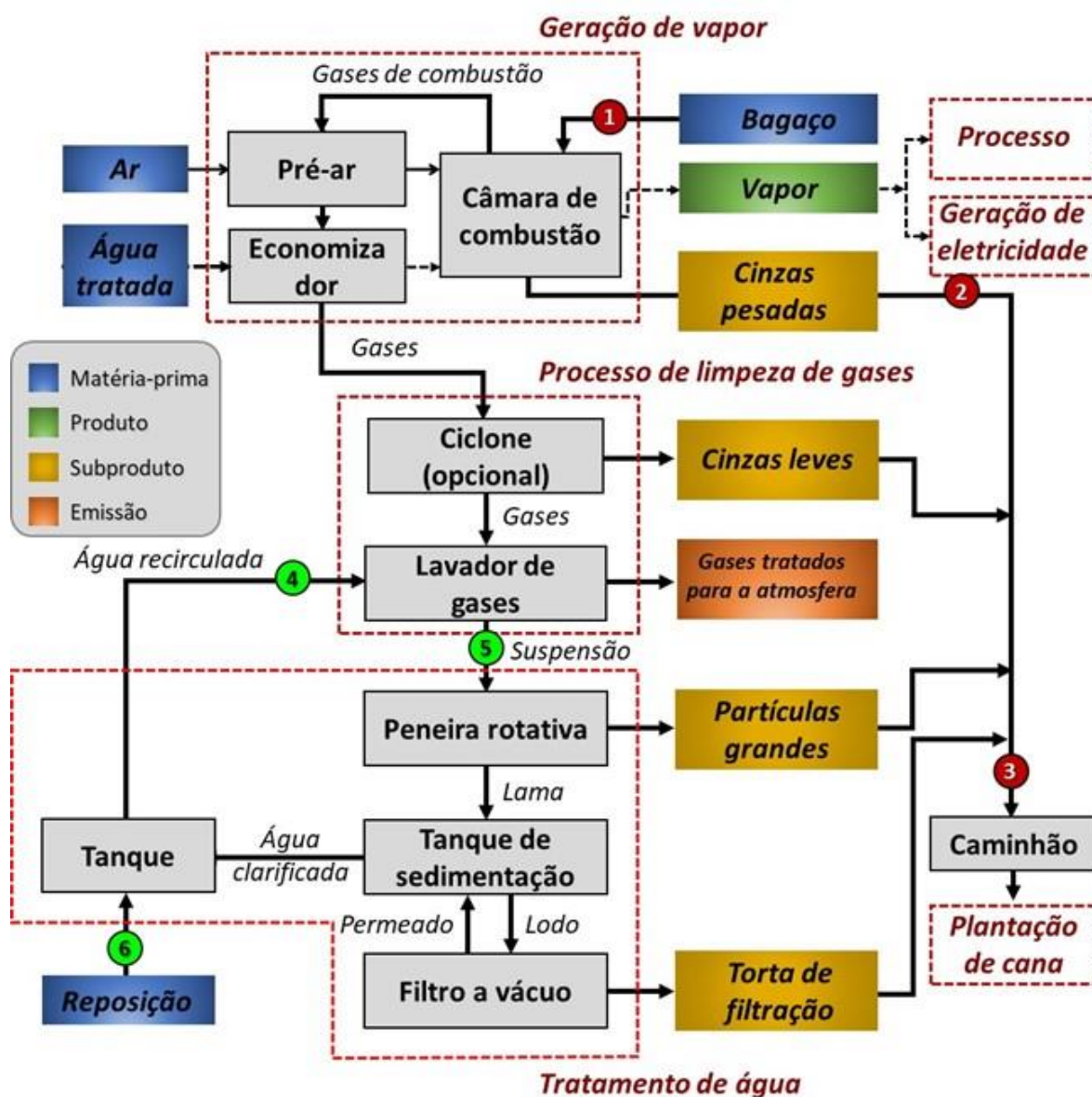
Foram realizadas coletas em oito usinas parceiras, as quais receberam um número de identificação para sigilo e anonimato industrial. Em uma das usinas foram realizadas duas coletas, uma no início e outra no final da safra.

O critério de localização foi definido para facilitar a locomoção para as coletas de amostras e informações nas usinas. Para a remoção do particulado nos gases de combustão as usinas podem optar por duas tecnologias diferentes, o lavador de gases (via úmida) ou o precipitador eletrostático (via seca). Com isso foi definido o critério de diferenças nas plantas industriais.

4.2 DEFINIÇÃO DE PONTOS DE COLETA E REALIZAÇÃO DE COLETAS DE AMOSTRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, CINZA, FULIGEM, ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES E CAPTAÇÃO

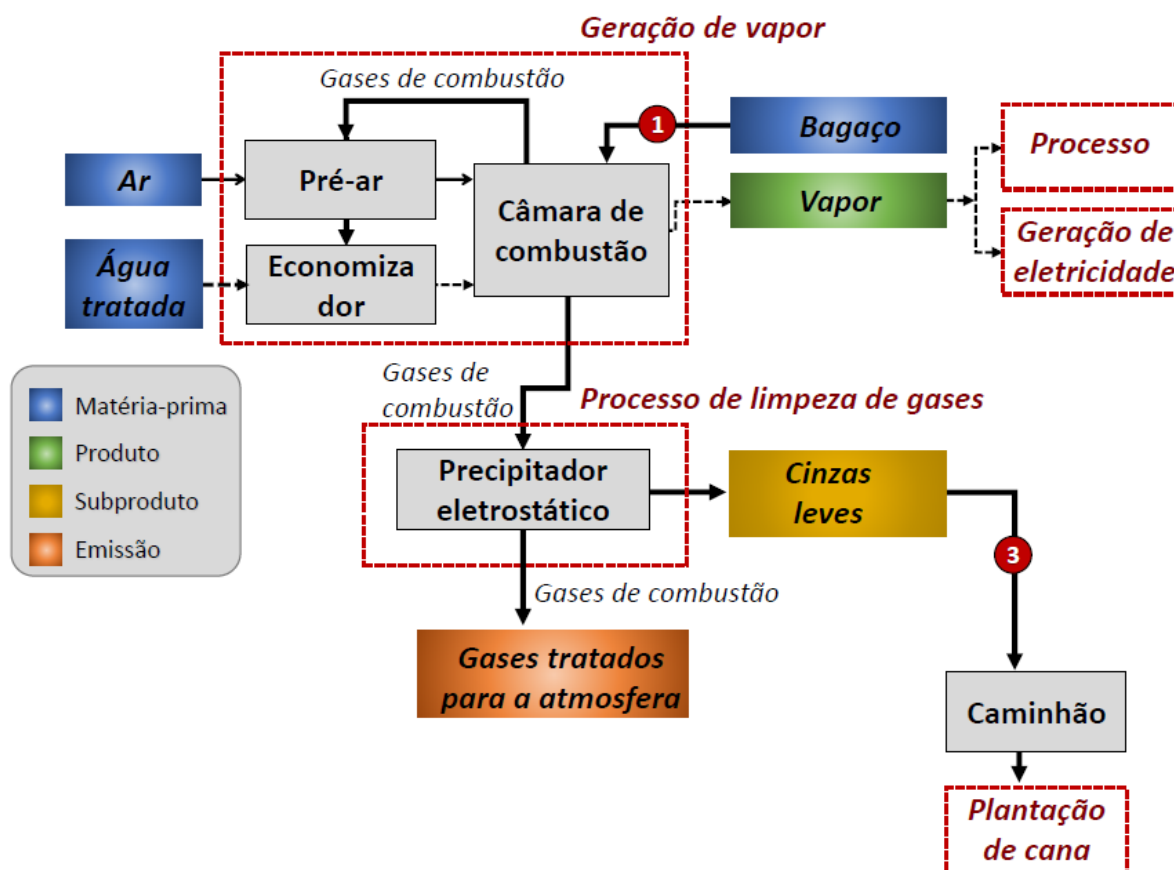
As Figuras 33 e 34 exemplificam o fluxograma de processos industriais de uma usina, podendo-se observar a etapa de geração da água de lavagem de gases, do bagaço, cinza e torta de fuligem.

Figura 33. Fluxograma simplificado de processos de uma usina e pontos de coleta de amostras em plantas com sistema de lavador de gases



Fonte: Autor, 2022.

Figura 34. Fluxograma simplificado de processos de uma usina e pontos de coleta de amostras em plantas com sistema de precipitador eletrostático



Fonte: Autor, 2022.

Todas as amostras foram coletadas no ano de 2021, safra 2021/2022. O período do dia escolhido para a coleta foi o matutino, para manter o máximo de padronização possível.

Para a coleta de bagaço, cinza e torta de fuligem foram utilizados sacos transparentes, os quais foram lacrados após a coleta para preservação das amostras. Para as amostras da água de entrada do lavador de gases, água de saída do lavador de gases e a água de captação, foram utilizados galões de 5 L, os quais também foram lacrados.

As coletas foram acompanhadas e guiadas por profissionais das usinas nos respectivos setores. Foram coletadas, também, informações sobre o processo que eram relevantes nas análises e para o estudo.

As Figuras 33 e 34 apresentam os pontos de coleta. Ressalta-se que foram adotados alguns procedimentos de coleta para minimizar possíveis erros ou diferenças. O número 1 representa o ponto de coleta do bagaço, o qual foi coletado na esteira, logo após a saída da moenda, como mostra a Figura 35, para evitar possíveis degradações.

Figura 35. Ponto 1 de coleta de bagaço



Fonte: Autor, 2022.

O ponto 2 é o ponto de coleta de cinzas no cinzeiro da caldeira (Figura 36). Este ponto sofreu algumas alterações de acordo com cada usina devido às diferenças industriais.

Figura 36. Ponto 2 de coleta de cinza na caldeira



Fonte: Autor, 2022.

O ponto 3 representa a coleta da torta de fuligem, realizada no final do filtro a vácuo como mostra a Figura 37, no processo com lavador de gases, quando estava a caminho da caçamba do caminhão. A coleta da cinza com fuligem no processo com precipitador eletrostático também foi realizada antes de cair no caminhão.

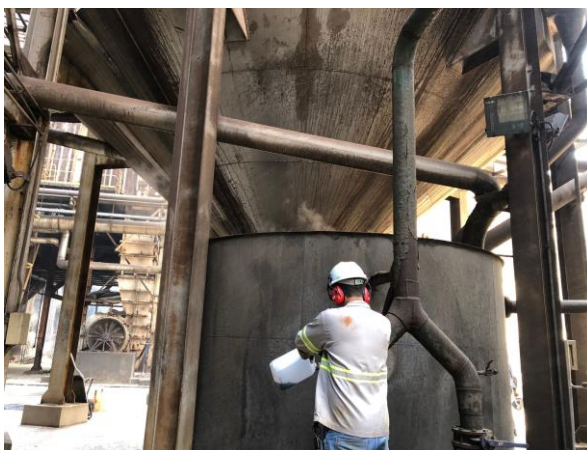
Figura 37. Ponto 3 de coleta da torta de fuligem no filtro a vácuo



Fonte: Autor, 2022.

O ponto 4 representa a água clarificada e o ponto 5 a água de saída do lavador (Figura 38). A coleta de água clarificada também foi realizada em alguns pontos diferentes de acordo com as usinas, pois algumas não tinham ponto de coleta na entrada do lavador de gases, então a mesma era coletada na saída do tratamento, com a mesma composição físico-química para o outro ponto, uma vez que se trata da mesma água.

Figura 38. Ponto 5 de coleta de água na saída do lavador de gases



Fonte: Autor, 2022.

O ponto 6 representa o ponto de coleta da água de captação, o qual sofreu algumas alterações devido às variações na planta industrial.

Separou-se aproximadamente 1 kg de amostra de bagaço, cinza e torta de fuligem e 4 L de amostras das águas do sistema de lavagem de gases os quais foram acondicionados sob refrigeração para futuras análises.

As amostras coletadas nas usinas apresentaram algumas variações visuais entre elas como umidade e cor. As Figuras 39 e 40 mostram um dos materiais coletados.

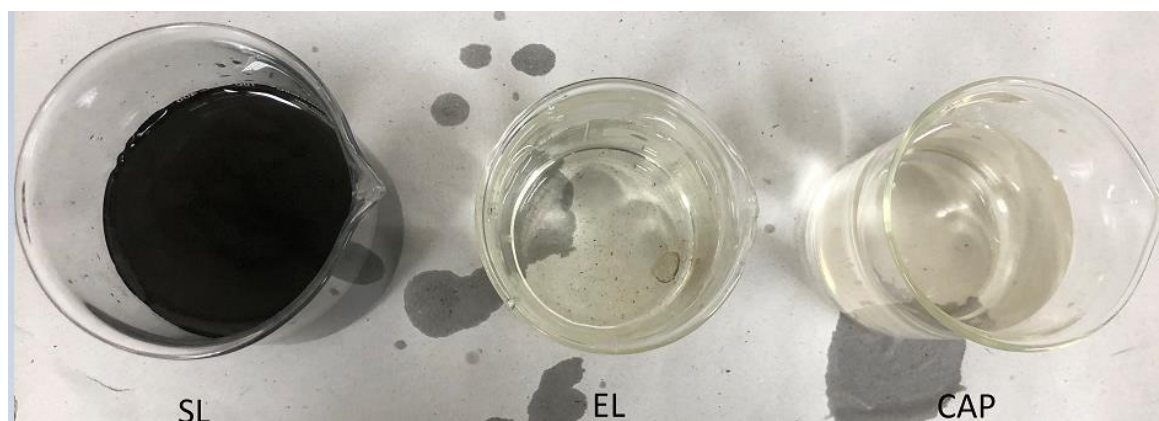
Figura 39. Amostras sólidas de bagaço, torta de fuligem e cinzas coletadas em uma das usinas



*BG: Bagaço; TF: Torta de fuligem; C: Cinza.

Fonte: Autor, 2022.

Figura 40. Amostras líquidas do sistema de lavagem de gases coletadas em uma das usinas



*SL: Saída do lavador; EL: Entrada do lavador; CAP: Captação.

Fonte: Autor, 2022.

Devido a alguns fatores, como diferenças no processo produtivo ou ponto de coleta inacessível ou inexistente, não foi possível realizar algumas coletas. A Tabela 14 apresenta o código de identificação das usinas e quais amostras foram coletadas, assinaladas com um X.

Tabela 14. Amostras coletadas nas usinas

Código	Bagaço	Cinza	Torta de fuligem	Água de entrada do lavador	Água de saída do lavador	Água de captação
1	X	X				X
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	
4	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X
6	X		X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	
9	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autor, 2022.

A usina com código 1 não possui lavador de gases, e para a coleta do material particulado presente nos gases de combustão utiliza-se precipitador eletrostático, o qual realiza a separação a seco da cinza e fuligem em uma única fração. Nas demais usinas o material particulado é coletado separadamente na forma de cinza (no cinzeiro) e torta de fuligem (no lavador).

Os códigos 2 e 3 representam duas coletas na mesma usina em épocas diferentes do ano (início e fim de safra), respectivamente.

4.3 PREPARO DE AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES, DO BAGAÇO, CINZA E DA TORTA DE FULIGEM

Na caracterização das amostras coletadas, alguns parâmetros necessitaram de um procedimento prévio de preparação, sendo: extração em meio ácido (nítrico e clorídrico) nas amostras de água do sistema de lavagem de gases para determinação de metais; extração via seca para determinação de metais; solubilização em água desmineralizada para quantificação de cloretos e retirada da umidade presente nas amostras de bagaço, cinza e torta de fuligem para quantificação do teor de carbono.

4.3.1 Preparação das Amostras

Para a quantificação dos metais nas amostras sólidas, foi realizada digestão via seca e o extrato foi reconstituído com ácido nítrico. A digestão das águas foi via úmida com adição de

ácido nítrico e clorídrico sob forte aquecimento. Ambos os extratos foram reconstituídos a 100 mL (APHA *et al.*, 2017).

Para a quantificação de cloretos em amostras sólidas foi necessário realizar uma adaptação da metodologia de solubilização descrita na NBR 10006 (ABNT, 2004) para uma posterior análise titrimétrica (APHA *et al.*, 2017).

Para a medição do teor de carbono nas amostras sólidas (bagaço, cinza e torta de fuligem) foi necessário secá-los em estufa a 100 °C, durante aproximadamente 24 horas.

4.3.2 Caracterização das Amostras

As caracterizações das amostras foram realizadas através de análises físico-químicas conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Metodologias aplicadas nas caracterizações realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos (LRH) da UNAERP

Parâmetro	Unidade	LDM	Unidade	Metodologia	(APHA <i>et al.</i> , 2017)
Umidade	% (p/p)	0,0001	% (p/p)	Gravimétrico	SM 2540 E
Sólidos totais fixos	% (p/p)	0,0001	% (p/p)	Gravimétrico	SM 2540 E
Sólidos totais voláteis	% (p/p)	0,0001	% (p/p)	Gravimétrico	SM 2540 E
Sólidos totais	% (p/p)	0,0001	% (p/p)	Gravimétrico	SM 2540 E
pH	-	0,01	-	Eletrométrico	SM 4500-H+ B
Cloretos	mg/L	0,5	mg/L	Titrimétrico	SM 4500-Cl C
Alumínio	mg/L	0,01	mg/L	Espectrofotométrico	SM 3500-AL B
Metais (Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu e Zn)	mg/L	0,01	mg/L	Espectrofotometria de absorção atômica	SM 3120 B / 3500 K B / 3500 Na B / 3111 B
Teor de carbono	% (p/p)	0,1	% (p/p)	Combustão infravermelho	TOC - L SHIMADZU SSM 5000A

*LDM: Limite de detecção do método; SM: Standard Methods

Fonte: Autor, 2022.

A Tabela 16 contém a relação entre amostra e caracterização realizada marcada com um X.

Tabela 16. Relação entre amostra e caracterização

Amostra x Parâmetros	Umidade	Sólidos totais fixos	Sólidos totais voláteis	Sólidos totais	pH	Cloretos	Alumínio	Metais	Teor de carbono
Bagaço	X	X	X	X		X		X	X
Cinza	X	X	X	X		X		X	X
Torta de fuligem	X	X	X	X		X		X	X
Água de entrada do lavador					X	X	X	X	
Água de saída do lavador					X	X	X	X	
Água de captação					X	X	X		

Fonte: Autor, 2022.

Algumas das amostras foram selecionadas para ensaios complementares de dioxinas, furanos, análise elementar e fluorescência de raios X. Para a quantificação de dioxinas e furanos considerou-se a quantidade de cloro presente na fuligem e para a quantificação elementar considerou-se o teor de sólidos voláteis e teor de carbono na fuligem.

Os experimentos para quantificação de dioxinas e furanos (técnica analítica de cromatografia a gás acoplada ao detector de espectrômetro de massa (CG-MS)) e para a realização da análise elementar, utilizou-se o equipamento da marca *ThermoScientific* modelo *FlashSmart*, ambos foram realizados por empresas terceirizadas. As metodologias que foram aplicadas para a caracterização das amostras estão localizadas nos anexos “A” e “B”, respectivamente. Amostras da água da saída do lavador e torta de fuligem da usina 2 e cinza da usina 1 foram submetidas para caracterização de dioxinas e furanos.

Realizou-se, também, uma análise com um espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva da marca *PANalytical* modelo *MiniPal4* para confirmar a presença de alguns elementos químicos (valores encontrados no anexo “C”).

As amostras de torta de fuligem das usinas 2 e 6 foram submetidas para caracterização elementar. Para a usina 1, que não possuía sistema de lavagem de gases, enviou-se amostra de cinza coletada no precipitador para caracterização.

4.4 BALANÇO DE MASSA

Foram realizados balanços na caldeira e no sistema de tratamento de gases para quantificar a formação de fuligem com base no bagaço queimado (dado fornecido pela usina) por meio de parâmetros da literatura (INNOCENTINI *et al.*, 2021) e determinar a vazão de furanos gerados através da Equação 5.

$$G_{\text{furanos}} = T_{\text{furanos}} * G_{\text{fuligem seca}} \quad (5)$$

Onde:

G_{furanos} = Vazão de furanos [kg/h];

T_{furanos} = teor de furanos [kg/kg];

$G_{\text{fuligem seca}}$ = vazão mássica de fuligem seca [kg/h].

Para a determinação do poder calorífico superior e inferior, as Equações (2), (3) e (4) foram utilizadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentadas as caracterizações e os resultados obtidos na pesquisa e discussões válidas. Os resultados das análises de dioxinas e furanos estão representados no Anexo “A”, no Anexo “B” estão os resultados das análises elementares e no Anexo “C” estão apresentados os resultados da análise com um espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva. Os resultados das demais caracterizações estão representados nos Apêndices “A” até “I”.

A Tabela 17 apresenta as datas em que as coletas foram realizadas, as mesmas não estão em ordem cronológica.

Tabela 17. Data de coleta de amostras e informações nas usinas

Usina	Data coleta	Tratamento dos gases
1	01/10/2021	Via seca
2	24/09/2021	Via úmida
3	04/05/2021	Via úmida
4	08/09/2021	Via úmida
5	17/09/2021	Via úmida
6	02/08/2021	Via úmida
7	26/08/2021	Via úmida
8	20/08/2021	Via úmida
9	25/06/2021	Via úmida

Fonte: Autor, 2022.

Ressalta-se, também, que as usinas 2 e 3 representam a mesma usina com coletas realizadas em períodos diferentes.

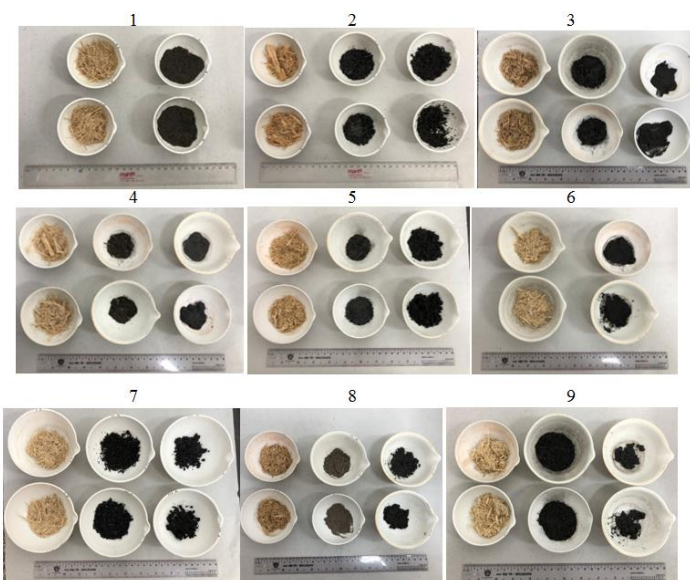
Foram retiradas fotos das amostras de bagaço, cinza e torta de fuligem *in natura* (Figura 41), secas (após 1 dia em estufa a 110 °C onde ocorre toda eliminação da água) como mostra a Figura 42, e calcinadas após permanecerem na mufla a 550 °C durante 3 h, onde ocorre a volatilização da matéria orgânica, como mostra a Figura 43.

Figura 41. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) *in natura*.



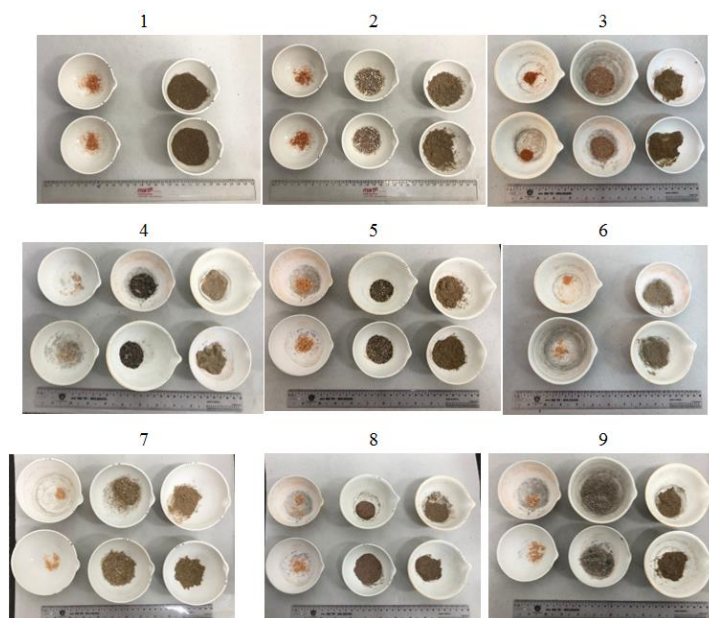
Fonte: Autor, 2022.

Figura 42. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) seca.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 43. Amostra de bagaço (esquerda), cinza (meio) e torta de fuligem (direita) calcinada.



Fonte: Autor, 2022.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO

Os valores de umidade, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, teor de carbono (COT), cloretos e metais do bagaço estão na Tabela 18 (ponto 1 nas Figuras 33 e 34).

Tabela 18. Resultados das análises realizadas no bagaço

Bagaço														
Usina	Umidade	Sólidos totais	Sólidos totais fixos	Sólidos totais voláteis	COT	Cloretos	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
(n°)	(%bu)	(%bu)	(%bs)	(%bs)	(%bs)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1	52,9	47,1	3,3	96,7	54,5	297	765	336	1329	171	98	3	5	6
2	47,9	52,1	1,8	98,2	56,3	244	460	411	7699	75	68	10	0	4
3	50,0	50,0	2,5	97,5	51,8	272	746	425	1407	448	125	18	0	3
4	47,8	52,2	1,5	98,5	58,7	280	295	222	1422	180	21	16	0	6
5	48,3	51,7	3,1	96,9	56,8	268	634	385	1090	44	139	24	0	25
6	49,0	51,0	2,2	97,8	57,8	131	349	269	1081	197	36	3	0	5
7	44,1	55,9	2,3	97,7	56,7	175	434	265	728	156	71	3	0	5
8	46,1	53,9	1,8	98,2	59,2	180	476	274	1123	43	38	0	0	4
9	43,3	56,7	2,1	97,9	53,4	204	610	399	1410	238	88	22	0	8
Média	47,7	52,3	2,3	97,7	56,1	227,9	529,8	331,9	1921,0	172,5	76,0	10,9	0,6	7,5
Desvio	3,0	3,0	0,6	0,6	2,5	57,4	167,4	75,8	2178,4	124,4	40,5	9,3	1,8	6,9
CV (%)	6,2	5,6	26,0	0,6	4,4	25,2	31,6	22,8	113,4	72,2	53,4	85,2	300,0	92,6

Fonte: Autor, 2022.

Com os dados apresentados na Tabela 18 nota-se que a umidade, sólidos totais, sólidos totais fixos (cinzas), sólidos totais voláteis e teor de COT (valores entre 50% e 60%) são

parâmetros semelhantes nas amostras de bagaço. Nota-se também o elevado teor de sólidos totais voláteis do bagaço, por isso ocorre uma diminuição significativa no bagaço após a realização da calcinação (Figuras 42 e 43). O teor de cloretos apresentou uma variação, a qual pode-se ter influência do defensivo agrícola utilizado no plantio da cana-de-açúcar. Para os metais, foram obtidos alguns valores com uma maior variação como Ca, Na, Fe e Mn sendo o Fe um possível catalisador para a reação de formação de dioxinas e furanos. A usina 2 apresentou um valor de K superior às demais usinas, 7699 mg_{potássio}/kg_{bagaço}, já as demais usinas tiveram valores menores de 1500 mg_{potássio}/kg_{bagaço}. O Cu, foi detectado apenas na usina 1 em pequena quantidade, 5 mg_{potássio}/kg_{bagaço}.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA CINZA

Os valores obtidos nas caracterizações da cinza (ponto 2 na Figura 33) estão na Tabela 19. É importante mencionar que não houve coleta de cinza na usina 1, pois nesta planta possui apenas uma saída para o material particulado, cinza e fuligem no mesmo ponto de coleta. Também não houve coleta de cinza na usina 6 devido a não existência de um ponto de coleta para a mesma.

Tabela 19. Resultados das análises realizadas na cinza

Usina	Umidade	Cinza												
		Sólidos totais	Sólidos totais fixos	Sólidos totais voláteis	COT	Cloretos	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
(nº)	(%bu)	(%bu)	(%bs)	(%bs)	(%bs)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,2	99,8	92,3	7,7	5,7	256	811	651	11951	113	528	20	3	9
3	1,8	98,2	90,6	9,4	2,7	130	310	282	1514	36	167	7	1	2
4	6,1	93,9	96,6	3,4	2,8	89	7255	3243	12409	159	1553	64	12	11
5	0,0	100,0	96,9	3,1	1,8	59	3505	2096	1648	45	1734	32	0	3
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	70,1	29,9	68,9	31,1	44,7	159	7370	3250	9363	445	1549	102	9	14
8	23,8	76,2	100,0	0,0	0,1	71	852	355	884	64	285	11	1	7
9	0,8	99,2	88,8	11,2	13,6	244	6723	3282	16725	150	1317	88	4	7
Média	14,7	85,3	90,6	9,4	10,2	143,9	3832,1	1879,9	7784,9	144,7	1019,0	46,3	4,4	7,5
Desvio	25,9	25,9	10,3	10,3	15,8	80,0	3243,2	1422,1	6400,2	141,1	667,5	38,4	4,6	4,2
CV (%)	176,1	30,3	11,4	109,9	155,4	55,6	84,6	75,6	82,2	97,6	65,5	82,9	103,4	55,0

Fonte: Autor, 2022.

A umidade sofreu uma leve variação devido a diferenças nos pontos de coleta (usinas 7 e 8) porém, normalmente as cinzas apresentaram uma baixa umidade, pois foram coletadas no cinzeiro da caldeira. Cinzas com um teor de sólidos totais voláteis elevado pode ser resultado

de uma queima incompleta do bagaço, como na usina 7, com um teor de sólidos totais voláteis de 31,1%. As amostras que demonstraram um maior teor de sólidos totais voláteis (usinas 7 e 9) acusaram também os maiores teores de carbono. O teor de cloretos apresentou uma variação, valores obtidos entre 256 e 59 mg_{cloretos}/kg_{cinza}, o qual pode-se ter influência do bagaço utilizado. Pelos valores obtidos em laboratório, nota-se que a cinza é rica em Ca, Mg e K, que são macro nutrientes para plantas e, devido a isso, as cinzas são descartadas nas lavouras de cana-de-açúcar. A cinza também apresentou valores significativos de Fe e traços de Cu e Zn, catalisadores da reação de formação de dioxinas e furanos.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE FULIGEM

Os valores obtidos nas caracterizações da torta de fuligem (ponto 3 nas Figuras 33 e 34) estão na Tabela 20.

Tabela 20. Resultados das análises realizadas na torta de fuligem

Torta de fuligem														
Usina	Umidade	Sólidos totais	Sólidos totais fixos	Sólidos totais voláteis	COT	Cloretos	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
(n°)	(%bu)	(%bu)	(%bs)	(%bs)	(%bs)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1	16,1	83,9	93,1	6,9	5,6	1499	10305	6575	42063	185	3532	109	19	42
2	66,6	33,4	78,4	21,6	23,1	694	10594	5797	53751	747	3611	175	13	24
3	62,8	37,2	81,5	18,5	16,7	479	12309	4165	3702	659	3443	129	16	81
4	85,6	14,4	54,6	45,4	48,1	433	62570	4840	18422	1462	4817	316	21	290
5	61,9	38,1	72,6	27,4	23,6	295	10646	4779	13379	593	6205	133	9	9
6	86,7	13,3	46,4	53,6	54,8	187	14995	6811	24979	1322	3254	262	15	46
7	79,3	20,7	51,0	49,0	58,9	110	10913	3995	16070	956	2988	153	12	19
8	67,4	32,6	84,1	15,9	15,6	108	17936	7097	20307	782	6049	246	18	24
9	65,8	34,2	81,7	18,3	15,8	52	20943	6947	31735	360	4434	293	32	172
Média	65,8	34,2	71,5	28,5	29,1	428,4	19023,5	5667,4	24934,3	785,2	4259,3	201,7	17,3	78,6
Desvio	20,9	20,9	16,6	16,6	19,5	453,0	16753,9	1242,8	15398,0	413,9	1202,7	78,0	6,6	93,5
CV (%)	31,8	61,3	23,3	58,3	66,9	105,8	88,1	21,9	61,8	52,7	28,2	38,7	38,1	118,9

Fonte: Autor, 2022.

Percebe-se uma menor umidade na torta de fuligem da usina 1 devido à utilização do precipitador eletrostático, o qual realiza a limpeza dos gases a seco. Essa diferença no processo gera a diferença de umidade (umidade adicionada propositalmente para evitar um possível arraste por correntes de ar durante a queda para o caminhão) quando comparado com as demais amostras. A umidade da torta de fuligem não variou muito, foi reportado um problema no filtro a vácuo pela usina 6 no dia da coleta, justificando a umidade elevada. Foram obtidos valores de

umidade acima de 60% nas amostras de torta de fuligem o que gera um aumento nos custos do transporte para o campo pois, 60% do material presente na caçamba do caminhão é água.

Os sólidos totais voláteis (matéria orgânica que ainda pode ser queimada) possuem valores razoavelmente elevados resultante de uma possível ineficiência da caldeira o que gera uma queima incompleta do bagaço. A torta de fuligem com menor quantidade de sólidos totais voláteis é proveniente da usina 1 a qual, utiliza-se um difusor antes da moega o que pode resultar em uma diferença na combustão do bagaço.

Foram obtidos os maiores valores de sólidos totais voláteis para as amostras das usinas 4, 6 e 7 que também obtiveram os maiores resultados de teor de carbono portanto, o elevado teor de carbono está diretamente relacionado com um elevado teor de sólidos totais voláteis ou seja, matéria orgânica com poder calorífico disponível para uma possível nova combustão.

Obteve-se o maior valor do teor de cloreto na usina com o precipitador eletrostático e uma variação de $52 \text{ mg}_{\text{cloreto}}/\text{kg}_{\text{fuligem}}$ até $694 \text{ mg}_{\text{cloreto}}/\text{kg}_{\text{fuligem}}$ nas demais amostras. Um dos precursores da formação de dioxinas e furanos é o cloro, podendo-se relacionar a presença de cloro com a presença de dioxinas e furanos.

Se comparar a torta de fuligem com as cinzas, a mesma possui teores maiores de Ca, Mg e K sendo assim também um ótimo fertilizante. A fuligem também apresenta teores expressivos de Na, Fe e Mn. Nota-se também traços de Cu e Zn, sendo o Fe, Cu e Zn possíveis metais catalisadores para a reação de formação de dioxinas e furanos.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ENTRADA DO LAVADOR DE GASES

Os resultados das caracterizações da água da entrada do lavador de gases (ponto de coleta número 4 na Figura 33) está na Tabela 21. Como a usina 1 apresenta a limpeza de gases em via seca, a mesma não possui água de entrada no sistema de lavagem de gases.

Tabela 21. Resultados das análises realizadas na água de entrada do lavador de gases

Água de entrada do lavador de gases											
Usina (nº)	pH (-)	Cloretos (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8,4	1061	61,1	295,5	12573,3	111,5	1,36	0,40	0,00	0,05	0,002
3	6,6	743	155,4	281,3	2545,0	99,2	0,93	0,36	0,01	0,10	0,009
4	7,4	234	246,4	97,0	840,7	135,5	3,87	0,26	0,01	0,13	0,014
5	7,3	507	55,2	110,5	838,0	182,0	0,93	0,25	0,00	0,02	0,009
6	8,8	211	41,6	122,1	1109,0	28,5	12,54	0,56	0,04	0,20	<0,001
7	8,4	176	46,4	116,9	1804,0	15,9	0,21	0,11	0,04	0,02	<0,001
8	8,3	173	38,5	31,4	562,0	16,0	0,58	0,16	0,01	0,27	0,043
9	8,3	56	18,3	25,4	379,8	11,0	0,57	0,06	2,49	0,16	0,040
Média	7,9	395,3	82,8	135,0	2581,5	74,9	2,63	0,27	0,32	0,12	0,02
Desvio	0,7	348,2	77,8	101,7	4098,9	65,7	4,16	0,16	0,88	0,09	0,02
CV (%)	9,3	88,1	93,9	75,3	158,8	87,7	158,6	61,3	270,8	76,1	89,7

Fonte: Autor, 2022.

Os valores de pH não sofreram muita alteração entre as usinas, porém, as usinas 2 e 3 representam 2 coletas na mesma usina em épocas distintas da safra e ocorreu uma variação no valor do pH e na concentração de cloretos. Esta usina (2 e 3) também possui os maiores valores de cloreto na água utilizada na entrada do lavador de gases (água clarificada). Os valores das demais amostras variaram de 56 mg_{cloreto}/L_{água} até 234 mg_{cloreto}/L_{água}.

A água que circula no sistema de lavagem de gases (entrada do lavador), possui altos teores de Ca, Mg, K e Na. Os 3 primeiros metais, Ca, Mg e K também são encontrados em altas quantidades nas cinzas e na torta de fuligem. Foram encontrados traços de Fe, Cu, Zn e Al catalisadores para a formação de dioxinas e furanos.

5.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE SAÍDA DO LAVADOR DE GASES

Os valores obtidos com as caracterizações da água de saída do lavador de gases (ponto de coleta número 5 na Figura 33) está na Tabela 22. Como a usina 1 apresenta a limpeza de gases em via seca, a mesma não possui água de saída no sistema de lavagem de gases.

Tabela 22. Resultados das análises realizadas na água de saída do lavador de gases

Água de saída do lavador de gases											
Usina (nº)	pH (-)	Cloretos (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8,4	1260	61,8	328,5	10460,0	125,6	39,32	1,32	0,09	0,22	<0,001
3	7,8	1362	408,5	766,5	5189,7	132,2	519,97	4,97	1,01	3,55	<0,001
4	7,9	288	223,3	56,1	1049,3	140,9	58,90	1,27	0,23	0,68	0,005
5	7,5	474	56,6	104,8	467,5	150,0	11,09	0,43	0,00	0,08	0,009
6	8,6	244	60,7	173,6	1544,5	33,2	41,01	1,47	0,09	0,62	<0,001
7	8,3	205	112,4	173,5	1742,5	16,1	48,50	0,77	0,11	0,24	<0,001
8	9,1	328	161,6	119,3	1196,7	16,5	29,59	1,58	0,12	0,00	<0,001
9	8,5	68	19,2	26,2	267,3	8,3	7,26	0,20	0,00	0,00	0,034
Média	8,3	528,5	138,0	218,6	2739,7	77,8	94,5	1,50	0,21	0,67	0,02
Desvio	0,5	496,9	127,7	239,8	3475,3	64,2	172,8	1,49	0,33	1,19	0,02
CV (%)	6,3	94,0	92,5	109,7	126,8	82,4	183,0	99,2	161,6	177,2	98,2

Fonte: Autor, 2022.

Os valores de pH não sofreram alterações significativas. Os valores de cloretos maiores na água de saída do lavador de gases do que na água de entrada do lavador podem ser justificados pelo cloreto estar adsorvido nos sedimentos da fuligem e durante a lavagem dos gases de combustão são transferidos para a água.

A água que sai do lavador de gases também possui altos teores de Ca, Mg, K e Na os quais também são encontrados na água clarificada. Os teores de metais presentes na água de saída do lavador são maiores que os valores obtidos na água clarificada, água que entra no lavador, justificando-se o balanço de massa pois, o sistema é basicamente fechado, sendo necessário a adição da água de captação apenas quando ocorre a diminuição do volume circulante ou seja, a diferença dos metais é proveniente da fuligem lavada.

5.6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CAPTAÇÃO

Não ocorreu coleta da água de captação nas usinas 3 e 8. Apesar do sistema de lavagem de gases ser fechado, podem ocorrer perdas de água. A água que supre esta necessidade é a água que foi captada de um rio, represa, poço, entre outros (ponto de coleta número 6 na figura 33), foram realizadas apenas 3 caracterizações, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23. Resultados das análises realizadas na água de captação

Água de captação			
Usina (nº)	pH (-)	Cloretos (mg/L)	Al (mg/L)
1	6,8	19,83	<0,001
2	7,4	5,17	0,011
3	-	-	-
4	5,8	66,20	0,011
5	7,3	65,84	0,018
6	7,4	7,85	<0,001
7	7,2	2,74	<0,001
8	-	-	-
9	7,1	4,67	0,019
Média	7,0	24,6	0,0
Desvio	0,6	28,8	0,0
CV (%)	8,0	117,1	29,5

Fonte: Autor, 2022.

Não ocorreram variações significativas de pH nas 3 amostras de água (captação, entrada e saída do lavador).

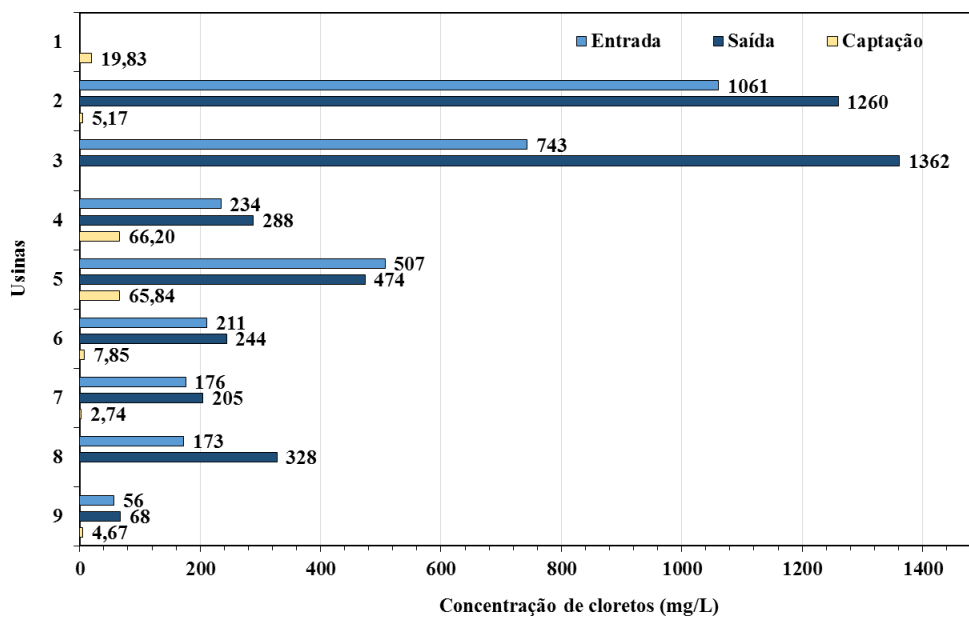
Para rastrear o cloro presente no sistema e verificar se o mesmo estava sendo inserido no sistema através da captação foram realizados os ensaios de cloretos na água de captação utilizada para reposição no processo, descartando assim esta hipótese pois, foram obtidos valores pequenos.

Os valores dos teores de alumínio obtidos na água de captação foram extremamente baixos, com uma variação de 0,000 até 0,019. Na água clarificada a variação foi de 0,000 até 0,043. Já na água de saída do lavador de gases, a variação foi de 0,000 até 0,034. Esta variação pode estar relacionada com o sistema de tratamento, o qual pode utilizar polímeros com alumínio para a realização da limpeza da água no clarificador.

5.7 COMPARAÇÃO DOS CLORETOS

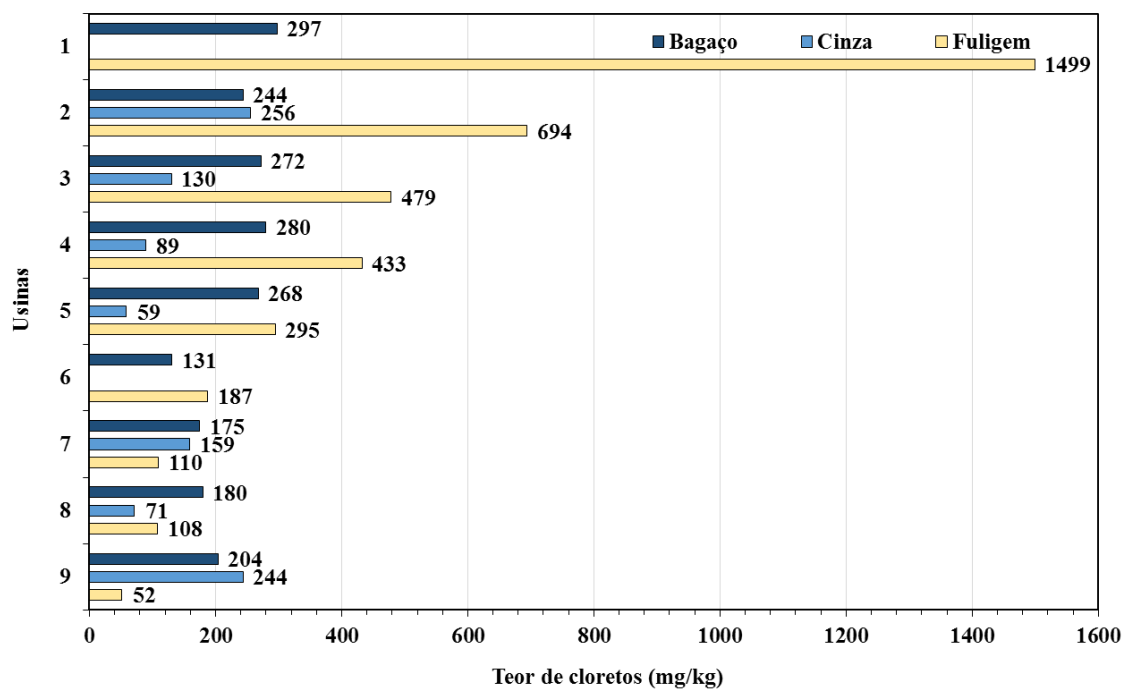
As Figuras 44 e 45 destacam a diferença de cloretos presente em todas as amostras.

Figura 44. Variação de cloretos nas amostras de água da entrada e saída do lavador de gases e captação



Fonte: Autor, 2022.

Figura 45. Variação de cloretos nas amostras de bagaço, cinza e torta de fuligem



Fonte: Autor, 2022.

Com as Figuras 44 e 45, pode-se destacar que o cloreto presente no sistema não é proveniente da água de captação e por se tratar de um sistema fechado, o cloreto presente pode

estar sendo inserido no sistema pelo bagaço através de uma possível contaminação da cana-de-açúcar por defensivos agrícolas contendo cloro na composição, detectou-se a presença de cloro em todas as amostras de bagaço e teores ainda maiores na fuligem o que pode ser a justificativa para a diferença de cloretos presentes na água de entrada e na água de saída do lavador de gases.

5.8 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE DIOXINAS E FURANOS

Os resultados obtidos na caracterização de dioxinas e furanos das usinas 1 e 2, usinas as quais obtiveram maiores teores de cloreto na fuligem e possuem diferentes tecnologias de limpeza de gases, estão mostrados nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24. Resultados da caracterização de furanos na amostra de fuligem da usina 1

Compostos	Resultado (pg/kg)	LQ pg OMS TEQ/kg	OMS TEF	pg OMS TEQ/kg
2,3,7,8 - TetraCDF	<62,50	6,25	0,1	<LQ
1,2,3,7,8-PentaCDF	<156,30	4,689	0,03	<LQ
2,3,4,7,8-PentaCDF	581,84 ±7,52	46,89	0,3	174,55
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	498,55 ±6,44	15,63	0,1	49,85
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	<156,3	15,63	0,1	<LQ
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	9672,57 ±124,96	15,63	0,1	967,30
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	<156,30	15,63	0,1	<LQ
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	635,08 ±8,21	1,563	0,01	6,35
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	<156,30	1,563	0,01	<LQ
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	<437,50	0,13125	0,0003	<LQ
Somatória				1198,05

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

Tabela 25. Resultados da caracterização de furanos na amostra de fuligem da usina 2

Composto	Resultado (pg/kg)	LQ pg OMS TEQ/kg	OMS TEF	pg OMS TEQ/kg
2,3,7,8 - TetraCDF	101,14±1,31	6,25	0,1	10,11
1,2,3,7,8-PentaCDF	<156,30	4,689	0,03	<LQ
2,3,4,7,8-PentaCDF	<156,30	46,89	0,3	<LQ
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	<156,30	15,63	0,1	<LQ
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	<156,30	15,63	0,1	<LQ
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	<156,30	15,63	0,1	<LQ
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	<156,30	15,63	0,1	<LQ
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	<156,30	1,563	0,01	<LQ
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	<156,30	1,563	0,01	<LQ
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	<437,50	0,13125	3E-04	<LQ
Somatória				10,11

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

A partir dos resultados obtidos na caracterização das amostras, com dados fornecidos pelas usinas, pela literatura e com a adoção de 1 safra sendo igual 250 dias de operação de uma usina (valor médio aproximado, podendo variar de usina para usina) foi possível realizar um balanço para determinar a formação de furanos por hora, por tonelada de bagaço e de fuligem seca, como mostra a Tabela 26.

Tabela 26. Vazão e taxa de formação de furanos na fuligem seca das usinas 1 e 2

	Usina 1	Usina 2	
Amostra	Vazão	Vazão	Unidade
Bagaço	101,45	473,58	t/h
Fuligem seca	5,13	9,55	t/h
Furano	6,15	0,1	µg/h
Relação	Taxa de formação	Taxa de formação	-
Furano / Fuligem	1,2	0,01	µg furano/t fuligem seca
Furano / Bagaço	0,06	0,0002	µg furano/t bagaço

Fonte: Autor, 2022.

Considerando-se o período de funcionamento de uma usina de 250 dias e a vazão de furanos das usinas 1 e 2 de 6,15 e 0,10 µg/h, obtém-se valores de 36900 µg/safra e 580 µg/safra respectivamente.

A usina 1 utiliza no sistema de tratamento dos gases de combustão o precipitador eletrostático e a usina 2 o lavador de gases. Mesmo com uma moagem muito superior da usina 2 (473 t/h contra 101 t/h aproximadamente), foi detectado um valor muito menor de furanos na usina 2 (0,10 µg/h contra 6,15 µg/h). Este fato deve-se possivelmente ao precipitador eletrostático possuir uma maior eficiência de coleta de material particulado de menor diâmetro, no qual os furanos podem estar adsorvidos.

5.9 ANÁLISE ELEMENTAR E PODER CALORÍFICO DA FULIGEM

Através da análise elementar pode-se construir a Tabela 27.

Tabela 27. Composição elementar da fuligem (CHONS) das usinas 1, 2 e 6

Usina	Composição Elementar Fuligem						
	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)*	Outros elementos	Sólido fixo** (% base seca)
1	0,00	3,31	1,02	1,15	1,46	93,05	93,10
2	0,19	11,96	1,13	1,62	6,71	78,38	78,40
6	0,72	39,71	2,85	0,00	10,38	46,35	46,40

*Valor obtido indiretamente.

**Valores obtidos no laboratório LRH da UNAERP.

Fonte: Autor, 2022.

O Apêndice “J” contém a tabela com os valores e a realização dos cálculos para a obtenção do valor elementar de oxigênio aproximado presente nas amostras.

Observa-se na Tabela 27 o valor da coluna “Outros elementos” referem-se aos sólidos fixos presentes nas amostras os quais foram próximos aos valores obtidos de sólidos fixos da torta de fuligem no Laboratório de Recursos Hídricos (LRH) da UNAERP.

Para confirmar a presença do enxofre (S) nas amostras realizou-se uma análise com o auxílio de um espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva e obteve-se os dados da Tabela 28.

Tabela 28. Resultados obtidos com auxílio do espectrômetro de fluorescência

Fuligem - usina 1				Fuligem - usina 2				Fuligem - usina 6			
Elem.	% m/m	Óxidos	% m/m	Elem.	% m/m	Óxidos	% m/m	Elem.	% m/m	Óxidos	% m/m
Al	2,87	Al ₂ O ₃	4,90	Al	2,88	Al ₂ O ₃	4,78	Mg	1,13	MgO	1,75
Si	19,45	SiO ₂	34,76	Si	14,78	SiO ₂	26,28	Al	1,36	Al ₂ O ₃	2,31
P	0,88	P ₂ O ₅	1,47	P	0,76	P ₂ O ₅	1,32	Si	12,01	SiO ₂	21,91
S	0,55	SO ₃	0,99	S	0,83	SO ₃	1,55	P	0,86	P ₂ O ₅	1,52
Cl	0,50	K ₂ O	5,81	Cl	1,20	K ₂ O	5,58	S	0,80	SO ₃	1,51
K	7,07	CaO	3,06	K	6,58	CaO	3,99	Cl	0,26	K ₂ O	5,48
Ca	3,46	TiO ₂	2,20	Ca	4,32	TiO ₂	2,82	K	6,43	CaO	5,34
Ti	2,19	MnO	0,14	Ti	2,67	MnO	0,24	Ca	5,86	TiO ₂	1,03
Mn	0,19	Fe ₂ O ₃	4,98	Mn	0,31	Fe ₂ O ₃	7,75	Ti	1,00	MnO	0,21
Fe	6,08	Cl	0,36	Fe	9,06	Cl	0,89	Mn	0,28	Fe ₂ O ₃	3,81
Soma (%)	43,22	-	58,67	Soma (%)	43,38	-	55,19	Fe	4,52	Cl	0,20
								Soma (%)	34,51	-	45,06

Elem.: Elementos.

Fonte: Autor, 2022.

Esta análise, apresentada na Tabela 28, não detecta toda a composição do material e por isso a soma não totaliza os 100%. Esta soma quantifica a porcentagem dos elementos analisados na amostra em comparação com a massa analisada. Com a detecção dos elementos, o *software* considera o óxido mais provável e estável que esses elementos possam estar configurados e retorna-se os valores.

Observa-se também na Tabela 28 a presença de cloro em todas as amostras, bem como confirma os elevados teores de cálcio, potássio e ferro, elementos detectados anteriormente por outra metodologia. Detectou-se o magnésio apenas na amostra de fuligem da usina 6, embora esse elemento tenha sido detectado por meio de outra metodologia nas demais amostras.

Foi necessário calcular o valor aproximado do oxigênio elementar pois, devido a complicações técnicas, não foi possível quantificar-se o mesmo laboratorialmente. Para isso, foi considerado um critério para possibilitar a realização dos cálculos, como adotar que as amostras continham apenas os elementos CHONS.

Aplicando-se as Equações (2), (3) e (4) pode-se construir a Tabela 29.

Tabela 29. Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) nas amostras de fuligens das usinas 1, 2 e 6

	Usina 1		Usina 2		Usina 6		-
Equações	PCS	PCI	PCS	PCI	PCS	PCI	Unidade
2 e 3	2,42	1,8	4,62	2,74	15,66	12,92	MJ/kg
4	-	1,8	-	2,73	-	12,89	

Fonte: Autor, 2022.

A umidade da fuligem foi considerada para os cálculos do PCI de todas as amostras. Com estes valores, pode-se confirmar que com maiores teores de carbono obtém-se valores maiores de poder calorífico. A usina 1 apresentou o menor teor de carbono (3,31%) e consequentemente o menor valor de poder calorífico inferior (média de 1,80 MJ/kg) e o melhor resultado. A usina 6 teve maior teor de carbono (39,71%) e consequentemente foi obtido um maior valor de PCI (média 12,91 MJ/kg).

As usinas 1 e 2 apresentaram valores de PCI muito menores que o valor de PCI médio encontrado nas literaturas citadas para bagaço (16 MJ/kg) sendo eles, 1,80 MJ/kg e 2,74 MJ/kg aproximadamente respectivamente. No entanto, a usina 6 aproximou-se muito desse valor da literatura com resultado médio de 12,91 MJ/kg, sendo essa fuligem com um elevado PCI sendo descartada no campo.

A Tabela 30 apresenta uma relação entre o PCI médio do bagaço encontrado na literatura e os PCI das usinas 1, 2 e 6.

Tabela 30. Relação entre PCI do bagaço e da fuligem

	PCI Bagaço	PCI Fuligem	Equivalência de fuligem
Usina 1	16	1,80	8,89
Usina 2	16	2,74	5,84
Usina 6	16	12,91	1,24

Fonte: Autor, 2022.

Como apresentado na Tabela 30, 8,89 kg de fuligem equivalem a 1 kg de bagaço para a usina 1; 5,84 kg de fuligem equivalem a 1 kg de bagaço para a usina 2; para a usina 6, para obter-se o equivalente de 1 kg de bagaço necessita-se apenas de 1,24 kg de fuligem.

Levando-se em consideração o volume de fuligem gerada durante o período de operação de uma usina, nota-se que atualmente descarta-se uma grande parcela de energia no campo, em

especial observa-se um valor expressivo para a usina 6, onde a relação bagaço/fuligem é quase 1:1.

Algumas soluções podem ser aplicadas para amenizar este desperdício energético como a implantação de uma tecnologia para diminuir a umidade do bagaço antes de entrar na caldeira ou a implantação de uma nova caldeira, de menor tamanho, para a queima da fuligem residual.

6 CONCLUSÕES

O cenário atual das usinas do setor sucroenergético indica que o uso acentuado de pesticidas nas plantações de cana-de-açúcar pode estar relacionado a uma contaminação do bagaço que é utilizado nas caldeiras. O presente trabalho caracterizou o bagaço, os subprodutos gerados na combustão do bagaço (cinzas e torta de fuligem) e também a água utilizada na lavagem dos gases que circula em sistema fechado (água clarificada e água com material particulado) em oito usinas, sendo uma delas com tecnologia de limpeza de gases em via seca (precipitador eletrostático) e sete com limpeza de gases em via úmida (lavador de gases). As principais conclusões foram:

- a) Foi detectada a presença de cloretos nas amostras de bagaço (variação entre 131 e 297 mg/kg), de cinza (variação entre 59 e 256 mg/kg) e de fuligem (variação entre 52 e 1499 mg/kg);
- b) As cinzas apresentaram baixos valores de sólidos totais voláteis e COT (valores próximos de 10%);
- c) A torta de fuligem apresentou elevados teores de umidade (valores acima de 80%), aumentando-se os custos de transporte para o campo, onde é utilizada na plantação de cana-de-açúcar;
- d) As amostras de torta de fuligem que apresentaram maiores teores de sólidos totais voláteis (variação entre 6,9 e 53,6%) também apresentaram maiores teores de carbono (variação entre 5,6 e 58,9%), indicando a presença de matéria orgânica com poder calorífico;
- e) Foi detectado na fuligem e na cinza um elevado teor de ferro (variação entre 2988 e 6205 mg/kg e 167 e 1734 mg/kg) e baixos teores de cobre e zinco, metais catalisadores para a reação de formação de dioxinas e furanos;
- f) A água contendo material particulado apresentou uma concentração de cloretos maior (valor da usina 3 de 1362 mg/L) do que a água clarificada (valor da usina 3 de 743 mg/L), fortalecendo a hipótese de que o cloreto pode estar sendo introduzido no processo através de contaminação no bagaço;
- g) Constatou-se a presença de furanos em amostras de fuligem em usina com uso de precipitador eletrostático (1198,05 pg/kg de fuligem seca) e em usina com uso de lavador de gases (10,11 pg/kg de fuligem seca);

- h) Aplicando-se um balanço de massa, constatou-se a formação de 6,15 $\mu\text{g}_{\text{furano}}/\text{h}$ e 36900 $\mu\text{g}_{\text{furano}}/\text{safra}$ na fuligem da usina com tecnologia de limpeza de gases em via seca e 0,10 $\mu\text{g}_{\text{furano}}/\text{h}$ e 580 $\mu\text{g}_{\text{furano}}/\text{safra}$ na fuligem da usina com tecnologia de limpeza de gases em via úmida;
- i) As 3 amostras selecionadas para a realização de análise elementar apresentaram valores de teor de carbono 3,31%, 11,96% e 39,71%, respectivamente com valores médios de PCI de 1,80 MJ/kg, 2,74 MJ/kg e 12,91 MJ/kg, respectivamente. Comparando-se com o valor médio do PCI do bagaço encontrado na literatura de 16 MJ/kg, nota-se que o valor do PCI de uma das amostras de fuligem aproxima-se do PCI do bagaço, tendo como possibilidade uma diferente destinação como uma utilização mais nobre do que o descarte no campo.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, v. 2º Edição, p. 1–14, 2004.

ABRAPA. **Relatório de Gestão - Biênio 2017 - 2018** Brasília, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **MANUAL DE CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA NA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2009.

AGROLINK. **Bula 2,4-D Nortox**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/2-4-d-nortox_8434.html>. Acesso em: 15 mar. 2022a.

AGROLINK. **Bula Paraquate Alta 200 SL**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/paraquate-alta-200-sl_10228.html>. Acesso em: 15 mar. 2022b.

AGROLINK. **Bula Diuron Nortox 500 SC**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/diuron-nortox-500-sc_2935.html>. Acesso em: 15 mar. 2022c.

AGROLINK. **Bula Dual Gold**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/dual-gold_8774.html>. Acesso em: 15 mar. 2022d.

AGROLINK. **Bula Sulfentrazone 500 SC**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/sulfentrazone-500-sc_11079.html>. Acesso em: 15 mar. 2022e.

AGROLINK. **Bula Comet**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/comet_3133.html>. Acesso em: 15 mar. 2022f.

AGROLINK. **Bula Ativum**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/ativum_10257.html>. Acesso em: 15 mar. 2022g.

AGROLINK. **Bula Imidacloprid Nortox**. Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/imidacloprid-nortox_8724.html>. Acesso em: 15 mar. 2022h.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. [s.l.] American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2017.

ARYSTA. **Acetochlor 900 EC**. Disponível em:

<https://za.uplonline.com/download_links/czW8kBUksgtuYDQNkKKon4oFDCG6PIL35L0a>

hS4y.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

ASH, F.; MILLIGAN, M. S.; ALTWICKER, E. The Relationship between de Novo Synthesis of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans and Low-Temperature Carbon. v. 27, n. 8, p. 1595–1601, 1993.

ASSUNÇÃO, J. V. DE; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origens e riscos. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 5, p. 523–530, 1999.

AZEVEDO, J. **Agente laranja: o que é, usos e impactos**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/agente-laranja/>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BARBOSA, B. H.; SANTOS, C. S. DOS; OLIVEIRA, S. DE. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BAGAÇO DA CANA NA GERAÇÃO DE VAPOR EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA. v. 8, n. October, p. 17, 2018.

BBC BRASIL. **Ucrânia reabre inquérito sobre envenenamento**. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/story/2004/12/041212_yushchenkoas>. Acesso em: 16 fev. 2022.

BESSA, S. A. L. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, v. 0, n. 0, p. 87–97, 2009.

BHARGAVA, A. Wet Scrubbers-Design of Spray Tower to Control Air Pollutants. **International Journal of Environmental Planning and Development**, v. 2, n. July, p. 1, 2016.

BLOISE, D. M. Dioxinas, Furanos e PCBs na nossa Alimentação. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 14, n. 7, p. 31, 2018.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Artigo Cinzas da Queima de Biomassa : Aplicações e Potencialidades Fly-Ash from Biomass Burning : Applications and Potentialities Cinzas da Queima de Biomassa : Aplicações e Potencialidades. v. 7, n. 6, p. 2154–2165, 2015.

CETESB. Dioxinas e Furanos. **Ficha de Infomação Toxicológica**, p. 1–2, 2020.

CHOONG KWET YIVE, N. S.; TIROUMALECHETTY, M. Dioxin levels in fly ash coming from the combustion of bagasse. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, n. 1–2, p. 179–182, 2008.

CONSEQ. **ANÁLISES LABORATORIAIS: POR QUE VOCÊ PRECISA DELAS**. Disponível em: <https://conseqconsultoria.com.br/analises-laboratoriais-por-que-voce-precisa-delas/?gclid=EAIaIQobChMIv8jhssGA9AIVjIeRCh0JigehEAAYAyAAEgIHrPD_BwE>. Acesso em: 5 nov. 2021.

CORDEIRO, G. C. **UTILIZAÇÃO DE CINZAS ULTRAFINAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DA CASCA DE ARROZ COMO ADITIVOS MINERAIS EM CONCRETO**. [s.l.] UFRJ, 2006.

CORMIER, S. A. et al. Origin and health impacts of emissions of toxic by-products and fine particles from combustion and thermal treatment of hazardous wastes and materials. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 6, p. 810–818, 2006.

CORREIA, M. A. C. et al. Characteristics and energetic potential of sugarcane bagasse stored without any cover for a long period. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 173–187, 2020.

COSTA, A. B. DA et al. Determinação Do Poder Calorífico No Controle De Sistemas De Geração De Energia E Aquecimento Industrial. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 7, 2009.

CRIADO, M. Á. **50 anos depois, agente laranja continua contaminando o solo do Vietnã**. Disponível em: <[https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/16/ciencia/1552710887_506061.html#:~:text=O agente laranja era%2C na,4%2C5-T\).](https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/16/ciencia/1552710887_506061.html#:~:text=O agente laranja era%2C na,4%2C5-T).>)>. Acesso em: 3 nov. 2021.

DA SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.

DE PAIVA, R. P. O.; MORABITO, R. Otimização do planejamento hierárquico da produção em usinas cooperadas do setor sucroenergético. **Producao**, v. 23, n. 3, p. 449–467, 2013.

DUARTE, F. V et al. Formation of Dioxins during Energy Cogeneration by Burning Bagasse and Sugarcane Straw Fertilized with Chlorinated Compounds : State of the Art and Presentation of Alternatives. n. 5, p. 30–44, 2020.

FRANCIS, S. L.; BRADBURN, K. M.; PORLE, K. **Electrostatic Precipitators for industrial applications**. [s.l: s.n.].

GHOSH, P. **Ditte's reaction-application-Deacon's process in halogen chemistry**. Disponível em: <<https://chemizi.blogspot.com/2020/01/dittes-reaction-application-deacons.html>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

GIRALDELI, A. L. **Preço da tonelada de cana 2019: como está o mercado e suas expectativas**. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/preco-da-tonelada-de-cana-2019/>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

GRUPO JB. **Açúcar**. Disponível em: <http://www.grupojb.com.br/site/pt_br/service/acucar/>. Acesso em: 3 nov. 2021.

GULLETT, B. K. et al. Mechanistic steps in the production of PCDD and PCDF during waste combustion. **Chemosphere**, v. 25, n. 7–10, p. 1387–1392, 1992.

HAKUO USHIMA, A.; PAPOULIAS FRANÇA, G. Emissão de compostos clorados na combustão, gaseificação e pirólise de palha de cana-de-açúcar. **Revista Ipt Tecnologia E Inovação**, v. 2, n. 8, p. 37–47, 2018.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. DE C. **Biomass power generation :**

sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira / Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2005.

HPB. **PRODUTOS.** Disponível em: <<https://www.hpb.com.br/>>. Acesso em: 6 nov. 2021a.

HPB. **Casos.** Disponível em: <<https://www.hpb.com.br/casos/cosan/>>. Acesso em: 16 maio. 2022b.

INNOCENTINI, M. D. M. et al. Environmental and economic issues concerning the use of wet scrubbers coupled to bagasse-fired boilers: a case study in the Brazilian sugarcane industry. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 8, p. 2319–2335, 2021.

JOI. **10 PERGUNTAS SOBRE A BIOMASSA.** Disponível em: <<https://energes.com.br/10-perguntas-sobre-a-biomassa/>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

LIMA, A. G. G. **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.** Disponível em: <<https://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/combustiveis.htm>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LOBÃO, E.; MACHADO REZENDE, S.; JOÃO JORGE FILHO, M. PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 298, DE 10 DE SETEMBRO DE 2008. n. D, p. 282, 2008.

LOGANATHAN, B. G.; MASUNAGA, S. PCBs, dioxins, and furans: Human exposure and health effects. **Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents**, p. 239–247, 2015.

LORENSETTI, R. **Cogeração: entenda como funciona a produção de energia elétrica em uma usina sucroalcooleira.** Disponível em: <<https://blog.coontrol.com.br/cogerao-producao-de-energia-eletrica-em-uma-usina-sucroalcooleira/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

LUSCOMBE, D. Dioxinas e Furanos : Formação. **Ficha de Infomação Toxicológica**, p. 1–8, 1999.

MANAHAN, S. E. **TOXICOLOGICAL CHEMISTRY AND BIOCHEMISTRY.** 3. ed. [s.l.] Lewis Publishers, 2003.

MATSUOKA, S. et al. Bioenergia de Cana. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas.**, n. January, p. 547–577, 2012.

MIZUNO, A. Electrostatic precipitation. **Particle Technology and Applications**, v. 7, n. 5, p. 615–624, 2000.

NACHILUK, K. **Alta na Produção e nas Exportações de Açúcar Marca a Safra 2020/21 de Cana.** Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>>. Acesso em: 1 nov. 2021.

NASTARI, P. M. A importância do setor sucroenergético no Brasil : SRB. **SRB - Sociedade Rural Brasileira**, p. 16–17, 2012.

NOVACANA. **Campeãs em produtividade: As cidades com rendimento dos canaviais acima de 85 t/ha.** Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/safra/campeas-produtividade-cidades-rendimento-canaviais-acima-85-t-ha-051120>>. Acesso em: 15 mar.

2022.

OBSERVATÓRIO DA CANA. **HISTÓRICO DE PRODUÇÃO E MOAGEM**. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=2493&safr=2019%2F2020&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA>>. Acesso em: 1 nov. 2021.

OLIVEIRA, D. Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e aplicação no solo. **Aleph**, p. xi, 137 p. : il., 2014a.

OLIVEIRA, C. P. DE. **Importância das análises laboratoriais para a indústria de alimentos**. Disponível em: <<https://brqualityconsultoria.com.br/importancia-das-analises-laboratoriais-para-a-industria-de-alimentos/>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

OLIVEIRA, S. F. DE A. Avaliação Energética da Biomassa do Bagaço de Cana-de-Açúcar em Diferentes Industrias. p. 81, 2014b.

ORTEGA, É. A. R. **VALORIZAÇÃO DO USO AGRÍCOLA DA CINZA RESIDUAL DO BAGAÇO DE CANA- DE- AÇÚCAR**. [s.l.] UEM, 2013.

PESQUISA FAPESP. **Propriedades do bagaço da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/propriedades-do-bagaco-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

PINHEIRO, M. **7 tipos de açúcar: diferenças e qual o melhor para a saúde**. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/tipos-de-acucar/>>. Acesso em: 3 nov. 2021.

PROGT. **SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA**. Disponível em: <<https://progt.com.br/sistemas>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

PUBCHEM. **Explore Chemistry**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

PUSSENTE, I. C. Avaliação da presença de dioxinas e PCBs no meio ambiente através de estudos de caso e a viabilidade do uso de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas sequencial na análise destes compostos . p. 128, 2016.

RIBEIRO, C. A. F.; BLUMER, S. A. G.; HORII, J. **TECNOLOGIA DO AÇÚCAR** Piracicaba, 1999.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Plantas daninhas**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_52_711200516718.html>. Acesso em: 11 nov. 2021.

RPA NEWS. **Cana-de-açúcar: entenda como definir o modelo ideal de caldeira na indústria**. Disponível em: <<https://revistarpanews.com.br/cana-de-acucar-entenda-como-definir-o-modelo-ideal-de-caldeira-na-industria/>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

SANÁGUA. **Tipos de Agrotóxicos Mais Utilizados e Perigosos**. Disponível em: <<http://sanagua.com.br/noticias/tipos-de-agrotoxicos-mais-utilizados-e-perigosos-183.html>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

TOOGE, R. **Por que a produção de alimentos depende tanto de agrotóxicos?** Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/10/07/por-que-a-producao-rural-depender-de-agrotoxicos.ghtml>>. Acesso em: 11 nov. 2021a.

TOOGE, R. **LISTA: quais são e para que servem os ingredientes dos agrotóxicos mais vendidos**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/10/07/quais-sao-e-para-que-servem-os-principais-ingredientes-dos-agrotoxicos-mais-vendidos.ghtml>>. Acesso em: 11 nov. 2021b.

TUPPURAINEN, K. et al. Formation of PCDDs and PCDFs in municipal waste incineration and its inhibition mechanisms: A review. **Chemosphere**, v. 36, n. 7, p. 1493–1511, 1998.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. LOCATING AND ESTIMATING AIR EMISSIONS FROM SOURCES OF DIOXINS AND FURANS. n. May, p. 318, 1997.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Module 6: Air Pollutants and Control Technology- Particulate Matter- Control Techniques. p. 1–20, 2010.

UDOP. **MAPAS - Usinas/Destilarias**. Disponível em: <https://www.udop.com.br/index.php?item=mapa_unidades>. Acesso em: 5 nov. 2021.

USANGELO. **AÇÚCAR VHP**. Disponível em: <<https://www.usangelo.com.br/produto/acucar-vhp>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

USP EP PMT. **Energia para metalurgia** USP e-Disciplinas, , 2013. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/118599/mod_resource/content/1/Energia para metalurgia.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/118599/mod_resource/content/1/Energia_para_metalurgia.pdf)>

VIÉGAS, F. et al. **DIOXINAS E FURANOS: DISPERSÃO NO AMBIENTE, IMPACTO SOBRE A SAÚDE HUMANA E PANORAMA JURÍDICO**, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Fabian_Viegas/publication/323175587_DIOXINAS_E_FURANOS_DISPERSAO_NO_AMBIENTE_IMPACTO SOBRE A SAUDE HUMANA E PANORAMA JURIDICO/links/5a845c274585159152b7e01a/DIOXINAS-E-FURANOS-DISPERSAO-NO-AMBIENTE-IMPACTO-SOBRE-A-SAUD>

VOGG, H.; METZGER, M.; STIEGLITZ, L. RECENT FINDINGS ON THE FORMATION AND DECOMPOSITION OF PCDD/PCDF IN MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION. In: **Incineration of Municipal Waste**. [s.l.] Elsevier, 1988. p. 207–216.

WALSH, M. M. et al. By-products of the Thermal Treatment of Hazardous Waste: Formation and Health Effects. **EM: Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers**, p. 1–9, 2010.

YABE, A. et al. Panoramas Setoriais 2030: Sucroenergético. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDS**, p. 107–121, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Usina 1

Tabela A1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	-	-
Entrada Lavador	-	-
Captação	19,83	6,77

Tabela A2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	29,73	297,30
Cinza	100 g - 1L	149,90	1499,00
Torta	100 g - 1L	-	-

Tabela A3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0433	53,27	54,51	1,75
2		0,0308	55,75		
1	Torta seca	-	-	-	-
2		-	-		
3		-	-		
1	Cinza seca	0,0388	6,09	5,56	1,46
2		0,0791	3,91		
3		0,0615	6,69		

Tabela A4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	-
Água Entrada Lavador	-
Reposição	<0,001

Tabela A5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	-	-	-	-
VLC	-	-	-	-
Bagaço 1A	0,01	1,09	2,65	1,09
	0,02	2,17		
	0,03	3,26		
Bagaço 1B	0,03	3,13		
	0,04	4,18		
	0,02	2,09		
Cinza 1A	4,58	112,87	109,05	3,95
	4,56	112,38		
	4,57	112,62		
Cinza 1B	4,71	105,71		
	4,73	106,16		
	4,66	104,59		
Torta 1A	-	-	-	-
	-	-		
Torta 1B	-	-		
	-	-		

Tabela A6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	-	-	-	-
VLC	-	-	-	-
Bagaço 1A	0,887	96,25	97,77	3,00
	0,895	97,11		
	0,865	93,86		
Bagaço 1B	0,971	101,37		
	0,971	101,37		
	0,926	96,67		
Cinza 1A *100	141,000	3474,79	3532,11	79,93
	138,800	3420,57		
	142,100	3501,90		
Cinza 1B *100	159,500	3579,76		
	162,000	3635,87		
	159,500	3579,76		
Torta 1A *100	-	-	-	-
	-	-		
Torta 1B *100	-	-		
	-	-		

Tabela A7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	- -	- -	-	-
VLC *100	- -	- -	-	-
Bagaço 1A	1,622	176,00	171,11	4,97
	1,615	175,24		
	1,618	175,56		
	1,605	167,55		
Bagaço 1B	1,597	166,72	185,01	4,59
	1,586	165,57		
	7,386	182,02		
Cinza 1A	7,367	181,55	185,01	4,59
	7,276	179,31		
	8,392	188,35		
Cinza 1B	8,484	190,41	-	-
	8,395	188,41		
Torta 1A *10	- -	- -	-	-
Torta 1B *10	- -	- -	-	-

Tabela A8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	- -	- -	-	-
VLC *1000	- -	- -	-	-
Bagaço 1A *10	12,29	1333,55	1328,72	48,47
	12,54	1360,68		
	12,92	1401,91		
	12,36	1290,32		
Bagaço 1B *10	12,63	1318,51	42063,13	384,73
	12,14	1267,36		
	1727,00	42560,01		
Cinza 1A *1000	1704,00	41993,20	42063,13	384,73
	1710,00	42141,06		
	1889,00	42396,09		
Cinza 1B *1000	1851,00	41543,23	-	-
	1860,00	41745,22		
Torta 1A *100	- -	- -	-	-
Torta 1B *100	- -	- -	-	-

Tabela A9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	-	-	-	-
VLC	-	-	-	-
Bagaço 1A	0,07	7,60	5,33	1,56
	0,06	6,51		
	0,03	3,26		
	0,05	5,22		
Bagaço 1B	0,05	5,22		
	0,04	4,18		
	0,8	19,72		
Cinza 1A	0,8	19,72	19,40	0,66
	0,82	20,21		
	0,84	18,85		
	0,87	19,53		
Cinza 1B	0,82	18,40		
	-	-		
	-	-		
Torta 1A	-	-	-	-
	-	-		
	-	-		
Torta 1B	-	-		
	-	-		

Tabela A10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	-	-	-	-
VLC	-	-	-	-
Bagaço 1A	0,06	6,51	6,39	1,20
	0,07	7,60		
	0,06	6,51		
	0,06	6,26		
Bagaço 1B	0,04	4,18		
	0,07	7,31		
	1,71	42,14		
Cinza 1A	1,70	41,89	41,57	0,57
	1,71	42,14		
	1,84	41,30		
	1,83	41,07		
Cinza 1B	1,82	40,85		
	-	-		
	-	-		
Torta 1A	-	-	-	-
	-	-		
	-	-		
Torta 1B	-	-		
	-	-		

Tabela A11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	-	-	-	-
VLC *10	-	-	-	-
Bagaço 1A *10	7,18	779,08	765,37	12,90
	6,99	758,46		
	6,87	745,44		
	7,42	774,61		
Bagaço 1B *10	7,42	774,61		
	7,28	760,00		
Cinza 1A *100	434,20	10700,38	10304,83	337,40
	431,10	10623,98		
	425,60	10488,44		
	448,90	10074,96		
Cinza 1B *100	445,20	9991,92		
	443,30	9949,28		
Torta 1A *100	-	-	-	-
	-	-		
Torta 1B *100	-	-		
	-	-		

Tabela A12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	-	-	-	-
VLC *100	-	-	-	-
Bagaço 1A *10	3,19	346,14	335,58	11,61
	3,19	346,14		
	3,19	346,14		
	3,11	324,67		
Bagaço 1B *10	3,13	326,76		
	3,10	323,62		
Cinza 1A *100	273,20	6732,71	6575,01	266,28
	275,90	6799,25		
	274,90	6774,61		
	277,60	6841,15		
Cinza 1B *100	280,50	6295,45		
	280,00	6284,23		
	280,60	6297,69		
Torta 1A *100	-	-	-	-
	-	-		
Torta 1B *100	-	-		
	-	-		

APÊNDICE B – Usina 2

Tabela B1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	1259,75	8,41
Entrada lavador	1060,96	8,42
Captação	5,17	7,39

Tabela B2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	24,38	243,80
Cinza	100 g - 1L	25,55	255,50
Torta	100 g - 1L	69,39	693,90

Tabela B3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0560	54,52	56,31	2,52
2		0,0338	58,09		
1	Torta seca	0,0572	20,80	23,12	5,26
2		0,0329	29,14		
3		0,0193	19,43		
1	Cinza seca	0,0868	3,98	5,66	2,02
2		0,0487	5,09		
3		0,0342	7,90		

Tabela B4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	<0,001
Água Entrada Lavador	0,002
Reposição	0,011

Tabela B5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	1,36	-	1,32	0,04
	1,32			
	1,29			
VLC	0,4	-	0,40	0,01
	0,39			
	0,41			
Bagaço 1A	0,12	10,90	10,20	0,77
	0,12	10,90		
	0,12	10,90		
Bagaço 1B	0,1	9,50	10,20	0,77
	0,1	9,50		
	0,1	9,50		
Cinza 1A	0,97	17,96	20,26	2,65
	0,96	17,78		
	0,96	17,78		
Cinza 1B	1,2	22,68	20,26	2,65
	1,21	22,87		
	1,19	22,49		
Torta 1A	3,02	174,21	175,33	1,47
	3,01	173,64		
	3,02	174,21		
Torta 1B	3,05	176,45	175,33	1,47
	3,05	176,45		
	3,06	177,03		

Tabela B6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	40,080	-	39,32	0,73
	39,260			
	38,62			
VLC	1,324	-	1,36	0,04
	1,366			
	1,403			
Bagaço 1A	0,818	74,29	68,32	4,45
	0,788	71,56		
	0,779	70,75		
Bagaço 1B	0,668	63,45	68,32	4,45
	0,679	64,49		
	0,688	65,35		
Cinza 1A *10	27,160	502,90	527,76	29,79
	26,800	496,23		
	27,160	502,90		
Cinza 1B *10	29,300	553,71	527,76	29,79
	29,300	553,71		
	29,480	557,11		
Torta 1A *100	59,700	3443,90	3610,79	152,16
	60,900	3513,12		
	61,500	3547,74		
Torta 1B *100	62,400	3610,07	3610,79	152,16
	67,000	3876,19		
	63,500	3673,71		

Tabela B7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	125,100	-	125,60	0,44
	125,800			
	125,900			
VLC *100	111,300	-	111,47	0,21
	111,400			
	111,700			
Bagaço 1A	0,856	77,74	74,84	2,95
	0,853	77,47		
	0,852	77,38		
Bagaço 1B	0,758	72,00		
	0,757	71,90		
	0,764	72,57		
Cinza 1A	5,420	100,36	113,26	13,01
	5,451	100,93		
	5,566	103,06		
Cinza 1B	6,613	124,97		
	6,533	123,46		
	6,709	126,79		
Torta 1A *10	14,160	816,84	747,43	86,54
	14,360	828,38		
	14,450	833,57		
Torta 1B *10	11,580	669,95		
	11,580	669,95		
	11,510	665,90		

Tabela B8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10000	10470,00	-	10460,00	17,32
	10470,00			
	10440,00			
VLC *10000	12580,00	-	12573,33	280,06
	12850,00			
	12290,00			
Bagaço 1A *100	40,50	3678,14	7698,88	4447,61
	40,00	3632,73		
	39,80	3614,57		
Bagaço 1B *100	120,70	11464,67		
	124,30	11806,61		
	126,30	11996,58		
Cinza 1A *100	396,80	7347,20	11950,87	4203,97
	397,20	7354,60		
	780,00	14740,34		
Cinza 1B *1000	794,00	15004,91		
	810,00	15307,28		
	862,00	49725,99		
Torta 1A *1000	859,00	49552,93	53750,99	4248,68
	874,00	50418,23		
	983,00	56870,12		
Torta 1B *1000	1003,00	58027,19		
	1001,00	57911,48		

Tabela B9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,1			
	0,09	-	0,09	0,01
	0,09			
VLC	0,00			
	0	-	0,00	0,00
Bagaço 1A	0	0,00		
	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00		
Bagaço 1B	0,00	0,00		
	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,18	3,33		
	0,18	3,33	3,08	0,29
	0,15	2,83		
Cinza 1B	0,15	2,83		
Torta 1A	0,23	13,27		
	0,24	13,84	13,43	0,28
	0,23	13,31		
Torta 1B	0,23	13,31		

Tabela B10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,22			
	0,24	-	0,22	0,02
	0,21			
VLC	0,06			
	0,03	-	0,05	0,02
	0,05			
Bagaço 1A	0,05	4,54		
	0,01	0,91		
	0,05	4,54	4,20	1,87
Bagaço 1B	0,04	3,80		
	0,07	6,65		
	0,05	4,75		
Cinza 1A	0,38	7,04		
	0,38	7,04		
	0,39	7,22	8,98	2,59
Cinza 1B	0,64	12,09		
	0,61	11,53		
Torta 1A	0,44	25,38		
	0,45	25,96		
	0,42	24,23	23,88	1,67
Torta 1B	0,37	21,41		
	0,40	23,14		
	0,40	23,14		

Tabela B11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	61,21	-	61,75	0,47
	62,04			
	62,01			
VLC *10	60,98	-	61,11	0,13
	61,10			
	61,24			
Bagaço 1A *10	4,97	451,37	459,65	11,34
	5,14	466,81		
	5,28	479,52		
Bagaço 1B *10	4,75	451,18	810,62	54,90
	4,77	453,08		
	4,80	455,93		
Cinza 1A *10	40,67	753,05	810,62	54,90
	41,34	765,46		
	41,39	766,38		
Cinza 1B *10	44,60	842,85	10594,49	5134,05
	45,49	859,66		
	46,37	876,29		
Torta 1A *100	211,90	12223,82	10594,49	5134,05
	217,80	12564,18		
	221,70	12789,15		
Torta 1B *100	222,50	12872,43	10594,49	5134,05
	224,50	12988,14		
	2,23	129,19		

Tabela B12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	330,00	-	328,53	1,31
	327,50			
	328,10			
VLC *100	296,00	-	295,47	0,47
	295,30			
	295,10			
Bagaço 1A *10	4,75	431,39	410,84	24,93
	4,78	434,11		
	4,79	435,02		
Bagaço 1B *10	4,06	385,64	651,10	44,59
	4,08	387,54		
	4,12	391,34		
Cinza 1A *10	33,00	611,03	651,10	44,59
	33,02	611,40		
	32,88	608,81		
Cinza 1B *10	36,63	692,23	5797,37	106,39
	36,53	690,34		
	36,66	692,80		
Torta 1A *100	98,60	5687,91	5797,37	106,39
	99,20	5722,53		
	98,70	5693,68		
Torta 1B *100	101,60	5877,93	5797,37	106,39
	101,80	5889,50		
	102,20	5912,64		

Tabela B13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcinação (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%ds)	Sólido volátil	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%ds)
A1	Bagaço	48,3596	50,4419	2,0823	49,4607	1,1011	0,9812	47,12	48,3793	0,0197	52,88	1,79	1,79	1,0814	98,21	98,21
B1		40,7665	42,7855	2,019	41,8193	1,0528	0,9662	47,86	40,7853	0,0188	52,14	1,79	1,79	1,0340	98,21	98,21
A1	Cinza	51,0190	56,4257	5,4067	56,4197	5,4007	0,006	0,11	56,0473	5,0283	99,89	93,10	92,32	0,3724	6,90	7,68
B1		48,0345	53,3366	5,3021	53,3261	5,2916	0,0105	0,20	52,8778	4,8433	99,80	91,53	78,38	0,4483	8,47	7,68
A1	Torta	49,7733	54,8562	5,0829	51,5068	1,7335	3,3494	65,90	51,1712	1,3979	34,10	80,64	78,38	0,3356	19,36	21,62
B1		47,6339	52,9071	5,2732	49,3624	1,7285	3,5447	67,22	48,9496	1,3157	32,78	76,12	78,38	0,4128	23,88	21,62

APÊNDICE C – Usina 3

Tabela C1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	1346,9	1361,80	7,84
	1376,7		
Entrada lavador	779,6	743,25	6,61
	706,9		

Tabela C2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	27,78	277,8	272,30
		26,68	266,8	
Cinza	100 g - 1L	13,67	136,7	130,00
		12,33	123,3	
Torta	100 g - 1L	46,52	465,2	478,65
		49,21	492,1	

Tabela C3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço seco	0,0215	51,83	-	-
1		0,0192	16,44		
2	Torta seca	0,0217	13,79	16,73	3,10
3		0,0219	19,97		
1	Cinza seca	0,0286	1,89	2,75	0,88
2		0,0534	2,71		
3		0,0600	3,64		

Tabela C4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	<0,001
Água Entrada Lavador	0,009

Tabela C5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	4,89	-	4,97	0,11314
	5,05			
VLC	0,37	-	0,36	0,01414
	0,35			
Bagaço 1A	0,22	19,24	17,55	1,22
Bagaço 1B	0,20	17,49		
	0,22	16,36		
Cinza 1A	0,23	17,11	6,90	0,76
	0,59	7,68		
Cinza 1B	0,57	7,42		
	0,44	6,25		
Torta 1A	0,44	6,25		
	3,82	85,86	129,34	49,96
Torta 1B *10	3,84	86,31		
	11,00	173,39		
	10,90	171,82		

Tabela C6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	517,500	-	519,967	4,623
	525,300			
	517,100			
VLC	0,857	-	0,931	0,070
	0,995			
	0,942			
Bagaço 1A	1,496	130,80	125,04	4,06
	1,465	128,09		
	1,424	124,51		
Bagaço 1B	1,621	120,57	166,72	13,27
	1,689	125,62		
	1,622	120,64		
Cinza 1A *10	13,480	175,46	166,72	13,27
	13,890	180,80		
	13,670	177,93		
Cinza 1B *10	11,210	159,26	3443,27	98,64
	10,380	147,46		
	11,220	159,40		
Torta 1A *100	153,700	3454,55	3443,27	98,64
	160,600	3609,64		
	155,200	3488,27		
Torta 1B *100	211,600	3335,44	3443,27	98,64
	213,700	3368,54		
	215,900	3403,22		

Tabela C7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	136,900 127,400	-	132,150	6,718
VLC *10	104,100 94,320	-	99,210	6,916
Bagaço 1A	8,227 8,083	719,33 706,74	448,23	305,83
Bagaço 1B	2,495 2,437	185,57 181,26		
Cinza 1A	2,548 2,582	33,17 33,61	36,50	3,60
Cinza 1B	2,783 2,793	39,54 39,68		
Torta 1A *10	30,590 28,870 28,400	687,54 648,88 638,32	659,23	18,39
Torta 1B *10	41,980 41,850	661,73 659,68		

Tabela C8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	5461,00 5096,00 5012,00	-	5189,67	238,71
VLC *1000	2534,00 2533,00 2568,00	-	2545,00	19,92
Bagaço 1A *10	17,81 15,22	1557,23 1330,77	1407,38	102,61
Bagaço 1B *10	18,66 18,20	1387,88 1353,66		
Cinza 1A *100	127,10 87,70	1654,39 1141,54	1513,73	248,47
Cinza 1B *100	114,20 115,20	1622,39 1636,60		
Torta 1A *100	230,80 230,00 231,30	5187,45 5169,47 5198,69	3701,79	1625,14
Torta 1B *100	140,60 142,70 138,90	2216,27 2249,37 2189,47		

Tabela C9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	1,00	-	1,01	0,01
	1,01			
VLC	0,01	-	0,01	0,00
	0,01			
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,07	0,91	0,63	0,40
	0,08	1,04		
Cinza 1B	0,02	0,28		
	0,02	0,28		
Torta 1A	0,76	17,08	16,13	0,97
	0,75	16,86		
Torta 1B	0,97	15,29		
	0,97	15,29		

Tabela C10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	3,60	-	3,55	0,07
	3,50			
VLC	0,10	-	0,10	0,00
	0,10			
Bagaço 1A	0,05	4,37	2,93	1,67
	0,05	4,37		
Bagaço 1B	0,02	1,49		
	0,02	1,49		
Cinza 1A	0,18	2,34	2,00	0,26
	0,15	1,95		
Cinza 1B	0,14	1,99		
	0,12	1,70		
Torta 1A	0,67	15,06	81,22	76,42
	0,67	15,06		
Torta 1B *10	9,50	149,75		
	9,20	145,02		

Tabela C11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	405,40 411,50	-	408,45	4,31
VLC *100	156,50 154,20	-	155,35	1,63
Bagaço 1A *10	8,74 8,72	764,19 762,44	746,10	20,98
Bagaço 1B *10	9,91 9,69	737,08 720,71		
Cinza 1A *10	24,41 25,11	317,73 326,84	309,67	15,07
Cinza 1B *10	20,82 21,00	295,78 298,34		
Torta 1A *100	542,80 546,70	12199,95 12287,60	12308,84	153,26
Torta 1B *1000	795,00 775,00	12531,53 12216,27		

Tabela C12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	774,00 759,00	-	766,50	10,61
VLC *100	282,00 280,50	-	281,25	1,06
Bagaço 1A *10	4,67 4,65	408,32 406,58	424,81	20,17
Bagaço 1B *10	5,91 5,98	439,57 444,78		
Cinza 1A *10	21,77 21,64	283,37 281,68	282,33	0,76
Cinza 1B *10	19,84 19,88	281,86 282,43		
Torta 1A *100	192,60 192,40	4328,87 4324,37	4165,20	186,62
Torta 1B *100	253,30 254,70	3992,75 4014,82		

Tabela C13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcínada (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%ap/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%ap/p)	Sólido fixo (%ap/p)	Sólido fixo (%ds)	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%ds)
A1	Bagço	112,0025	114,2461	2,2436	113,1462	1,1437	1,0999	49,02	112,0290	0,0265	50,98	2,32	2,26	97,68	97,74
B1		85,1310	87,7109	2,5799	86,4755	1,3445	1,2354	47,89	85,1607	0,0297	52,11	2,21	2,26	97,79	97,74
A1	Cinza	83,2058	90,9174	7,7116	90,8884	7,6826	0,029	0,38	90,6437	7,4379	99,62	96,81	96,12	3,19	3,88
B1		53,2652	60,3386	7,0734	60,3042	7,039	0,0344	0,49	59,9817	6,7165	99,51	95,42	95,42	4,58	4,58
A1	Torta	53,9537	65,6708	11,7171	58,4029	4,4492	7,2679	62,03	57,5705	3,6168	37,97	81,29	81,24	18,71	18,76
B1		49,3641	65,9950	16,6309	55,7081	6,344	10,2869	61,85	54,5152	5,1511	38,15	81,20	81,24	18,80	18,80

APÊNDICE D – Usina 4

Tabela D1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	288,29	7,88
Entrada lavador	234,32	7,38
Captação	66,20	5,82

Tabela D2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	27,97	279,70
Cinza	100 g - 1L	8,90	89,00
Torta	100 g - 1L	43,26	432,60

Tabela D3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,034	55,89	58,73	4,01
2		0,0315	61,56		
1	Torta seca	0,0692	49,01	48,12	1,87
2		0,0377	45,72		
3		0,0223	50,06		
4		0,0884	47,67		
1	Cinza seca	0,0464	2,93	2,79	0,30
2		0,0986	2,99		
3		0,0299	2,45		

Tabela D4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	0,005
Água Entrada Lavador	0,014
Reposição	0,011

Tabela D5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279.5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	1,27			
	1,27	-	1,27	0,00
	1,27			
VLC	0,26			
	0,26	-	0,26	0,01
	0,27			
Bagaço 1A	0,17	16,15		
	0,17	16,15		
	0,16	15,20	15,52	0,49
Bagaço 1B	0,16	15,21		
	0,16	15,21		
	0,16	15,21		
Cinza 1A	3,36	66,72		
	3,4	67,51		
	3,38	67,12	63,62	3,84
Cinza 1B	3,05	60,33		
	3,05	60,33		
	3,02	59,73		
Torta 1A	3,29	401,07		
	3,29	401,07		
	3,28	399,85	316,16	92,58
Torta 1B	1,47	233,78		
	1,45	230,60		
	1,45	230,60		

Tabela D6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248.3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	57,400			
	61,700	-	58,90	2,43
	57,6			
VLC	3,864			
	3,876	-	3,87	0,01
	3,874			
Bagaço 1A	0,264	25,08		
	0,218	20,71		
	0,250	23,75	21,02	4,33
Bagaço 1B	0,224	21,30		
	0,251	23,86		
	0,127	12,07		
Cinza 1A *100	0,214	20,35		
	70,700	1403,86		
	70,300	1395,92	1552,94	257,87
Cinza 1B *100	60,000	1191,40		
	86,600	1712,85		
	92,100	1821,63		
Torta 1A *10	90,600	1791,97		
	39,230	4782,40		
	36,950	4504,45	4817,04	320,28
Torta 1B *10	35,890	4375,23		
	31,990	5087,47		
	32,390	5151,08		
	31,450	5001,59		

Tabela D7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	139,900	-	140,87	0,85
	141,200			
	141,500			
VLC *100	138,200	-	135,47	2,37
	134,200			
	134,000			
Bagaço 1A	1,577	149,83	179,91	32,40
	1,589	150,97		
	1,581	150,21		
Bagaço 1B	2,214	210,50		
	2,190	208,21		
	2,206	209,74		
Cinza 1A *10	9,600	190,62		
	6,029	119,72		
	8,870	176,13		
Cinza 1B *10	7,960	157,44	159,01	21,84
	7,870	155,66		
	7,880	155,86		
Torta 1A *10	7,970	157,64		
	11,700	1426,31		
	11,710	1427,53		
Torta 1B *10	11,740	1431,18	1461,63	36,72
	9,360	1488,55		
	9,440	1501,27		
	9,400	1494,91		

Tabela D8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	1044,00	-	1049,33	11,02
	1042,00			
	1062,00			
VLC *1000	861,00	-	840,67	17,67
	832,00			
	829,00			
Bagaço 1A *10	14,24	1352,97	1421,72	85,13
	14,31	1359,62		
	13,92	1322,57		
Bagaço 1B *10	15,67	1489,83		
	15,74	1496,48		
	15,87	1508,84		
Cinza 1A *1000	684,00	13581,94	12409,50	1675,63
	688,00	13661,36		
	681,00	13522,37		
Cinza 1B *1000	715,00	14197,49		
	535,00	10581,70		
	535,00	10581,70		
Torta 1A *100	543,00	10739,93		
	142,70	17396,07		
	144,50	17615,51		
Torta 1B *100	144,40	17603,32	18422,46	979,51
	122,80	19529,26		
	120,50	19163,49		
	120,90	19227,10		

Tabela D9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,23			
	0,24	-	0,23	0,01
	0,22			
VLC	0,01			
	0,01	-	0,01	0,00
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,62	12,31		
	0,62	12,31		
	0,63	12,51	12,35	0,11
Cinza 1B	0,63	12,46		
	0,62	12,26		
Torta 1A	0,62	12,26		
	0,19	23,16		
	0,18	21,94		
Torta 1B	0,19	23,16	21,45	1,90
	0,14	22,26		
	0,12	19,08		
	0,12	19,08		

Tabela D10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,67			
	0,68	-	0,68	0,01
VLC	0,12			
	0,13	-	0,13	0,01
Bagaço 1A	0,06	5,70		
	0,06	5,70	6,42	0,91
Bagaço 1B	0,08	7,61		
	0,07	6,66		
Cinza 1A	0,65	12,91		
	0,62	12,31	10,75	2,16
Cinza 1B	0,46	9,10		
	0,44	8,70		
Torta 1A *10	4,50	548,58		
	4,40	536,39	289,93	291,70
Torta 1B	0,27	42,94		
	0,20	31,81		

Tabela D11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	225,60	-	223,30	2,07
	221,60			
	222,70			
	259,90			
VLC *100	260,50	-	246,37	23,96
	218,70			
	3,14			
Bagaço 1A *10	3,11	298,34	295,43	2,88
	3,15	295,49		
	3,09	299,29		
Bagaço 1B *10	3,07	293,78		
	3,07	291,88		
	3,09	293,78		
Cinza 1A *100	379,20	7529,64	7254,67	234,52
	376,80	7481,98		
	371,60	7378,73		
Cinza 1B *100	354,60	7013,59		
	357,10	7063,04		
	357,00	7061,06		
Torta 1A *100	501,00	61075,22	62570,41	3060,14
	488,40	59539,19		
	483,90	58990,61		
Torta 1B *100	409,00	65044,53		
	414,60	65935,11		
	407,70	64837,79		

Tabela D12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	57,10	-	56,10	0,87
	55,60			
	55,60			
VLC *100	100,20	-	97,00	4,23
	98,60			
	92,20			
Bagaço 1A *10	2,24	212,83	222,20	12,88
	2,24	212,83		
	2,24	212,83		
Bagaço 1B *10	2,47	234,84		
	2,50	237,69		
Cinza 1A *100	166,70	3310,10	3242,66	92,15
	168,40	3343,86		
	167,30	3322,02		
Cinza 1B *100	160,90	3182,42		
	159,60	3156,71		
	158,80	3140,88		
Torta 1A *100	39,70	4839,69	4840,42	13,50
	39,60	4827,50		
	39,70	4839,69		
Torta 1B *100	30,60	4866,41		
	30,40	4834,61		
	30,40	4834,61		

Tabela D13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcinação (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%bs)	Sólido volátil	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%bs)
A1	Bagaço	68,6440	70,6458	2,0018	69,6965	1,0525	0,9493	47,42	68,6617	0,0177	52,58	1,68	1,53	1,0348	98,32	98,47
B1		53,9370	55,9684	2,0314	54,9888	1,0518	0,9796	48,22	53,9514	0,0144	51,78	1,37		1,0374	98,63	
A1	Cinza	83,1792	88,4826	5,3034	88,2153	5,0361	0,2673	5,04	88,0675	4,8883	94,96	97,07	96,65	0,1478	2,93	3,35
B1		53,262	58,7060	5,444	58,3179	5,0559	0,3881	7,13	58,1272	4,8652	92,87	96,23		0,1907	3,77	
A1	Torta	49,3334	54,9573	5,6239	50,1537	0,8203	4,8036	85,41	49,7739	0,4405	14,59	53,70	54,64	0,3798	46,30	45,36
B1		91,8766	96,2880	4,4114	92,5054	0,6288	3,7826	85,75	92,2261	0,3495	14,25	55,58		0,2793	44,42	

APÊNDICE E – Usina 5

Tabela E1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	474,03	7,50
Entrada lavador	507,32	7,34
Captação	65,84	7,34

Tabela E2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	26,8	268,00
Cinza	100 g - 1L	5,85	58,50
Torta	100 g - 1L	29,46	294,60

Tabela E3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0194	58,86	56,75	2,98
2		0,0636	54,64		
1	Torta seca	0,0753	23,58	23,56	4,56
2		0,0306	19		
3		0,0134	28,11		
1	Cinza seca	0,0862	2,27	1,76	0,49
2		0,0518	1,72		
3		0,0268	1,29		

Tabela E4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	0,009
Água Entrada Lavador	0,009
Captação	0,018

Tabela E5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,42 0,43	-	0,43	0,01
VLC	0,24 0,25	-	0,25	0,01
Bagaço 1A	0,38 0,38	36,06 36,06	24,17	13,73
Bagaço 1B	0,12 0,13	11,80 12,78		
Cinza 1A	2,10 2,12	42,40 42,80	32,01	12,22
Cinza 1B	1,1 1,1	21,43 21,43		
Torta 1A	2,48 2,46	129,81 128,76	132,66	3,93
Torta 1B	2,59 2,60	135,78 136,30		

Tabela E6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	10,550 11,220 11,49	-	11,09	0,48
VLC	0,904 0,916 0,964 0,942	-	0,93	0,03
Bagaço 1A	1,502 1,477 1,477 1,400	142,52 140,15 140,15 137,67	138,58	2,83
Bagaço 1B	1,376 1,380	135,31 135,71		
Cinza 1A *100	106,000 110,000	2140,03 2220,79	1734,11	516,59
Cinza 1B *100	65,200 67,000	1270,29 1305,36		
Torta 1A *100	116,300 113,000	6087,41 5914,68	6204,98	249,15
Torta 1B *100	121,300 123,200	6359,11 6458,72		

Tabela E7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	147,800 152,100	-	149,95	3,04
VLC *100	180,500 183,400	-	181,95	2,05
Bagaço 1A	0,419 0,420	39,76 39,85	44,41	5,32
Bagaço 1B	0,500 0,497	49,17 48,87		
Cinza 1A	2,512 2,542	50,71 51,32	44,50	7,52
Cinza 1B	1,955 1,945	38,09 37,89		
Torta 1A *10	12,150 12,050	635,96 630,72	592,56	47,17
Torta 1B *10	10,490 10,560	549,93 553,60		

Tabela E8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	466,00 469,00	-	467,50	2,12
VLC *1000	833,00 843,00	-	838,00	7,07
Bagaço 1A *10	11,37 11,66	1078,85 1106,37	1090,36	12,08
Bagaço 1B *10	11,02 11,11	1083,69 1092,54		
Cinza 1A *100	91,20 94,50	1841,23 1907,86	1647,91	263,11
Cinza 1B *100	73,10 72,80	1424,20 1418,36		
Torta 1A *100	241,10 241,30	12619,73 12630,20	13379,33	876,61
Torta 1B *100	267,30 271,90	14013,11 14254,26		

Tabela E9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,00 0,00	-	0,00	0,00
VLC	0,00	-	0,00	#DIV/0!
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,04	0,81	0,47	0,46
	0,05	1,01		
	0,04	0,81		
	0,01	0,19		
Cinza 1B	0,00	0,00	9,25	0,27
	0,00	0,00		
	0,00	0,00		
Torta 1A	0,18	9,42	9,25	0,27
	0,18	9,42		
	0,18	9,42		
	0,18	9,44		
Torta 1B	0,17	8,91		
	0,17	8,91		

Tabela E10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,06 0,09	-	0,08	0,02
VLC	0,01 0,03	-	0,02	0,01
Bagaço 1A	0,49	46,49	25,45	24,90
	0,50	47,44		
	0,06	5,90		
Bagaço 1B	0,02	1,97	2,74	1,16
Cinza 1A	0,19	3,84		
	0,18	3,63		
Cinza 1B	0,10	1,95		
	0,08	1,56		
Torta 1A	0,18	9,42	9,43	1,86
	0,21	10,99		
Torta 1B	0,20	10,48		
	0,13	6,82		

Tabela E11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	57,20 56,03	-	56,62	0,83
VLC *10	55,44 54,94	-	55,19	0,35
Bagaço 1A *10	5,87 6,23	556,98 591,14	633,67	70,27
Bagaço 1B *10	7,02 7,08	690,33 696,23		
Cinza 1A *100	199,00 195,90	4017,60 3955,02	3505,03	557,23
Cinza 1B *100	153,20 157,20	2984,78 3062,72		
Torta 1A *100	201,20 204,00	10531,27 10677,83	10645,66	122,92
Torta 1B *100	201,60 206,10	10568,81 10804,72		

Tabela E12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	105,40 104,20	-	104,80	0,85
VLC *100	111,40 110,40 109,60	-	110,47	0,90
Bagaço 1A *10	3,84 3,81	364,36 361,51	385,03	25,65
Bagaço 1B *10	4,11 4,17	404,17 410,07		
Cinza 1A *100	114,60 114,20	2313,66 2305,58	2095,66	370,61
Cinza 1B *100	85,60	1667,74		
Torta 1A *100	88,40 88,00	4627,06 4606,12	4778,81	187,52
Torta 1B *100	94,20 94,30	4938,40 4943,64		

Tabela E13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcinação (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%bs)	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%bs)
A1	Bagaço	49,3276	51,3441	2,0165	50,3815	1,0539	0,9626	47,74	49,3612	0,0336	52,26	3,19	3,08	1,0203	96,81
B1		53,2659	55,2555	1,9896	54,2828	1,0169	0,9727	48,89	53,2961	0,0302	51,11	2,97		0,9867	97,03
A1	Cinza	53,9406	58,8940	4,9534	58,8938	4,9532	0,0002	0,00	58,7318	4,7912	100,00	96,73	96,87	0,1620	3,27
B1		83,1853	88,3180	5,1327	88,318	5,1327	0	0,00	88,165	4,9797	100,00	97,02		0,1530	2,98
A1	Torta	68,6483	73,7067	5,0584	70,5588	1,9105	3,1479	62,23	70,006	1,3577	37,77	71,07	72,61	0,5528	28,93
B1		85,1298	90,0965	4,9667	87,0373	1,9075	3,0592	61,59	86,5442	1,4144	38,41	74,15		0,4931	25,85

APÊNDICE F – Usina 6

Tabela F1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	244,14	8,62
Entrada lavador	211,40	8,79
Captação	7,85	7,35

Tabela F2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	13,1	131,00
Cinza	100 g - 1L	-	-
Torta	100 g - 1L	18,73	187,30

Tabela F3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0199	56,83	57,85	1,44
2		0,0309	58,86		
3		-	-		
1	Torta seca	0,0231	54,46	54,81	2,47
2		0,0246	53,55		
3		0,0130	53,44		
4		0,0382	53,42		
5		0,0201	59,16		
1	Cinza seca	-	-	-	-
2		-	-		

Tabela F4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	<0,001
Água Entrada Lavador	<0,001
Reposição	<0,001

Tabela F5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	1,48 1,46	-	1,47	0,01
VLC	0,55 0,56	-	0,56	0,01
Bagaço 1A	0,04 0,03	3,95 2,96	2,92	0,84
Bagaço 1B	0,03 0,02	2,85 1,90		
Cinza 1A	- - -	- - -	-	-
Cinza 1B	- - -	- - -		
Torta 1A	1,59 1,58	267,59 265,90	261,52	6,10
Torta 1B	1,55 1,54	257,13 255,47		

Tabela F6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	42,27 40,67 40,09	-	41,01	1,13
VLC *10	12,62 12,36 12,63	-	12,54	0,15
Bagaço 1A	0,40 0,38 0,34	39,00 37,03 33,57	35,63	2,28
Bagaço 1B	0,38 0,37 0,35	36,25 35,11 32,83		
Cinza 1A	- - -	- - -	-	-
Cinza 1B	- - -	- - -		
Torta 1A *10	22,52 21,67 21,02	3789,97 3646,92 3537,53	3254,36	458,86
Torta 1B *10	17,50 17,86 16,19	2903,12 2962,84 2685,80		

Tabela F7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	33,28 33,21	-	33,25	0,05
VLC *10	28,66 28,28	-	28,47	0,27
Bagaço 1A	2,15 2,18 2,15	212,09 214,95 212,68	196,72	22,66
Bagaço 1B	1,79 1,82	170,62 173,28		
Cinza 1A	- - -	- - -	-	-
Cinza 1B	- -	- -		
Torta 1A	8,20 8,60 8,47 7,45	1380,01 1446,65 1424,77 1235,40	1322,46	106,18
Torta 1B	7,44 7,32	1233,58 1214,33		

Tabela F8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	1560,00 1529,00	-	1544,50	21,92
VLC *1000	1118,00 1100,00	-	1109,00	12,73
Bagaço 1A *10	12,58 12,53	1242,10 1237,16	1080,85	183,89
Bagaço 1B *10	9,87 9,51	939,19 904,94		
Cinza 1A	- - -	- - -	-	-
Cinza 1B	- -	- -		
Torta 1A *100	143,40 146,50	24133,29 24655,00	24979,09	723,73
Torta 1B *100	153,00 155,20	25381,55 25746,52		

Tabela F9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,09 0,09	-	0,09	0,00
VLC	0,03 0,04	-	0,04	0,01
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	- -	- -	-	-
Cinza 1B	- -	- -		
Torta 1A	0,08 0,09	13,46 15,15	15,03	1,28
Torta 1B	0,09 0,10	14,93 16,59		

Tabela F10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,62 0,62	-	0,62	0,00
VLC	0,19 0,20	-	0,20	0,01
Bagaço 1A	0,05 0,05	4,94 4,94	4,88	0,10
Bagaço 1B	0,05	4,76		
Cinza 1A	- -	- -	-	-
Cinza 1B	- -	- -		
Torta 1A	0,27 0,28	45,44 47,12	46,37	0,69
Torta 1B	0,28 0,28	46,45 46,45		

Tabela F11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	60,37			
	60,73	-	60,71	0,34
	61,04			
VLC *10	41,72	-	41,59	0,18
	41,46			
Bagaço 1A *10	4,21	415,68		
	4,46	440,36	348,90	91,92
Bagaço 1B *10	2,84	270,24		
	2,83	269,29		
Cinza 1A	-	-		
	-	-	-	-
Cinza 1B	-	-		
	-	-		
Torta 1A *100	92,20	15516,66		
	91,10	15331,54	14994,73	527,20
Torta 1B *100	86,60	14366,29		
	89,00	14764,43		

Tabela F12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	177,60	-	173,55	5,73
	169,50			
VLC *100	121,90	-	122,10	0,28
	122,30			
Bagaço 1A *10	3,39	334,72		
	3,30	325,83	269,09	70,74
Bagaço 1B *10	2,19	208,39		
	2,18	207,44		
Cinza 1A	-	-		
	-	-	-	-
Cinza 1B	-	-		
	-	-		
Torta 1A *100	42,20	7101,99		
	41,80	7034,67	6810,54	441,63
Torta 1B *100	37,10	6154,61		
	41,90	6950,90		

Tabela F13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcinação (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais ▼ (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%bs)	Sólido volátil	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%bs)
A1	Bagoço	111,9985	114,0471	2,0486	113,0113	1,0128	1,0358	50,56	112,0236	0,0251	49,44	2,48	2,25	0,9877	97,52	97,75
B1		83,2023	85,2003	1,998	84,2532	1,0509	0,9471	47,40	83,2235	0,0212	52,60	2,02	-	1,0297	97,98	-
A1	Cinza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A1	Torta	91,8758	95,9413	4,0655	92,4700	0,5942	3,4713	85,38	92,1734	0,2976	14,62	50,08	46,35	0,2966	49,92	53,65
B1		53,2652	58,3180	5,0528	53,8680	0,6028	4,45	88,07	53,5221	0,2569	11,93	42,62	-	0,3459	57,38	-

APÊNDICE G – Usina 7

Tabela G1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	204,64	8,25
Entrada lavador	176,30	8,38
Captação	2,74	7,22

Tabela G2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	17,49	174,90
Cinza	100 g - 1L	15,92	159,20
Torta	100 g - 1L	10,97	109,70

Tabela G3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0332	56,39	56,67	0,40
2		0,0206	56,95		
1	Torta seca	0,0337	62,20	58,94	4,14
2		0,0188	54,29		
3		0,0231	60,34		
1	Cinza seca	0,0600	49,37	44,69	16,37
2		0,0231	73,65		
3		0,0175	43,27		
4		0,0255	41,70		
5		0,0365	34,67		
6		0,0231	25,49		

Tabela G4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	<0,001
Água Entrada Lavador	<0,001
Reposição	<0,001

Tabela G5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,76	-	0,77	0,01
	0,77			
VLC	0,11	-	0,11	0,00
	0,11			
Bagaço 1A	0,02	1,80	2,72	1,42
	0,02	1,80		
	0,01	0,90		
	0,05	4,23		
Bagaço 1B	0,05	4,23		
	0,04	3,38		
Cinza 1A	1,97	106,36	102,24	4,93
	1,98	106,90		
	1,98	106,90		
	1,47	98,43		
Cinza 1B	1,46	97,76		
	1,45	97,09		
Torta 1A	1,56	149,05	152,55	4,21
	1,56	149,05		
	1,55	148,10		
	1,79	156,66		
Torta 1B	1,78	155,79		
	1,79	156,66		

Tabela G6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	47,000	-	48,50	2,10
	47,600			
	50,9			
VLC	0,182	-	0,21	0,03
	0,241			
	0,207			
Bagaço 1A	0,452	40,63	70,99	36,69
	0,383	34,43		
	0,418	37,57		
	1,241	104,96		
Bagaço 1B	1,237	104,63		
	1,226	103,70		
Cinza 1A *10	30,790	1662,35	1549,19	83,29
	30,540	1648,85		
	27,830	1502,54		
	22,580	1511,88		
Cinza 1B *10	22,270	1491,13		
	22,080	1478,41		
Torta 1A *10	29,760	2843,49	2988,06	190,19
	29,700	2837,76		
	29,060	2776,61		
	36,850	3225,10		
Torta 1B *10	35,800	3133,20		
	35,560	3112,20		

Tabela G7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	16,050 16,090	-	16,07	0,03
VLC *10	16,030 15,850	-	15,94	0,13
Bagaço 1A	1,449 1,468	130,25 131,96	156,14	28,92
Bagaço 1B	2,136 2,148	180,66 181,68		
Cinza 1A *10	8,450 8,170	456,21 441,10	444,78	10,24
Cinza 1B *10	6,710 6,460	449,28 432,54		
Torta 1A *10	7,510 7,450	717,56 711,83	955,98	279,34
Torta 1B *10	13,960 13,400	1221,77 1172,76		

Tabela G8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	1745,00 1740,00	-	1742,50	3,54
VLC *1000	1841,00 1767,00	-	1804,00	52,33
Bagaço 1A *10	6,02 6,11	541,12 549,21	728,26	211,48
Bagaço 1B *10	10,83 10,72	916,01 906,71		
Cinza 1A *100	163,90 163,70	8848,94 8838,14	9363,18	600,07
Cinza 1B *100	147,70 147,50	9889,52 9876,13		
Torta 1A *100	158,50 157,10	15144,28 15010,51	16069,68	1152,43
Torta 1B *100	193,40 196,50	16926,31 17197,62		

Tabela G9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,11			
	0,11	-	0,11	0,01
	0,10			
VLC	0,03			
	0,04	-	0,04	0,01
	0,04			
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,18	9,72	9,23	0,46
	0,18	9,72		
	0,17	9,18		
Cinza 1B	0,14	9,37		
	0,13	8,70		
	0,13	8,70		
Torta 1A	0,1	9,55	11,51	1,52
	0,11	10,51		
	0,11	10,51		
Torta 1B	0,14	12,25		
	0,15	13,13		
	0,15	13,13		

Tabela G10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,25			
	0,23	-	0,24	0,01
	0,23			
VLC	0,03			
	0,01	-	0,02	0,01
	0,01			
Bagaço 1A	0,05	4,49	5,20	1,19
	0,04	3,60		
	0,05	4,49		
Bagaço 1B	0,07	5,92		
	0,08	6,77		
	0,07	5,92		
Cinza 1A	0,26	14,04	13,65	0,32
	0,25	13,50		
	0,25	13,50		
Cinza 1B	0,20	13,39		
	0,21	14,06		
	0,20	13,39		
Torta 1A	0,21	20,06	19,38	1,28
	0,22	21,02		
	0,21	20,06		
Torta 1B	0,21	18,38		
	0,20	17,50		
	0,22	19,25		

Tabela G11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	112,80	-	112,35	0,64
	111,90			
VLC *10	45,98	-	46,37	0,61
	46,07			
	47,07			
Bagaço 1A *10	4,15	373,03	433,57	75,28
	4,05	364,04		
Bagaço 1B *10	5,95	503,26		
	5,84	493,95		
Cinza 1A *100	140,90	7607,17	7370,12	214,43
	138,50	7477,59		
Cinza 1B *100	106,40	7124,20		
	108,60	7271,51		
Torta 1A *100	114,30	10921,08	10912,82	25,63
	114,20	10911,52		
Torta 1B *100	124,30	10878,70		
	125,00	10939,96		

Tabela G12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	174,80	-	173,45	1,91
	172,10			
VLC *100	118,00	-	116,90	1,56
	115,80			
Bagaço 1A *10	2,73	245,39	265,40	24,17
	2,71	243,60		
Bagaço 1B *10	3,37	285,04		
	3,40	287,58		
Cinza 1A *100	61,50	3320,38	3250,47	97,09
	62,00	3347,37		
Cinza 1B *100	47,20	3160,36		
	47,40	3173,75		
Torta 1A *100	40,90	3907,89	3995,14	106,58
	40,80	3898,34		
Torta 1B *100	46,80	4095,92		
	46,60	4078,42		

Tabela G13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcínada (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%ds)	Sólido volátil	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%ds)
A1	Bagaço	87,5152	89,5216	2,0064	88,6277	1,1125	0,8939	44,55	87,5410	0,0258	55,45	2,32	2,31	1,0867	97,68	97,69
B1		91,0871	93,1882	2,1011	92,2694	1,1823	0,9188	43,73	91,1143	0,0272	56,27	2,30		1,1551	97,70	
A1	Cinza	91,9294	97,9820	6,0526	93,7816	1,8522	4,2004	69,40	93,2338	1,3044	30,60	70,42	68,91	0,5478	29,58	31,09
B1		98,1399	103,2525	5,1126	99,6334	1,4935	3,6191	70,79	99,1464	1,0065	29,21	67,39		0,4870	32,61	
A1	Torta	103,6070	108,6886	5,0816	104,6536	1,0466	4,035	79,40	104,1287	0,5217	20,60	49,85	50,99	0,5249	50,15	49,01
B1		92,2188	97,7197	5,5009	93,3614	1,1426	4,3583	79,23	92,8145	0,5957	20,77	52,14		0,5469	47,86	

APÊNDICE H – Usina 8

Tabela H1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	327,93	9,14
Entrada lavador	172,58	8,25
Captação	-	-

Tabela H2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	18,01	180,10
Cinza	100 g - 1L	7,13	71,30
Torta	100 g - 1L	10,79	107,90

Tabela H3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0244	59,01	59,23	0,30
2		0,0321	59,44		
1	Torta seca	0,0239	18,52	15,64	2,74
2		0,0307	13,06		
3		0,0122	15,33		
1	Cinza seca	0,0975	0,055	0,11	0,06
2		0,0684	0,093		
3		0,0434	0,168		

Tabela H4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	<0,001
VLC	0,043
Reposição	-

Tabela H5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	1,58 1,58	-	1,58	0,00
VLC	0,16 0,15	-	0,16	0,01
Bagaço 1A	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00 0,00	0,00 0,00		
Cinza 1A	0,43 0,43	11,78 11,78	11,14	0,74
Cinza 1B	0,42 0,42	10,49 10,49		
Torta 1A	4,23 4,25	247,25 248,42	245,98	2,21
Torta 1B	3,92 3,93	243,81 244,43		

Tabela H6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	29,540 29,64	-	29,59	0,07
VLC	0,596 0,571 0,582	-	0,58	0,01
Bagaço 1A	0,277 0,249	25,81 23,20	37,88	14,37
Bagaço 1B	0,274 0,533 0,551 0,580	25,53 48,93 50,58 53,25		
Cinza 1A *10	10,810 10,690	296,06 292,77	284,95	11,04
Cinza 1B *10	10,990 11,060	274,61 276,35		
Torta 1A *100	105,300 101,700	6155,02 5944,59	6049,22	87,73
Torta 1B *100	97,600 96,900	6070,41 6026,87		

Tabela H7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	16,480 16,520	-	16,50	0,03
VLC *10	15,960 15,960	-	15,96	0,00
Bagaço 1A	0,392 0,389	36,53 36,25	43,07	7,72
Bagaço 1B	0,543 0,541	49,85 49,66		
Cinza 1A	3,121 3,142	85,48 86,05	64,20	24,90
Cinza 1B	1,711 1,702	42,75 42,53		
Torta 1A *10	13,940 13,300	814,82 777,41	782,28	22,74
Torta 1B *10	12,460 12,250	774,97 761,91		

Tabela H8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *1000	1284,00 1166,00 1140,00	-	1196,67	76,74
VLC *1000	595,00 546,00 545,00	-	562,00	28,58
Bagaço 1A *10	14,77 14,62	1376,26 1362,28	1123,45	283,93
Bagaço 1B *10	9,51 9,61	873,04 882,22		
Cinza 1A *10	34,80 35,05	953,09 959,93	883,85	83,97
Cinza 1B *10	32,36 32,57	808,58 813,82		
Torta 1A *100	340,20 341,40	19885,43 19955,58	20306,69	447,31
Torta 1B *100	333,10 332,30	20717,75 20667,99		

Tabela H9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,12 0,11	-	0,115	0,01
VLC	0,01 0,00	-	0,01	0,01
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,06 0,06	1,64 1,64	1,45	0,23
Cinza 1B	0,05 0,05	1,25 1,25		
Torta 1A	0,3 0,31	17,54 18,12	17,93	0,27
Torta 1B	0,29 0,29	18,04 18,04		

Tabela H10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,58 0,56	-	0,57	0,01
VLC	0,27 0,26	-	0,27	0,01
Bagaço 1A	0,04 0,05	3,73 4,66	3,72	0,78
Bagaço 1B	0,04 0,03	3,73 2,75		
Cinza 1A	0,27 0,27	7,39 7,39	7,26	0,23
Cinza 1B	0,28	7,00		
Torta 1A	0,42 0,42	24,55 24,55	24,25	0,43
Torta 1B	0,39 0,38	24,26 23,63		

Tabela H11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	163,30 159,90	-	161,60	2,40
VLC *10	38,36 38,68	-	38,52	0,23
Bagaço 1A *10	3,81 3,84	355,01 357,81	475,64	137,85
Bagaço 1B *10	6,57 6,39	603,14 586,62		
Cinza 1A *10	32,75 32,97	896,94 902,97	852,02	55,42
Cinza 1B *10	32,12 32,24	802,58 805,58		
Torta 1A *100	320,00 311,40 312,10	18704,70 18202,01 18242,93	17936,26	644,88
Torta 1B *100	278,70 276,50	17334,25 17197,41		

Tabela H12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	119,00 119,60	-	119,30	0,42
VLC *10	31,43 31,42	-	31,43	0,01
Bagaço 1A *10	2,04 2,05	190,09 191,02	274,33	76,50
Bagaço 1B *10	3,57 3,62 3,60	327,73 332,32 330,49		
Cinza 1A *10	14,33 14,36	392,46 393,28	355,23	43,47
Cinza 1B *10	12,68 12,74	316,83 318,33		
Torta 1A *100	124,90 125,50	7300,68 7335,75	7097,03	256,41
Torta 1B *100	110,20 110,90	6854,09 6897,62		

Tabela H13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcinação (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%ap/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%ap/p)	Sólido fixo (%ap/p)	Sólido fixo (%abs)	Sólido volátil	Sólido volátil (%ap/p)	Sólido volátil (%abs)
A1	Bagaço	81,5992	83,6004	2,0012	82,6724	1,0732	0,928	46,37	81,6201	0,0209	53,63	1,95	1,82	1,0523	98,05	98,18
B1		92,5736	94,5814	2,0078	93,6629	1,0893	0,9185	45,75	92,5920	0,0184	54,25	1,69		1,0709	98,31	
A1	Cinza	53,9387	58,7465	4,8078	57,5900	3,6513	1,1565	24,05	57,5900	3,6513	75,95	100,00	100,00	0,0000	0,00	0,00
B1		85,1255	90,3544	5,2289	89,1276	4,0021	1,2268	23,46	89,1276	4,0021	76,54	100,00		0,0000	0,00	
A1	Torta	83,1792	88,4133	5,2341	84,8900	1,7108	3,5233	67,31	84,6203	1,4411	32,69	84,24	84,09	0,2697	15,76	15,91
B1		91,8764	96,8321	4,9557	93,4842	1,6078	3,3479	67,56	93,2260	1,3496	32,44	83,94		0,2582	16,06	

APÊNDICE I – Usina 9

Tabela I1. Resultados de cloretos e pH nas amostras líquidas

Amostra Água	Cloretos (mg/L)	pH
Saída lavador	67,51	8,49
Entrada lavador	56,34	8,30
Captação	4,67	7,14

Tabela I2. Resultados de cloretos nas amostras sólidas

Amostra	Solubilização	Cloretos (mg/L)	Cloretos (mg/kg)
Bagaço	50 g - 500 mL	20,42	204,2
Cinza	100 g - 1L	24,37	243,7
Torta	100 g - 1L	5,15	51,5

Tabela I3. Resultados do teor de carbono nas amostras sólidas

Amostra	Material	Massa (g)	Teor de Carbono (%)	Média	Desvio Padrão
1	Bagaço Seco	0,0479	52,39	53,39	1,84
2		0,0211	55,51		
3		0,0226	52,27		
1	Torta seca	0,0210	17,52	15,82	1,80
2		0,0201	14,34		
3		0,0218	17,22		
4		0,0209	14,18		
1	Cinza seca	0,0612	9,97	13,60	7,40
2		0,0628	5,99		
3		0,0809	15,34		
4		0,0847	23,10		

Tabela I4. Resultados do teor de alumínio nas amostras líquidas

Al	
Amostra	Resultado (mg/L)
Água Saída Lavador	0,03
Água Entrada Lavador	0,04
Reposição	0,02

Tabela I5. Resultados do teor de Mn nas amostras

Mn 279 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,20	-	0,20	0,00
	0,20			
	0,20			
VLC	0,05	-	0,06	0,03
	0,04			
	0,09			
Bagaço 1A	0,29	24,94	22,15	3,23
	0,26	22,36		
	0,27	23,22		
Bagaço 1B	0,27	23,72		
	0,26	22,84		
	0,18	15,81		
Cinza 1A	4,30	86,94	87,97	1,46
	4,26	86,13		
	4,30	86,94		
Cinza 1B	3,97	89,27		
	3,96	89,05		
	3,98	89,50		
Torta 1A	4,18	221,97	293,01	78,61
	4,17	221,44		
	4,15	220,38		
Torta 1B *10	7,10	366,47		
	7,10	366,47		
	7,00	361,31		

Tabela I6. Resultados do teor de Fe nas amostras

Fe 248 .3				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	7,13	-	7,26	0,18
	7,39			
VLC	0,56	-	0,57	0,02
	0,59			
Bagaço 1A	0,90	77,65	88,35	18,29
	0,80	68,71		
Bagaço 1B	1,23	108,13		
	1,13	98,91		
Cinza 1A *100	58,90	1190,81	1317,28	284,11
	48,90	988,64		
Cinza 1B *100	64,90	1459,38		
	72,50	1630,28		
Torta 1A *100	108,10	5740,53	4433,57	1672,81
	113,30	6016,67		
Torta 1B *100	58,80	3035,00		
	57,00	2942,09		

Tabela I7. Resultados do teor de Na nas amostras

Na 589 .0				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	8,26	-	8,25	0,01
	8,24			
VLC *10	11,22	-	10,99	0,33
	10,75			
Bagaço 1A	2,46	211,11	237,71	30,47
	2,46	211,54		
Bagaço 1B	3,01	264,32		
	3,00	263,88		
Cinza 1A *10	6,82	137,88	150,44	15,33
	6,75	136,47		
Cinza 1B *10	7,28	163,70		
	7,28	163,70		
Torta 1A *10	7,04	373,85	360,23	16,04
	7,05	374,38		
Torta 1B *10	6,72	346,86		
	6,70	345,82		

Tabela I8. Resultados do teor de K nas amostras

K 766 .5				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *100	266,20	-	267,25	1,48
	268,30			
VLC *100	382,30	-	379,75	3,61
	377,20			
Bagaço 1A *10	17,17	1476,48	1409,58	76,92
	17,16	1475,62		
Bagaço 1B *10	15,22	1336,96		
	15,36	1349,26		
Cinza 1A *1000	741,00	14981,20	16725,00	2410,70
	742,00	15001,42		
Cinza 1B *1000	738,00	14920,55		
	852,00	19158,55		
Torta 1A *1000	870,00	19563,31	31735,15	11536,92
	832,00	44182,47		
Torta 1B *1000	839,00	44554,19		
	444,00	22917,31		
Torta 1B *1000	451,00	23278,62		
	460,00	23743,16		

Tabela I9. Resultados do teor de Cu nas amostras

Cu 324 .8				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	<0,01 <0,01	-	-	#DIV/0!
VLC	2,48 2,50	-	2,49	0,01
Bagaço 1A	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagaço 1B	0,00	0,00		
Cinza 1A	0,21 0,21	4,25 4,25	3,92	0,37
Cinza 1B	0,16 0,16	3,60 3,60		
Torta 1A	0,59 0,59	31,33 31,33	31,67	0,39
Torta 1B	0,62 0,62	32,00 32,00		

Tabela I10. Resultados do teor de Zn nas amostras

Zn 213 .9				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador	0,21 0,21	-	0,21	0,00
VLC	0,16 0,16	-	0,16	0,00
Bagaço 1A	0,08 0,08	6,88 6,88	8,05	1,40
Bagaço 1B	0,10 0,11	8,78 9,66		
Cinza 1A	0,34 0,34	6,87 6,87	7,43	0,65
Cinza 1B	0,35 0,36	7,87 8,10		
Torta 1A	1,07 1,08	56,82 57,35	171,78	132,45
Torta 1B *10	5,60 5,50	289,05 283,89		

Tabela I11. Resultados do teor de Ca nas amostras

Ca 422 .7				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	19,28 19,10	-	19,19	0,13
VLC *10	18,19 18,36	-	18,28	0,12
Bagaço 1A *10	7,19 7,16	618,28 615,70	610,24	8,97
Bagaço 1B *10	6,81 6,93	598,21 608,75		
Cinza 1A *100	278,70 286,90	5634,63 5800,41	6722,51	1163,05
Cinza 1B *100	341,60 345,70	7681,41 7773,61		
Torta 1A *100	520,60 520,80	27645,90 27656,52	20943,39	7746,08
Torta 1B *100	273,60 278,00	14122,02 14349,13		

Tabela I12. Resultados do teor de Mg nas amostras

Mg 285 .2				
Amostra	Resultado (mg/L)	Resultado (mg/kg)	Média	Desv. Padrão
Água Saída Lavador *10	26,27 26,12	-	26,20	0,11
VLC *10	25,42 25,45	-	25,44	0,02
Bagaço 1A *10	5,06 5,04	435,12 433,40	399,40	40,26
Bagaço 1B *10	4,14 4,16	363,67 365,43		
Cinza 1A *100	148,60 147,40	3004,33 2980,07	3281,53	334,42
Cinza 1B *100	158,20 159,40	3557,37 3584,36		
Torta 1A *100	175,30 174,80	9309,12 9282,57	6947,39	2711,83
Torta 1B *100	88,70 89,50	4578,30 4619,59		

Tabela I13. Resultados da secagem e calcinação das amostras sólidas

Número	Amostra	Massa cápsula Calcínada (g)	MCC + amostra	Massa amostra	Massa após 110 °C	Massa amostra após 110 °C	Unidade (g)	Unidade (%p/p)	Massa após 550 °C	Massa amostra Após 550 °C	Sólidos totais (%p/p)	Sólido fixo (%p/p)	Sólido fixo (%abs)	Sólido volátil	Sólido volátil (%p/p)	Sólido volátil (%abs)
A1	Bagaço	53,9470	55,9985	2,0515	55,1099	1,1629	0,8886	43,31	53,9680	0,0210	56,69	1,81	2,12	1,1419	98,19	97,88
B1		53,2691	55,2753	2,0062	54,4075	1,1384	0,8678	43,26	53,2969	0,0278	56,74	2,44		1,1106	97,56	
A1	Cinza	83,2120	88,2170	5,005	88,1582	4,9462	0,0588	1,17	87,4010	4,1890	98,83	84,69	88,76	0,7572	15,31	11,24
B1		91,8872	96,3564	4,4692	96,3343	4,4471	0,0221	0,49	96,0151	4,1279	99,51	92,82		0,3192	7,18	
A1	Torta	85,1346	90,6781	5,5435	87,0177	1,8831	3,6604	66,03	86,6674	1,5328	33,97	81,40	81,74	0,3503	18,60	18,26
B1		49,3534	54,9920	5,6386	51,2908	1,9374	3,7012	65,64	50,9436	1,5902	34,36	82,08		0,3472	17,92	

APÊNDICE J – Valor elementar de oxigênio das amostras de fuligem das usinas 1, 2 e 6

Tabela J1. Cálculos para obtenção dos valores elementares de oxigênio

Usina	Massa total (mg)	Teor de volátil (%)	Massa volátil (mg)	Umidade (%)	Teor de cinza (%)	N ₂ (%)	C (%)	H ₂ (%)	S (%)	mN ₂ vol (mg)	mCvol (mg)	mH ₂ vol (mg)	mSvol (mg)	N ₂ vol (%)	Cvol (%)	H ₂ vol (%)	Svol (%)	O ₂ vol (%)	mO ₂ vol (mg)	O ₂ (%)
1	2,23	6,95	0,15	16,09	93,05	0,00	3,31	1,02	1,15	0,00	0,07	0,02	0,03	0,00	47,66	14,72	16,60	21,02	0,03	1,46
2	2,43	21,62	0,53	66,56	78,38	0,19	11,96	1,13	1,62	0,00	0,29	0,03	0,04	0,88	55,33	5,24	7,51	31,04	0,16	6,71
6	2,17	53,65	1,17	86,73	46,35	0,72	39,71	2,85	0,00	0,02	0,86	0,06	0,00	1,34	74,02	5,30	0,00	19,34	0,23	10,38

Legenda

A. Elementar

Valores LRH

N₂

mN₂vol

N₂vol

Nitrogênio

Massa de nitrogênio volátil

Nitrogênio volátil

ANEXOS

ANEXO A – Análise de dioxinas e furanos

A1 – Usina 2, água de saída do lavador de gases



Primeira Página

DETALHES DO CLIENTE		DETALHES DO LABORATORIO	
Cliente	Medições Ambientais Consultoria Ltda	Gerente	Ana Costa
Endereço	Rua Estoril, 121 - CEP 31.255-190 São Francisco, Belo Horizonte - MG Belo Horizonte - MG Belo Horizonte - MG	Laboratório	SGS do Brasil Ltda
Contato		Endereço	Avenida Alfredo Balthazar da Silveira, 1785 - Recreio - 22790-710
Telefone		Telefone	(55) 21 2487 4477
Fax		Fax	
Email		Email	ana.costa@sgs.com
Projeto		Número do Job	RJ2103687
Nº da Proposta	Proposta 2021 2762 R MEAN CRM 7784617	Recebido	26/10/2021
Matriz/Amostra	Líquido(1) Resíduo Sólido(2)	Iniciado em	29/10/2021
		Finalizado em	09/11/2021
		Aprovado	09/11/2021
		Data do Relatório	09/11/2021
		Relatório Nº	RJ21036871 R0

ASSINATURAS

Ana Costa
Signatário Autorizado
CRQ/III:03212934

COMENTÁRIOS

A incerteza de medição expandida é expressa como valor absoluto próximo ao resultado; com o nível de confiança de 95 % e fator de expansão de $K = 2$.

Os resultados são reportados como valor absoluto $\pm$ a incerteza de medição absoluta estimada pelo laboratório.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiadas.



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ21036871 R0

RESULTADOS DIOXINAS

Nº da amostra	RJ2103687.003
ID da amostra	AMOSTRA 02 - MEAM 4209-21
Local da amostra	
Matriz da amostra	Líquido
Amostrado por	Amostrado pelo Cliente

Ensaio	Unidade	Resultado	LQ pg OMS TEQ/l	OMS TEF	pg OMS TEQ/l	OMS TEQ pg/l Upperbound
--------	---------	-----------	--------------------	---------	-----------------	----------------------------

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 15,636 pg/L)]

* 2,3,7,8-TetraCDD	pg/l	<2,5000	2,5	1	<LQ	2,5
* 1,2,3,7,8-PentaCDD	pg/l	<6,2500	6,25	1	<LQ	6,25
* 1,2,3,4,7,8-HexaCDD	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,6,7,8-HexaCDD	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,7,8,9-HexaCDD	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	pg/l	<6,2500	0,0625	0,01	<LQ	0,0625
* 1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	pg/l	<17,5000	0,00525	0,0003	<LQ	0,00525
* Total tetra dioxinas	pg/l	-	--	--	--	--
* Total penta dioxinas	pg/l	-	--	--	--	--
* Total hexa dioxinas	pg/l	-	--	--	--	--
* Total hepta dioxinas	pg/l	-	--	--	--	--
* Somatório de Dioxinas	pg/l	-	--	--	--	10,69
* 2,3,7,8 - TetraCDF	pg/l	<2,5000	0,25	0,1	<LQ	0,25
* 1,2,3,7,8-PentaCDF	pg/l	<6,2500	0,1875	0,03	<LQ	0,1875
* 2,3,4,7,8-PentaCDF	pg/l	<6,2500	1,875	0,3	<LQ	1,875
* 1,2,3,4,7,8-HexaCDF	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,6,7,8-HexaCDF	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 2,3,4,6,7,8-HexaCDF	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,7,8,9-HexaCDF	pg/l	<6,2500	0,625	0,1	<LQ	0,625
* 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	pg/l	<6,2500	0,0625	0,01	<LQ	0,0625
* 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	pg/l	<6,2500	0,0625	0,01	<LQ	0,0625
* 1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	pg/l	<17,5000	0,00525	0,0003	<LQ	0,00525
* Total tetra furanos	pg/l	-	--	--	--	--
* Total penta furanos	pg/l	-	--	--	--	--
* Total hexa furanos	pg/l	-	--	--	--	--
* Total hepta furanos	pg/l	-	--	--	--	--
* Somatório de Furanos	pg/l	-	--	--	--	4,94
* Somatório de Dioxinas e Furanos	pg/l	-	--	--	--	15,63



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ21036871 R0

RESULTADOS DIOXINAS

RESUMO DO CONTROLE DE QUALIDADE DE DIOXINAS

N° da Amostra RJ2103687.003

ID da amostra

AMOSTRA 02 - MEAM 4209-21

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 15,636 pg/L)]

Analito	%Recuperação	Faixa Aceitável
* 13C-2,3,7,8-TetraCDD	74	40 - 135%
* 13C-1,2,3,7,8-PentaCDD	78.4	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDD	77.3	40 - 135%
* 13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDD	100.8	40 - 135%
* 13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDD	109.6	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	76	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	80	40 - 135%
* 13C-2,3,7,8-TetraCDF	119.7	40 - 135%
* 13C-1,2,3,7,8-PentaCDF	76.9	40 - 135%
* 13C-2,3,4,7,8-PentaCDF	104.2	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDF	94	40 - 135%
* 13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDF	83.1	40 - 135%
* 13C-2,3,4,6,7,8-HexaCDF	90.5	40 - 135%
* 13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDF	95.7	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	102	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	100.1	40 - 135%
* 13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	67	40 - 135%



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ21036871 R0

LEGENDA

NOTAS DE RODAPÉ

^	Realizado por laboratório subcontratado SGS externo.	IS	Amostra insuficiente para análise.
^^	Realizado por laboratório subcontratado externo.	LNR	Amostra listada, porém não recebida.
LQ	Limite de Quantificação.	NA / -	Não analisado.
LD	Limite de Detecção	NVL	Análise em andamento.
↑	Limite de quantificação alterado (aumentado).	TBA	Parâmetro ainda não analisado.
↓	Limite de quantificação alterado (reduzido).	BR	Branco de Reagente.
		AP	Amostra Padrão.
		MF	Matriz Fortificada.
		DMF	Duplicata Matriz Fortificada.

O PLANO DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS PELA SGS POSSUEM O MESMO NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO E ESTÃO DISPONÍVEIS SE REQUERIDO.

Regra de Decisão: Ao declarar a conformidade com um requisito especificado, a SGS do Brasil não atribui ao resultado a incerteza de medição.

Este documento é emitido pela Companhia, em nome do Cliente, baseado nas condições gerais de serviço disponível mediante pedido e acessível em http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chama-se a atenção do cliente para as questões de limitação de responsabilidade, indenização e de competência definidas nesse documento.

O portador do presente documento é advertido de que as informações nele contidas refletem as constatações da Companhia exclusivamente no momento de sua intervenção e dentro dos limites das instruções do Cliente, caso exista alguma. A Empresa se responsabiliza exclusivamente com seus clientes e o presente documento não desobriga as partes de uma transação de exercerem seus direitos e obrigações em conformidade com os documentos da transação.

O laboratório considera como não conforme à especificação se o valor é maior que o limite superior e/ou menor que o limite inferior, caso contrário é considerado dentro da especificação.

Este relatório não pode ser reproduzido de forma parcial, somente na íntegra.

— Final do relatório analítico —

A2 – Usina 1: cinza; Usina 2: torta de fuligem



Primeira Página

DETALHES DO CLIENTE		DETALHES DO LABORATORIO	
Cliente	Medições Ambientais Consultoria Ltda	Gerente	Ana Costa
Endereço	Rua Estoril, 121 - CEP 31.255-190 São Francisco, Belo Horizonte - MG Belo Horizonte - MG Belo Horizonte - MG	Laboratório	SGS do Brasil Ltda
Contato		Endereço	Avenida Alfredo Balthazar da Silveira, 1785 - Recreio - 22790-710
Telefone		Telefone	(55) 21 2487 4477
Fax		Fax	
Email		Email	ana.costa@sgs.com
Projeto		Número do Job	RJ2103687
Nº da Proposta	Proposta 2021 2762 R MEAN CRM 7784617	Recebido	26/10/2021
Matriz/Amostra	Líquido(1) Resíduo Sólido(2)	Iniciado em	29/10/2021
		Finalizado em	09/11/2021
		Aprovado	09/11/2021
		Data do Relatório	09/11/2021
		Relatório Nº	RJ2103687_R0

ASSINATURAS

Ana Costa
Signatário Autorizado
CRQIII:03212934

COMENTÁRIOS

A incerteza de medição expandida é expressa como valor absoluto próximo ao resultado; com o nível de confiança de 95 % e fator de expansão de K = 2.

Os resultados são reportados como valor absoluto $\pm$ a incerteza de medição absoluta estimada pelo laboratório.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiadas.



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



RESULTADOS

	Nº da Amostra	RJ2103687.001	RJ2103687.002	
	Id. da amostra	AMOSTRA 01 -	AMOSTRA 02 -	
		MEAM 4207-21	MEAM 4208-21	
	Matriz da amostra	Resíduo Sólido	Resíduo Sólido	
	Amostrado por	Amostrado pelo	Amostrado pelo	
		Cliente	Cliente	
Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	Resultado

Laboratório Orgânico

Compostos Orgânicos Semivoláteis por CG/MS [PA 7.2-169 - Análise de Compostos Orgânicos Semivoláteis por CG/MS]

Aldrin	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Alfa-Clordano	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Dieldrin	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endosulfan	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endosulfan 2	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endosulfan Sulfato	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endrin	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Heptacloro	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Hexaclorobenzeno	µg/kg	12,5	<12,50	<12,50
Gama-Clordano	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endrin Aldeído	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Endrin Cetona	µg/kg	0,25	<0,25	<0,25
Fenol-d5 (Surrogate)	%	-	81	78
Nitrobenzeno-d5 (Surrogate)	%	-	68	75
2-Flúor Bifenila (Surrogate)	%	-	83	71
2,4,6-Tribromofenol (Surrogate)	%	-	98	66
p-Terfenil-d14 (Surrogate)	%	-	85	96



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



RESULTADOS

		Nº da Amostra Id. da amostra	RJ2103687.003
		Matriz da amostra	AMOSTRA 02 -
		Amostrado por	MEAM 4209-21
			Líquido
			Amostrado pelo
			Cliente
Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado

Laboratório Orgânico

Compostos Orgânicos Semivoláteis CG/MS [PA 7.2-169 - Análise de Compostos Orgânicos Semivoláteis por CG/MS]

Aldrin	µg/L	0,01	<0,01
Endosulfan	µg/L	0,01	<0,01
Endosulfan 2	µg/L	0,01	<0,01
Endosulfan Sulfato	µg/L	0,01	<0,01
Endrin	µg/L	0,01	<0,01
Heptacloro	µg/L	0,01	<0,01
Hexaclorobenzeno	µg/L	0,5	<0,50
Gama-Ciordano	µg/L	0,01	<0,01
Endrin Aldeído	µg/L	0,01	<0,01
Endrin Cetona	µg/L	0,01	<0,01
Fenol-d5 (Surrogate)	%	-	72
Nitrobenzeno-d5 (Surrogate)	%	-	73
2-Fluór Bifenila (Surrogate)	%	-	72
2,4,6-Tribromofenol (Surrogate)	%	-	71
p-Terfenil-d14 (Surrogate)	%	-	67



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



RESULTADOS DIOXINAS

Nº da amostra	RJ2103687.001
ID da amostra	AMOSTRA 01 - MEAM 4207-21
Local da amostra	
Matriz da amostra	Resíduo Sólido
Amostrado por	Amostrado pelo Cliente

Ensaio	Unidade	Resultado	LQ pg OMS TEQ/kg	OMS TEF	pg OMS TEQ/kg	OMS TEQ pg/kg Upperbound
--------	---------	-----------	---------------------	---------	------------------	--------------------------------

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 390,991 pg/Kg)]

2,3,7,8-TetraCDD	pg/kg	<62,5000	62,5	1	<LQ	62,5
1,2,3,7,8-PentaCDD	pg/kg	<156,3000	156,3	1	<LQ	156,3
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	pg/kg	<156,3000	1,563	0,01	<LQ	1,563
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	pg/kg	<437,5000	0,13125	0,0003	<LQ	0,13125
Total tetra dioxinas	pg/kg	-	-	-	-	-
Total penta dioxinas	pg/kg	-	-	-	-	-
Total hexa dioxinas	pg/kg	-	-	-	-	-
Total hepta dioxinas	pg/kg	-	-	-	-	-
Somatório de Dioxinas	pg/kg	-	-	-	-	267,38
2,3,7,8 - TetraCDF	pg/kg	<62,5000	6,25	0,1	<LQ	6,25
1,2,3,7,8-PentaCDF	pg/kg	<156,3000	4,689	0,03	<LQ	4,689
2,3,4,7,8-PentaCDF	pg/kg	581,8423 ±7,52322	46,89	0,3	174,55267 7	174,552677
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	pg/kg	498,5543 ±6,44132	15,63	0,1	49,855429	49,855429
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	pg/kg	9672,5769 ±124,96969	15,63	0,1	967,25768 5	967,257685
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	pg/kg	635,0799 ±8,20523	1,563	0,01	6,3507986	6,3507986
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	pg/kg	<156,3000	1,563	0,01	<LQ	1,563
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	pg/kg	<437,5000	0,13125	0,0003	<LQ	0,13125
Total tetra furanos	pg/kg	109,61	-	-	-	-
Total penta furanos	pg/kg	5461,78	-	-	-	-
Total hexa furanos	pg/kg	95471,17	-	-	-	-
Total hepta furanos	pg/kg	5739,07	-	-	-	-
Somatório de Furanos	pg/kg	-	-	-	1198,02	1241,91
Somatório de Dioxinas e Furanos	pg/kg	-	-	-	1198,02	1509,29



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



RESULTADOS DIOXINAS

Nº da amostra	RJ2103687.002
ID da amostra	AMOSTRA 02 - MEAM 4208-21
Local da amostra	
Matriz da amostra	Resíduo Sólido
Amostrado por	Amostrado pelo Cliente

Ensaio	Unidade	Resultado	LQ pg OMS TEQ/kg	OMS TEF	pg OMS TEQ/kg	OMS TEQ pg/kg Upperbound
--------	---------	-----------	---------------------	---------	------------------	--------------------------------

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 390,991 pg/Kg)]

2,3,7,8-TetraCDD	pg/kg	<62,5000	62,5	1	<LQ	62,5
1,2,3,7,8-PentaCDD	pg/kg	<156,3000	156,3	1	<LQ	156,3
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	pg/kg	<156,3000	1,563	0,01	<LQ	1,563
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	pg/kg	<437,5000	0,13125	0,0003	<LQ	0,13125
Total tetra dioxinas	pg/kg	-	--	--	--	--
Total penta dioxinas	pg/kg	-	--	--	--	--
Total hexa dioxinas	pg/kg	-	--	--	--	--
Total hepta dioxinas	pg/kg	-	--	--	--	--
Somatório de Dioxinas	pg/kg	-	--	--	--	267,38
2,3,7,8 - TetraCDF	pg/kg	101,1371 ±1,30669	6,25	0,1	10,11371	10,11371
1,2,3,7,8-PentaCDF	pg/kg	<156,3000	4,689	0,03	<LQ	4,689
2,3,4,7,8-PentaCDF	pg/kg	<156,3000	46,89	0,3	<LQ	46,89
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	pg/kg	<156,3000	15,63	0,1	<LQ	15,63
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	pg/kg	<156,3000	1,563	0,01	<LQ	1,563
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	pg/kg	<156,3000	1,563	0,01	<LQ	1,563
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	pg/kg	<437,5000	0,13125	0,0003	<LQ	0,13125
Total tetra furanos	pg/kg	773,37	--	--	--	--
Total penta furanos	pg/kg	-	--	--	--	--
Total hexa furanos	pg/kg	-	--	--	--	--
Total hepta furanos	pg/kg	-	--	--	--	--
Somatório de Furanos	pg/kg	-	--	--	10,11	127,47
Somatório de Dioxinas e Furanos	pg/kg	-	--	--	10,11	394,85



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



RESULTADOS DIOXINAS

RESUMO DO CONTROLE DE QUALIDADE DE DIOXINAS

N° da Amostra RJ2103687.001

ID da amostra

AMOSTRA 01 - MEAM 4207-21

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 390,991 pg/Kg)]

Análito	%Recuperação	Faixa Aceitável
13C-2,3,7,8-TetraCDD	68.7	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8-PentaCDD	73.8	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDD	99.4	40 - 135%
13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDD	102.8	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDD	109.9	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	85.7	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	105.5	40 - 135%
13C-2,3,7,8-TetraCDF	106	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8-PentaCDF	90.4	40 - 135%
13C-2,3,4,7,8-PentaCDF	109.6	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDF	102.2	40 - 135%
13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDF	86.9	40 - 135%
13C-2,3,4,6,7,8-HexaCDF	108.1	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDF	88.8	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	92.1	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	115.4	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	84.7	40 - 135%

N° da Amostra RJ2103687.002

ID da amostra

AMOSTRA 02 - MEAM 4208-21

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 390,991 pg/Kg)]

Análito	%Recuperação	Faixa Aceitável
13C-2,3,7,8-TetraCDD	78.1	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8-PentaCDD	90.2	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDD	105.4	40 - 135%
13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDD	100.6	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDD	72	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	79.1	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	81.5	40 - 135%
13C-2,3,7,8-TetraCDF	83.4	40 - 135%
13C-1,2,3,7,8-PentaCDF	70.9	40 - 135%
13C-2,3,4,7,8-PentaCDF	76.6	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8-HexaCDF	116.5	40 - 135%
13C-1,2,3,6,7,8-HexaCDF	74.5	40 - 135%
13C-2,3,4,6,7,8-HexaCDF	86	40 - 135%



RESULTADOS DIOXINAS

RESUMO DO CONTROLE DE QUALIDADE DE DIOXINAS

Dioxinas e Furanos [PA 7.2-6 - Análise de Dioxinas e Furanos por GCMS-HR (WHO-TEQ Upperbound = 390,991 pg/Kg)]
(continuação)

Analito	%Recuperação	Faixa Aceitável
13C-1,2,3,7,8,9-HexaCDF	85.3	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	105	40 - 135%
13C-1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	71.7	40 - 135%
13C-1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	74.2	40 - 135%



MÉTODOS

MÉTODO	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
PA 7.2-169 - Análise de Compostos Orgânicos Semivoláteis por CG/MS	USEPA 3510C / USEPA 8270D
PA 7.2-169 - Análise de Compostos Orgânicos Semivoláteis por CG/MS	USEPA 3540C / USEPA 8270E / USEPA 3630



RELATÓRIO DE ENSAIOS RJ2103687_R0



LEGENDA

NOTAS DE RODAPÉ

^	Realizado por laboratório subcontratado SGS externo.	IS	Amostra insuficiente para análise.
^^	Realizado por laboratório subcontratado externo.	LNR	Amostra listada, porém não recebida.
LQ	Limite de Quantificação.	NA / -	Não analisado.
LD	Limite de Detecção	NVL	Análise em andamento.
↑	Limite de quantificação alterado (aumentado).	TBA	Parâmetro ainda não analisado.
↓	Limite de quantificação alterado (reduzido).	BR	Branco de Reagente.
		AP	Amostra Padrão.
		MF	Matriz Fortificada.
		DMF	Duplicata Matriz Fortificada.

O PLANO DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS PELA SGS POSSUEM O MESMO NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO E ESTÃO DISPONÍVEIS SE REQUERIDO.

Regra de Decisão: Ao declarar a conformidade com um requisito especificado, a SGS do Brasil não atribui ao resultado a incerteza de medição.

Este documento é emitido pela Companhia, em nome do Cliente, baseado nas condições gerais de serviço disponível mediante pedido e acessível em

http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Chama-se a atenção do cliente para as questões de limitação de responsabilidade, indenização e de competência definidas nesse documento.

O portador do presente documento é advertido de que as informações nele contidas refletem as constatações da Companhia exclusivamente no momento de sua intervenção e dentro dos limites das instruções do Cliente, caso exista alguma. A Empresa se responsabiliza exclusivamente com seus clientes e o presente documento não desobriga as partes de uma transação de exercerem seus direitos e obrigações em conformidade com os documentos da transação.

O laboratório considera como não conforme à especificação se o valor é maior que o limite superior e/ou menor que o limite inferior, caso contrário é considerado dentro da especificação.

Este relatório não pode ser reproduzido de forma parcial, somente na íntegra.

— Final do relatório analítico —

ANEXO B – Análise elementar

B1 – Resultados das análises elementares das usinas 1,2 e 6 (planilha adaptada)

Summarize Results

Date : 3/4/2022 15:10:51
 Method Name : metodo-CHNS-03-03-2022
 Method Filename : metodo-CHNS-03-03-2022.mth



INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
 Universidade de São Paulo
 Central de Análises Químicas Instrumentais - CAQI

Sample name	Inj Date	Inj Time	Type	Weight (mg)	Humidity (%)	Nitrogen	Carbon	Hydrogen	Sulphur
Amostra1-1	03/03/2022	23:11	UNK	1,89	0,00	0,00	2,41	1,17	0,80
Amostra1-2	03/03/2022	23:23	UNK	2,42	0,00	0,00	4,17	1,02	1,25
Amostra1-3	03/03/2022	23:35	UNK	2,37	0,00	0,00	3,35	0,88	1,41

Component Name	Average	Std. Dev.	% Rel. S. D.	Variance
Nitrogen	0,00	0,00	0,00	0,00
Carbon	3,31	0,88	26,54	0,77
Hydrogen	1,02	0,15	14,25	0,02
Sulphur	1,15	0,32	27,56	0,10

Usina 1

Sample name	Inj Date	Inj Time	Type	Weight (mg)	Humidity (%)	Nitrogen	Carbon	Hydrogen	Sulphur
Amostra2-1	03/04/2022	09:11	UNK	2,05	0,00	0,00	9,55	0,46	0,00
Amostra2-2	03/04/2022	09:23	UNK	2,37	0,00	0,33	16,86	1,57	2,97
Amostra2-3	03/04/2022	09:35	UNK	2,87	0,00	0,24	9,48	1,36	1,90

Component Name	Average	Std. Dev.	% Rel. S. D.	Variance
Nitrogen	0,19	0,17	89,68	0,03
Carbon	11,96	4,24	35,45	17,99
Hydrogen	1,13	0,59	52,15	0,35
Sulphur	1,62	1,51	92,75	2,27

Usina 2

Sample name	Inj Date	Inj Time	Type	Weight (mg)	Humidity (%)	Nitrogen	Carbon	Hydrogen	Sulphur
Amostra6-1	03/04/2022	09:51	UNK	1,99	0,00	0,65	39,92	2,74	0,00
Amostra6-2	03/04/2022	10:04	UNK	2,24	0,00	0,76	37,97	2,73	0,00
Amostra6-3	03/04/2022	10:16	UNK	2,29	0,00	0,74	41,25	3,07	0,00

Component Name	Average	Std. Dev.	% Rel. S. D.	Variance
Nitrogen	0,72	0,06	7,91	0,00
Carbon	39,71	1,65	4,16	2,73
Hydrogen	2,85	0,19	6,70	0,04
Sulphur	0,00	0,00	0,00	0,00

Usina 6

ANEXO C – espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva

C1 – Resultados das análises do espectrômetro de fluorescência das usinas 1,2 e 6 (planilha adaptada)

Fuligem - usina 1			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Al	2,87	Al ₂ O ₃	4,90
Si	19,45	SiO ₂	34,76
P	0,88	P ₂ O ₅	1,47
S	0,55	SO ₃	0,99
Cl	0,50	K ₂ O	5,81
K	7,07	CaO	3,06
Ca	3,46	TiO ₂	2,20
Ti	2,19	MnO	0,14
Mn	0,19	Fe ₂ O ₃	4,98
Fe	6,08	Cl	0,36
Soma (%)	43,22		58,67

Fuligem - usina 2			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Al	2,882	Al ₂ O ₃	4,782
Si	14,777	SiO ₂	26,275
P	0,755	P ₂ O ₅	1,315
S	0,828	SO ₃	1,551
Cl	1,202	K ₂ O	5,580
K	6,579	CaO	3,994
Ca	4,321	TiO ₂	2,815
Ti	2,669	MnO	0,241
Mn	0,308	Fe ₂ O ₃	7,751
Fe	9,063	Cl	0,886
Soma (%)	43,38		55,19

Fuligem - usina 6			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Mg	1,13	MgO	1,75
Al	1,36	Al ₂ O ₃	2,31
Si	12,01	SiO ₂	21,91
P	0,86	P ₂ O ₅	1,52
S	0,80	SO ₃	1,51
Cl	0,26	K ₂ O	5,48
K	6,43	CaO	5,34
Ca	5,86	TiO ₂	1,03
Ti	1,00	MnO	0,21
Mn	0,28	Fe ₂ O ₃	3,81
Fe	4,52	Cl	0,20
Soma (%)	34,51		45,06



INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
Universidade de São Paulo