



ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM LIXIVIADOS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Arthur Fernandes Prado

Projeto de Final de Curso

Orientadoras:

Prof^ª. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.

Prof^ª. Letícia Sobral Maia dos Santos Lima, D.Sc.

Maio de 2023

ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM LIXIVIADOS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Arthur Fernandes Prado

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Prof^a. Fabiana Valéria da Fonseca, D.Sc.

Pesquisador Ronei de Almeida, D.Sc.

Orientado por:

Prof^a. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.

Prof^a. Letícia Sobral Maia dos Santos Lima, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Maio de 2023

Prado, Arthur Fernandes

Estimativa de concentração de substâncias húmicas em lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos/ Arthur Fernandes Prado. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2023.

x, 106 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2023.

Orientadoras: Prof^a. Juacyara Carbonelli Campos e Prof^a. Letícia Sobral Maia dos Santos Lima

1. Engenharia de Meio Ambiente. 2. Substâncias Húmicas. 3. Lixiviado. 4. Projeto Final de Curso (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Juacyara Carbonelli Campos. 6. Letícia Sobral Maia dos Santos Lima I. Estimativa de concentração de substâncias húmicas em lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos.

À ciência, educação e cultura brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Diante de toda a dificuldade que o povo, a ciência e a educação brasileira sofreram, em especial nos últimos anos, concluir essa etapa da vida nesse momento tem um valor ainda maior. Com este trabalho, não sou apenas eu que obtenho o grau de engenheiro químico. Todos que participaram de minha vida, na minha formação como estudante, universitário, cidadão e pessoa devem receber parte desse título.

Agradeço e partilho este momento com meus pais, Elaine e Ruy, que batalharam e assumiram, sem qualquer dúvida, a dor de ver o filho se mudar para outro estado com apenas a certeza de que a educação e as experiências são as únicas coisas que não podem ser tiradas de nós. As lágrimas de emoção com minha primeira partida para o Rio de Janeiro, hoje florescem como conquista e orgulho por toda a caminhada. Muito obrigado por **tudo**.

Obrigado meus grandes amigos e amigas que me trouxeram tanta força e tem em si boa parte da pessoa que busco me tornar. Agradeço cada conversa, conselho, pensamento, risada, choro, áudio, abraço e cada momento em que, muitas vezes sem saber, vocês salvaram minha vida. Obrigado, minha irmã, Lívia, por me ensinar sobre o valor do carinho. Obrigado, meus queridos padrinhos, Gustavo e Flávia. Obrigado Gabriel Melo, João Eduardo, Ana Clhara, Mariana Canto, Amanda Favali, Letícia Freitas, Renan Gustavo, Lucas Najar e Tomás Carvalho. Na ausência de qualquer um de vocês todo o caminho até aqui teria sido muito mais difícil e muito menos bonito. Não tenho dúvidas ao dizer que amo cada um de vocês.

Agradeço também a todos os grandes professores e professoras que participaram da minha formação desde a Criatibrincando, Integrando, Integral, St. John's College, Hochschule Anhalt até este momento na UFRJ. Representando todos e todas, agradeço aqui as orientadoras deste trabalho, Profa. Juacyara e Profa. Letícia, que me compreenderam em todos os momentos e compartilharam seus conhecimentos comigo para construir este estudo que me traz muito orgulho e tanto representa.

Temos a oportunidade constante de acertar erros do passado no presente e construir um futuro melhor, mais justo e com mais dignidade e igualdade a todos. Junto com o nome e história da Universidade Federal do Rio de Janeiro, carrego comigo o incentivo e responsabilidade para fazer o melhor à sociedade brasileira e ser um melhor profissional a cada dia, trazendo os 90 anos da Escola de Química em meu diploma.

Obrigado a todos e todas.

“Tudo que nós tem é nós!”

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM LIXIVIADOS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Arthur Fernandes Prado

Maio, 2023

Orientadoras: Prof^ª. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.

Prof^ª. Letícia Sobral Maia dos Santos Lima D.Sc.

As substâncias húmicas (SH) são frações importantes na composição do lixiviado de aterros de resíduos sólidos, trazendo muitas das características mais marcantes deste líquido como a coloração escura e alta concentração de matéria orgânica. Estas são substâncias complexas de elevada massa molar, caráter ácido e baixa biodegradabilidade por agentes biológicos. Para o estudo completo dos aterros de resíduos, é necessário estudar de forma abrangente o lixiviado gerado para que seja possível propor metodologias de tratamento, controle e mitigação dos potenciais impactos ambientais causados por este líquido. Sendo assim, as SH demandam atenção e estudos aprofundados, uma vez que são componentes críticos dos lixiviados, em especial por sua acidez e recalcitrância. O primeiro passo para os estudos dessas frações é sua quantificação, no entanto, há grandes entraves, pois esta é dificultada devido à natureza complexa, abrangente e com poucos padrões bem definidos, o que torna a própria definição de SH um tema de constante discussão entre acadêmicos. Essa definição limitada das SH traz problemas técnicos para sua quantificação, que de forma geral demanda metodologias também complexas, com equipamentos de difícil operação e de elevado custo e procedimentos de preparo dispendiosos. Por esses motivos, muitas vezes a quantificação das SH torna-se inviável, dificultando todo o estudo dessas substâncias. Com essa motivação, o presente trabalho propõe uma alternativa acessível para a estimativa de concentração SH a partir de equações matemáticas envolvendo outros parâmetros químicos de realização fácil, não onerosa e já consolidados em laboratórios de análises de águas. Por esses motivos e por suas relações com as SH, foram analisados os parâmetros DQO, COT e absorvância em 254 nm através de análises feitas em amostras de lixiviados dos aterros de Seropédica, Gericinó e Gramacho a fim de encontrar a equação que estimasse com maior precisão e de forma mais abrangente a concentração de SH em amostras de lixiviados. No entanto, apesar de ser obtida uma equação baseada em COT capaz de estimar as leituras de SH em amostras de validação com variação relativa de até 14% para lixiviados do aterro de Gericinó, concluiu-se que a complexidade tanto das substâncias húmicas quanto da geração e composição dos próprios lixiviados dificulta, quando não impossibilita métodos de estimativa indireta baseados em apenas um parâmetro físico-químico sem levar em conta fatores geográficos, meteorológicos, de composição dos resíduos e idade dos aterros.

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	13
I.1. OBJETIVO GERAL	14
I.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
II.1. Aterros de resíduos	15
II.1.1. Aterros sanitários no Brasil.....	19
II.1.2. Fases de degradação de resíduos nos aterros	21
II.2. Lixiviados de aterros de resíduos.....	21
II.2.1. Geração de lixiviado no Rio de Janeiro	22
II.2.2. Composição de lixiviados	22
II.2.3. Problemas sanitários e ambientais relacionados aos lixiviados de aterros de resíduos	
25	
II.3. Substâncias húmicas	26
II.3.1. Ácidos húmicos - AH.....	27
II.3.2. Ácidos Fúlvicos - AF	28
II.3.3. Huminas – HU	29
II.4. Métodos de quantificação de SH	29
II.4.1. Método de Lowry modificado	30
II.4.2. Método de Sheng modificado	30
II.4.3. Método por resina XAD.....	31
II.4.4. Problemas e dificuldades dos métodos de quantificação de SH	32
II.5. Outros parâmetros relacionados à matéria orgânica	33
II.5.1. Demanda Química de Oxigênio – DQO	33
II.5.2. Carbono Orgânico Total – COT	34
II.5.3. Absorbância em 254 nm (ABS).....	34
METODOLOGIA.....	36

III. 36

III.1. Escolha dos estudos para utilização neste trabalho.....	36
III.1.1.Estudos para validação das equações.....	37
III.2. Escolha dos parâmetros de correlação com SH	37
III.3. Etapas para definição e avaliação das equações	38
III.3.1.Etapa 1: Regressão linear dos valores.....	38
III.3.2.Etapa 2: Validação dos resultados	38
III.3.3.Etapa 3: Análise das equações	39
III.4. Esquema de recortes de valores para geração das equações.....	39
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
IV.1. Resultados	42
IV.1.1. Recorte R1 – Etapa 1	42
IV.1.2. Recorte R1 – Etapa 2	44
IV.1.3. Recorte R1 – Etapa 3	44
IV.1.4. Recorte R2 – Etapa 1	45
IV.1.5. Recorte R2 – Etapa 2	48
IV.1.6. Recorte R2 – Etapa 3	49
IV.1.7. Recorte R3 – Etapa 1	49
IV.1.8. Recorte R3 – Etapa 2	55
IV.1.9. Recorte R3 – Etapa 3	57
IV.1.10. Recorte R4 – Etapa 1	58
IV.1.11. Recorte R4 – Etapa 2	64
IV.1.12. Recorte R4 – Etapa 3	66
IV.1.13. Recorte R5 – Etapa 1	67
IV.1.14. Recorte R5 – Etapa 2	67
IV.1.15. Recorte R5 – Etapa 3	69
IV.2. Discussão	69

IV.2.1. Avaliação das equações com melhores resultados	72
V. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA NOVOS ESTUDOS.....	74
V.1. Propostas para novos estudos.....	75
REFERÊNCIAS	76
ANEXOS.....	84
ANEXO A - RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE LIMA (2017) – (Continua).....	84
RE R APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE COSTA (2021) 84	
ANEXO A - RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE LIMA (2017) – (Conclusão).....	85
RE R APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE COSTA (2021) 85	
ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE COSTA (2021).....	86
ANEXO C – RESULTADOS E INFORMAÇÕES DAS ANÁLISES REALIZADAS EM AMOSTRAS BRUTAS DOS ESTUDOS DE VALIDAÇÃO	87
ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) E LIMA (2017) – (Continua).....	88
ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) E LIMA (2017) – (Continua).....	89
ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) E LIMA (2017) – (Conclusão)	90
ANEXO E – RECORTE 2.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021)	91
ANEXO F – RECORTE 2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) – (Continua) .	92
ANEXO F – RECORTE 2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) – (Conclusão)	

ANEXO G – RECORTE 3.1.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA.....	94
ANEXO H – RECORTE 3.1.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GERICINÓ	95
ANEXO I – RECORTE 3.2.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA.....	96
ANEXO J – RECORTE 3.2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GERICINÓ	97
ANEXO K – RECORTE 3.2.3 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GRAMACHO	98
ANEXO L – RECORTE 4.1.1 - ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA	99
ANEXO M – RECORTE 4.1.2 - ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GERICINÓ	100
ANEXO N – RECORTE 4.2.1 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA	101
ANEXO O – RECORTE 4.2.2 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GERICINÓ	102
ANEXO P – RECORTE 4.2.3 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GRAMACHO.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aterro sanitário de RSU.	17
Figura 2: Aterro sanitário de Seropédica.	18
Figura 3: Aplicação de camada impermeabilizante durante a construção do aterro sanitário de Maceió - AL.	18
Figura 4: Percentual brasileiro da geração de RSU por região contra percentual brasileiro de quantidade de aterros localizados em cada região.	19
Figura 5: Geração de RSU per capita (kg/habitante.ano) <i>versus</i> população de cada região brasileira (milhões de habitantes) em 2019.	20
Figura 6: Estrutura bidimensional proposta para ácidos húmicos.	27
Figura 7: Estrutura bidimensional proposta para ácidos fúlvicos.	28
Figura 8: Fórmula estrutural do corante Azul de Toluidina (AT) utilizado no método de Sheng.	31
Figura 9: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R1: Costa + Lima, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	43
Figura 10: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R2.1: Costa, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	46
Figura 11: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R2.2: Lima, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	47
Figura 12: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.1.1: Costa Seropédica, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	50
Figura 13: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.1.2: Costa Gericinó, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	51
Figura 14: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.1: Lima Seropédica, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	52

Figura 15: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.2: Lima Gericinó, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.....	53
Figura 16: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.3: Lima Gramacho, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	54
Figura 17: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.1.1: Costa Seropédica Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	59
Figura 18: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.1.2: Costa Gericinó Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	60
Figura 19: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.1: Lima Seropédica Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	61
Figura 20: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.2: Lima Gericinó Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	62
Figura 21: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.3: Lima Gramacho Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O ₂ /L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.	63
Figura 22: Gráficos de VRm por equações de cada sub-recorte.....	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos aterros de resíduos por idade	21
Tabela 2: Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.....	24
Tabela 3: Faixas de massas molares das frações de substâncias húmicas.	26
Tabela 4: Comparação entre métodos de quantificação de SH	32
Tabela 5: Esquema de recortes de dados para utilização nas etapas para definição da correlação.....	40
Tabela 6: Resultados dos cálculos de SH com a correlação proposta e variação relativa (VR) com relação aos valores medidos de SH	42
Tabela 7: Equações e respectivos R^2 obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para o recorte R1	44
Tabela 8: Resultados da Etapa 2 para o recorte R1	44
Tabela 9: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para o recorte R1	44
Tabela 10: Equações e respectivos R^2 obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes R2	47
Tabela 11: Resultados da Etapa 2 para o recorte R2.1	48
Tabela 12: Resultados da Etapa 2 para o recorte R2.2	48
Tabela 13: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R2.	49
Tabela 14: Equações e respectivos R^2 obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes R3	55
Tabela 15: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.1.1	55
Tabela 16: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.1.2	56
Tabela 17: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.1	56
Tabela 18: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.2	56
Tabela 19: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.3	57
Tabela 20: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R3.	57
Tabela 21: Equações e respectivos R^2 obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes R4	64
Tabela 22: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.1.1	64
Tabela 23: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.1.2	65

Tabela 24: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.1	65
Tabela 25: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.2	65
Tabela 26: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.3	66
Tabela 27: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R4.	66
Tabela 28: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.1.1	67
Tabela 29: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.1.2	68
Tabela 30: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.1	68
Tabela 31: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.2	68
Tabela 32: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.3	68
Tabela 33: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R5.	69
Tabela 34: Análise dos valores de SH, DQO, COT e ABS utilizados no recorte R1...70	
Tabela 35: Comparação entre leituras de diferentes amostras nos estudos de referência.	70
Tabela 36: VRm dos resultados das equações realizadas em cada sub-recorte para cada parâmetro.	71
Tabela 37: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para o sub-recorte R5.1.2.	73

NOMENCLATURA

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AC	Aterro Controlado
AF	Ácidos Fúlvicos
AGE	Aterro Controlado de Gericinó
AH	Ácidos Húmicos
AM	Aterro Metropolitano
AS	Aterro Sanitário
ASE	Aterro Sanitário de Seropédica
AT	Azul de Toluidina
COA	Carbono Orgânico Assimilável
COT	Carbono Orgânico Total
COX	Compostos Orgânicos Xenobióticos
CTRS	Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
HU	Huminas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
NBR	Norma Brasileira
NF	Nanofiltração
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RPE	Ressonância Paramagnética Eletrônica
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SH	Substâncias Húmicas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UF	Ultrafiltração
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UV	Ultra-Violeta
VR	Varição Relativa

I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O desenvolvimento urbano impulsionado pela Revolução Industrial a partir do século XIX é responsável pela eclosão de uma multiplicidade de novos fatores sociais, econômicos, ambientais e políticos em escala mundial. Especificamente, em termos ambientais, pode-se destacar o aumento expressivo da quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos (RSU), estes que englobam os resíduos urbanos de atividades domiciliares e resíduos da limpeza urbana de logradouros e vias públicas (BRASIL, 2010). Atualmente, tem-se que a quantidade produzida de RSU em todo o mundo ultrapassa 1 bilhão de toneladas anualmente (KAZA et al., 2018) e, mais especificamente, no Brasil está na ordem de 81,8 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2021).

Assim sendo, a quantidade exorbitante de resíduos produzidos traz uma necessidade latente de estudos que promovam a gestão eficiente de tais resíduos. Nesse contexto, o conceito de lixiviado possui grande relevância. De forma geral, pode-se compreender o lixiviado como o líquido resultante da percolação de chuvas e umidade sobre acúmulos de resíduos sólidos em combinação com processos físicos, químicos e bioquímicos (FLECK, 2003). Segundo a NBR 8849/1985, trata-se de um líquido denso, escuro, altamente complexo e majoritariamente composto por matéria orgânica.

Dentre os componentes do lixiviado, pode-se mencionar as substâncias húmicas (SH), estas caracterizadas como substâncias orgânicas complexas, de cadeias longas e caráter ácido (KELLEHER & SIMPSON, 2006) formadas a partir da decomposição de componentes do lixiviado (IHSS, 2007). Essas substâncias trazem grande complexidade a esse líquido em especial por apresentarem característica recalcitrante (MEINELT et al., 2001). As SH subdividem-se em três grupos com diferentes características: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HU) (IHSS, 2007).

O entendimento acerca da composição do lixiviado e, especialmente, a composição e teor de substâncias húmicas ali presentes, caracterizam-se como informações de grande relevância a serem analisadas. Isso se dá uma vez que altos teores de substâncias húmicas no lixiviado, que venha a ser indevidamente descartado, podem causar danos ambientais caso atinjam lençóis freáticos ou rios próximos (NIE et al., 2015).

Dessa forma, pode-se compreender a importância associada à quantificação das SH no lixiviado. Esse processo é atualmente realizado por metodologias envolvendo cromatografia de coluna ou espectrofotometrias com diversas etapas que, além de não serem triviais, podem ser

bastante onerosas. Isto posto, a estimativa por equações simples torna-se uma forma menos complexa de se obter os resultados de concentração de SH desejados. Assim, utilizando um método que se baseie na quantificação de outros parâmetros mais facilmente obtidos e, por meio de equações matemáticas de base empírica pode-se estimar o valor da concentração das SH em uma amostra, de forma que estudos que não demandem grande precisão sejam facilitados.

I.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por objetivo geral propor uma equação matemática que forneça uma estimativa de concentração para as substâncias húmicas provenientes de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos a partir de parâmetros físico-químicos de fácil realização.

I.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para tal, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Compilar dados de estudos brasileiros sobre aterros de resíduos sólidos, lixiviado, substâncias húmicas e parâmetros físico-químicos referentes à proposta deste estudo;
- Propor uma equação matemática que estime o teor de substâncias húmicas presentes em lixiviados obtidos em aterros de resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro como um método de baixa complexidade e baixo custo, mas que forneça resultados com uma variação relativa máxima de 20% quando comparados aos métodos tradicionais diretos, apresentando a maior abrangência de aplicabilidade possível;
- Verificar a validade e viabilidade da equação desenvolvida através da sua aplicação em diferentes amostras de lixiviados obtidos em aterros de resíduos sólidos do estado do Rio de Janeiro.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os principais aspectos referentes às substâncias húmicas (SH) de forma a possibilitar um melhor entendimento das discussões que serão desenvolvidas ao decorrer deste trabalho. Desta forma, serão aqui definidos os conceitos de aterros de resíduos, lixiviado, substâncias húmicas e suas subdivisões, assim como serão apresentadas as metodologias tradicionais de quantificação de SH e suas vantagens e desvantagens, esta última caracterizando-se como a principal motivação para o presente estudo. Além disso, será desenvolvida uma breve revisão de estudos científicos previamente publicados acerca da temática das SH, tendo o foco no estado do Rio de Janeiro.

II.1. Aterros de resíduos

Durante os milênios de relações sociais entre humanos, o descarte dos resíduos gerados pelos agrupamentos, tribos, clãs, pequenas cidades e as atuais megalópoles do século XXI sempre gerou problemas logísticos, sanitários e ambientais em menor ou maior grau (WORRELL & VESILIND, 2011). Tais dificuldades foram estudadas de forma mais sistematizada a partir do século XIX, desde a Revolução Industrial, juntamente com novas metodologias voltadas ao tratamento de esgoto (DEUS et al., 2015). Assim, o desenvolvimento da sociedade permitiu que fossem elaboradas, aperfeiçoadas e utilizadas incontáveis metodologias para o manejo, descarte ou reaproveitamento dos materiais descartados pelas sociedades. Tal iniciativa teve grande destaque a partir da década de 1970 com a chamada “Revolução da Redução de Resíduos” (WORRELL & VESILIND, 2011). Nesse período foram iniciados grandes centros de discussão, encontros e conferências com entidades internacionais com o objetivo de se discutir a relação humana com o meio ambiente, como por exemplo Estocolmo em 1972, ECO92 no Rio de Janeiro e Tibilisi em 1997 (VELLOSO, 2008; WILSON, 2007) e com isso, grandes mudanças em regulamentações ambientais no Brasil e em todo o mundo foram implementadas para controlar a gestão de resíduos pelos governos entre outros aspectos (WORRELL & VESILIND, 2011).

O Brasil produz diariamente mais de 224 mil toneladas de resíduos sólidos provenientes de utilização doméstica, comercial e industrial (ABRELPE, 2021). Nos grandes centros urbanos há um gargalo nos setores de descarte de tais rejeitos devido à diversos fatores, tais como a limitação de espaços físicos adequados ao descarte, a falta de prioridade na destinação de verbas

para implementar políticas com tal objetivo, a falta de tecnologias, materiais e mão-de-obra necessários ao descarte apropriado, dentre outros fatores (NASCIMENTO et al., 2015).

De forma geral, pode-se classificar os locais de disposição final de resíduos sólidos em 3 categorias: lixão (também denominado vazadouro a céu aberto), aterro controlado e aterro sanitário. Além destes, pode-se mencionar a incineração como uma possibilidade de descarte final destes resíduos, porém este encontra-se fora do escopo deste trabalho.

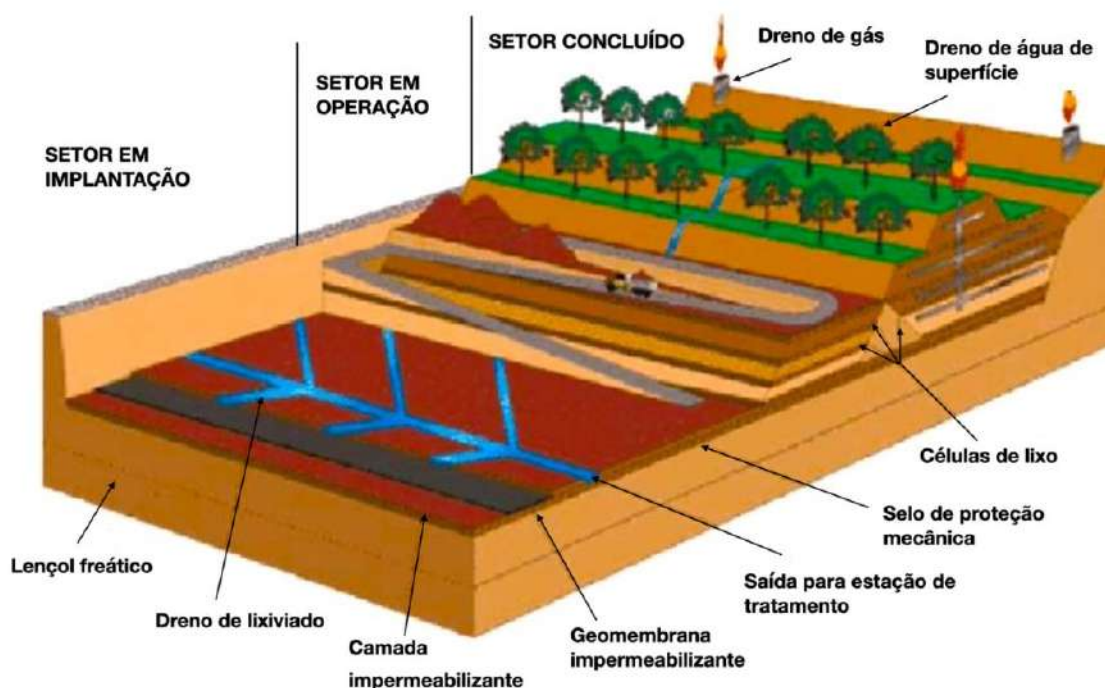
O lixão é a forma mais inadequada de disposição final de resíduos, pois não apresenta critérios de engenharia ou controle ambiental (SILVA, 2014), levando a diversos transtornos ecológicos, sanitários e sociais ao se tornar foco de vetores de doenças, animais perigosos, liberar gases e odores nocivos aos seres humanos e poluição do solo e corpos hídricos em toda a região onde se encontra (VERGARA & TCHOBANOGLIOUS, 2012).

Por outro lado, ao se delimitar e isolar as áreas de deposição de um lixão, em seguida implementar sistemas de drenagem de lixiviado e contenção de gases, assim como estruturar um processo de compactação e recobrimento de novas células de resíduos lançados, tem-se o chamado aterro controlado (CERBATO & ARGOLO, 2012). Apesar de conter muitos dos problemas relacionados à deposição em lixões, os aterros controlados também são considerados inadequados para o descarte final de resíduos sólidos por não tratarem os gases liberados e não possuírem impermeabilização do solo sob a área de acúmulo segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2022).

Por fim, de acordo com a NBR 8419/1992, a construção de um aterro sanitário se trata de uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que não causa danos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais. Trata-se de um método que se utiliza de princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra após a conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, caso necessário. Assim sendo, há um maior controle das emissões de substâncias poluentes (gases tóxicos oriundos da decomposição da matéria orgânica, tais como o gás carbônico e o metano, por exemplo) quando comparado aos aterros controlados e lixões, culminando em um menor impacto ambiental e sanitário. Sendo assim, de acordo com PNRS (2022), o aterro sanitário é o método mais indicado para deposição de RSU no Brasil.

A Figura 1 ilustra um esquema de construção de aterro sanitário com impermeabilização de base.

Figura 1: Aterro sanitário de RSU.



Fonte: Adaptado de IPT (2000).

Atualmente são utilizados com maior frequência no Brasil as metodologias de descarte de vazadouros a céu aberto ou lixões (54,9%), aterros controlados (21,9%) e aterros sanitários (23,2%) para a disposição final de resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2020).

Neste trabalho serão utilizados, em especial, dados do Aterro Controlado de Gericinó (AGE) que teve as operações encerradas em 2014 após 34 anos de operação, Aterro de Controlado de Gramacho (AGR) ativo por 35 anos até o término das operações em 2012 e Aterro Sanitário de Seropédica (ASE) com início das operações em 2011 e ainda em atividade, sendo este último representado na Figura 2.

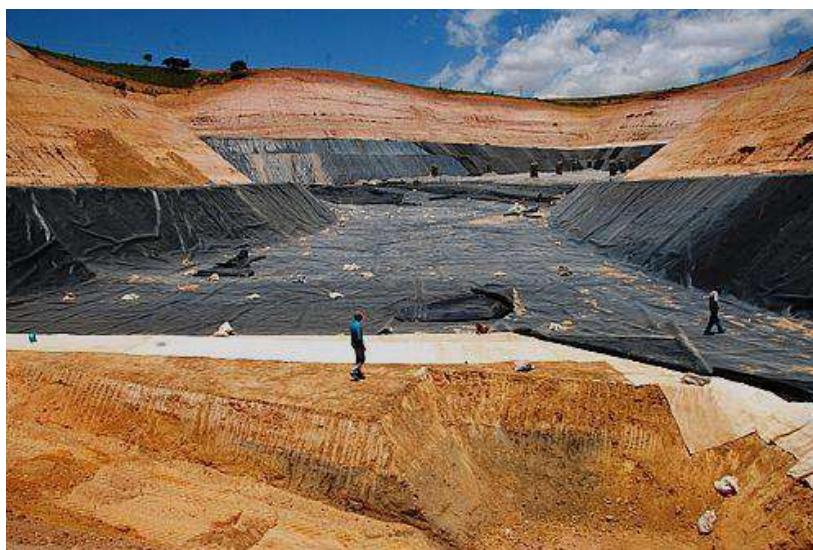
Figura 2: Aterro sanitário de Seropédica.



Fonte: O Globo (2013)

Um dos pontos importantes para a implementação e manutenção de um aterro sanitário é a necessidade de se desenvolver a captação, escoamento e posterior tratamento dos lixiviados produzidos, daí a importância da impermeabilização da base do solo. A Figura 3 ilustra a aplicação dessa camada impermeabilizante no aterro sanitário de Maceió, Alagoas. Com a implementação a partir da década de 1970 no Brasil, tal metodologia apresenta grande vantagem no impacto ambiental causado pelo aterro em comparação aos aterros mais simples não impermeabilizados.

Figura 3: Aplicação de camada impermeabilizante durante a construção do aterro sanitário de Maceió - AL.



Fonte: PensamentoVerde (2013).

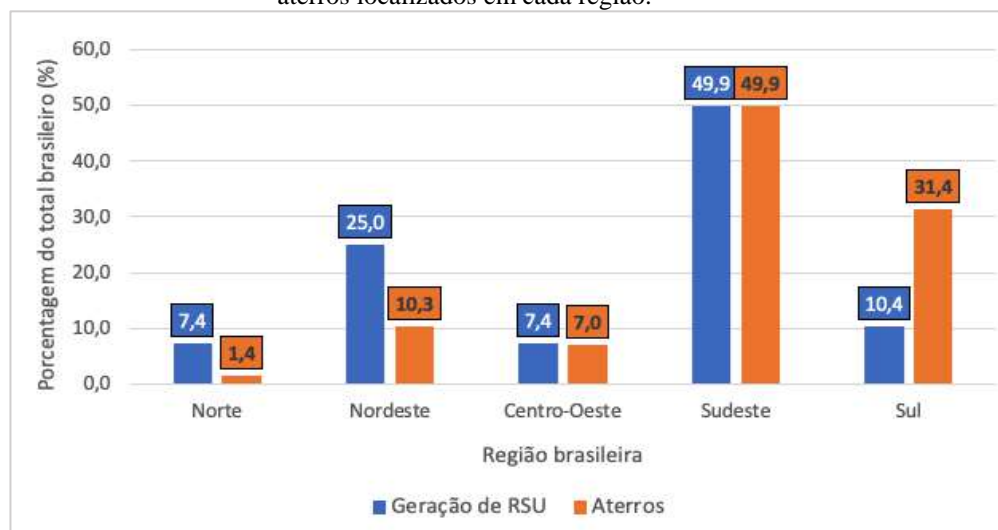
Como pode-se notar, o lixiviado que seria percolado até camadas mais profundas do solo, podendo atingir os corpos hídricos, é acumulado e escoado para posterior tratamento e destinação final. No entanto, tal procedimento não é realizado em inúmeros aterros brasileiros.

II.1.1. Aterros sanitários no Brasil

Segundo a série histórica de 1982 a 2020 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), órgão governamental associado ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), existiam 653 aterros sanitários no Brasil em atividade até o ano de 2020, período do último levantamento. Estes aterros estão distribuídos de maneira desigual pelo território brasileiro. Apenas o estado de São Paulo possui 227 unidades, o que corresponde a 34,8% do total de aterros sanitários do país, ao passo que estados como Rondônia e Sergipe não possuem nenhuma unidade oficialmente cadastrada pelo MDR (SNIS, 2020). Juntas, as regiões Norte e Nordeste possuem apenas 11,6% dos aterros brasileiros e registram aproximadamente 35,9% da população (IBGE, 2019) e 32,3% da geração de resíduos sólidos do país (ABRELPE, 2019).

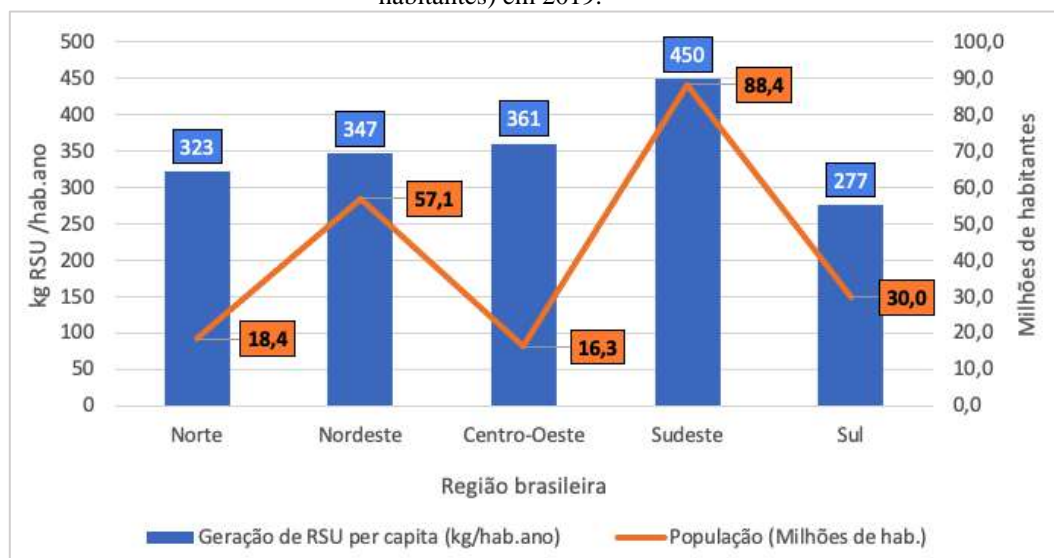
A Figura 4 apresenta uma comparação entre a geração de RSU de cada região brasileira em 2019 e a distribuição dos aterros sanitários pelas regiões do Brasil em valores percentuais. A Figura 5, por sua vez, traz uma comparação entre a geração de RSU per capita de cada região em função das respectivas populações.

Figura 4: Percentual brasileiro da geração de RSU por região contra percentual brasileiro de quantidade de aterros localizados em cada região.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2019) e SNIS (2020).

Figura 5: Geração de RSU per capita (kg/habitante.ano) versus população de cada região brasileira (milhões de habitantes) em 2019.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2019) e IBGE (2019).

Da Figura 4, pode-se notar a diferença na distribuição de aterros sanitários no Brasil e a geração de RSU em cada região. Do total de 78,9 milhões de toneladas de RSU gerados no Brasil em 2019, apenas 8,2 milhões de toneladas, aproximadamente 10,4% do total, foram produzidas na região Sul (ABRELPE, 2019), no entanto tal região abriga 31,4% dos aterros do país. A região nordeste, por sua vez, que gera 25,0% do RSU nacionais, possui apenas 67 dos 653 aterros sanitários brasileiros, cerca de 10,3% do total (SNIS, 2020).

É interessante notar, ainda, que 56% dos aterros cadastrados no Brasil não possuem unidades de tratamento do lixiviado proveniente de suas atividades, ao passo que 21,1% não possuem nem mesmo impermeabilização da base de solo na área aterrada (SNIS, 2020), fator este já apresentado como essencial para o controle do impacto ambiental.

O Estado do Rio de Janeiro, apesar de caracterizar-se como o segundo estado brasileiro com maior Produto Interno Bruto (PIB) da federação (IBGE, 2020), possui em sua área apenas 15 aterros sanitários cadastrados no sistema SNIS em 2020, ocupando uma das piores posições brasileiras no que tange a relação entre aterros sanitários e habitantes. Segundo o SNIS (2020), o Rio de Janeiro possui 0,91 aterro para cada 1 milhão de habitantes, valor muito abaixo dos estados como o Paraná (12,07 aterros/milhão de habitantes) e Mato Grosso do Sul (5,34 aterros/milhão de habitantes). Ainda, o Rio de Janeiro encontra-se em uma posição abaixo de estados com população similar, tal como Bahia (0,93 aterros/milhão de habitantes) e Minas Gerais (3,74 aterros/milhão de habitantes) (SNIS, 2020).

II.1.2. Fases de degradação de resíduos nos aterros

Aterros de resíduos apresentam em suas estruturas uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos variados ao longo da útil do mesmo. Tais processos são definidos pelo conceito “dinâmica de aterro” (SOARES, 2006), sendo os processos biológicos, decorrentes do metabolismo microbiano, dominantes nestes sistemas.

Outros conceitos de grande importância para o entendimento dos fatores e parâmetros envolvidos na estrutura e dinâmica dos aterros de resíduos são o tempo de uso, formação e compactação do aterro. Para a melhor compreensão destes conceitos, Farquhar e Rovers, em 1973, definiram as quatro fases do aterro: I – Aeróbia, II - Anaeróbia Não Metanogênica, III – Anaeróbia Metanogênica Transiente e IV – Anaeróbia Metanogênica Permanente. Tal subdivisão traz consigo informações que ajudam a entender como se dá a dinâmica de aterro a partir do conhecimento da “idade” deste e, assim, obter aproximações da composição do aterro e os produtos de sua dinâmica. De uma maneira simplificada, os aterros serão classificados por suas idades neste trabalho de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos aterros de resíduos por idade

Classificação	Idade (anos em operação)	Quantidade e proporção dos aterros brasileiros (2020)
Novo / Jovem	Menos de 5 anos	152 (23,3%)
Intermediário	Entre 5 e 10 anos	237 (36,3%)
Velho / Maduro	Mais de 10 anos	264 (40,4%)

Fonte: Adaptado de Costa (2010) e SNIS (2020).

Tem-se com os dados do SNIS (2020) que mais de 40% dos aterros brasileiros se encontram em estágio maduro, com mais de 10 anos de operação.

II.2. Lixiviados de aterros de resíduos

Lixiviado, líquido percolado ou chorume são definições ligeiramente diferentes, mas constantemente se referem ao mesmo conceito, de forma geral o líquido proveniente de fenômenos físicos, químicos e biológicos (FLECK, 2003) que escoam a partir do acúmulo de resíduos sólidos ou lixo em sua deposição final (FADINI & FADINI, 2001). Por definição brasileira presente na NBR 8849/1985, trata-se de um líquido de cor escura, mau cheiro e elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Como existem definições diferentes, porém

muito similares, definiu-se que neste trabalho o termo *lixiviado* será empregado como sinônimo de produto líquido acumulado ao fundo de aterros de resíduos proveniente da decomposição de RSU.

II.2.1. Geração de *lixiviado* no Rio de Janeiro

A quantificação precisa da geração de *lixiviado* em um estado, município ou mesmo em um único aterro de resíduos é complexa. O fato da formação de *lixiviados* depender tanto da dinâmica do aterro, que varia com o tempo de operação de cada aterro e a composição e compactação dos resíduos sólidos (LINS, 2010), quanto, principalmente, pela quantidade de chuva precipitada na região do aterro para cada período de medições (SILVA, 2009) traz grande dificuldade para modelos precisos para grandes áreas e volumes.

No entanto é possível realizar estimativas e previsões de volumes gerados de *lixiviados* através de modelos empíricos como os métodos suíço e racional, que levam em consideração principalmente a área do aterro, a média mensal de precipitação na região e nível de compactação do solo nessa área. Pelo método suíço, pode-se estimar a geração de *lixiviado* apenas do aterro sanitário de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro, na ordem de 3000 m³/dia (LOPES et al., 2018; GUARIEIRO et al., 2017).

Com esse grande volume produzido diariamente, a gestão e quantificação deste líquido e seus componentes, torna-se de grande importância para a gestão ambiental como um todo no estado e no Brasil.

II.2.2. Composição de *lixiviados*

Lixiviados de aterros de resíduos são complexos em sua composição e diretamente dependentes tanto do tipo de RSU em cada seção de onde este *lixiviado* foi produzido e acumulado, quanto da idade do aterro, fatores estes que alteram sua dinâmica (SOARES, 2006). De modo geral, como já descrito, o *lixiviado* é caracterizado pelo líquido que percola e carrega substâncias através dos resíduos sólidos acumulados em aterros de resíduos, mas também pelos líquidos provenientes do metabolismo de toda a biota microbiana ali presente (FLECK, 2003; FADINI & FADINI, 2001).

Compostos orgânicos também estão presentes tanto em estruturas simples quanto mais complexas, todas com grande variedade, de forma que é válido agrupar os componentes do lixiviado para melhor compreendê-los e estudá-los.

Castilhos et al. (2006) organizaram cinco grupos para dividir os componentes presentes no lixiviado:

- Matéria Orgânica Dissolvida (MOD): referente a macromoléculas como ácidos húmicos e fúlvicos, lignina e ácidos graxos com massas molares variadas de acordo com a fase do aterro. Em análises, este grupo é expresso, em geral, pela DQO, DBO ou COT;

- Compostos Orgânicos Xenobióticos (COX): referente aos hidrocarbonetos aromáticos, compostos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos assim como outras substâncias com alto grau de toxicidade, porém em concentrações muito baixas, comparadas a outros componentes do lixiviado;

- Macrocomponentes Inorgânicos: abrange as principais espécies inorgânicas encontradas em grandes quantidades devido às altas solubilidades destes em água. Neste grupo encontram-se espécies como sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), ferro (Fe^{2+}), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e amônio (NH_4^+). Estes compostos apresentam grande variação em suas concentrações de acordo com a composição do RSU do aterro e em especial o tempo de decomposição desses resíduos de acordo com a idade do aterro;

- Elementos Traços: compostos pouco solúveis e encontrados em baixas concentrações no lixiviado com tendência de diminuição com o decorrer do tempo de utilização do aterro devido a precipitações e formação de complexos. Tem-se neste grupo cádmio (Cd^{2+}), cromo (Cr^{3+}), cobre (Cu^{2+}), chumbo (Pb^{2+}), níquel (Ni^{2+}) e zinco (Zn^{2+});

- Componentes de grande toxicidade também são encontrados na composição do lixiviado, porém em concentrações residuais. Entre estes estão boro (B), arsênio (As), bário (Ba), selênio (Se), mercúrio (Hg) e cobalto (Co).

Com estas divisões qualitativas, fica mais explícita a complexidade do lixiviado e é possível buscar melhores entendimentos dentro de cada grupo. No entanto também é de grande importância uma análise quantitativa da composição deste líquido, sendo esta, uma das maiores motivações deste trabalho.

Para isso, tem-se a composição média dos aterros brasileiros, que foi apresentada por Souto e Povinelli (2007) e discutida no Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 5 (PROSAB, 2009) na Tabela 2:

Tabela 2: Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	Fração da faixa mais provável (%)
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	750 - 11.400	750 - 7.100	69
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	95 - 3.100	95 - 2.100	81
Condutividade (µS/cm)	2950 - 2.500	2950 - 17.660	77
DBO (mg O ₂ /L)	< 20 - 30.000	< 20 - 8.600	75
DQO (mg O ₂ /L)	190 - 80.000	190 - 22.300	83
Óleos e graxas (mg/L)	10 - 480	10 - 170	63
Fenóis (mg C ₆ H ₅ OH /L)	0,9 - 9,9	0,9 - 4,0	58
NTK (mg N/L)	80 - 3.100	Não há	-
N-amoniaco (mg N-NH ₃ /L)	0,4 - 3.000	0,4 - 1.800	72
N-orgânico (mg N/L)	5 - 1.200	400 - 1.200	80
N-nitrito (mg N/L)	0 - 50	0 - 15	69
N-nitrato (mg N/L)	0 - 11	0 - 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 - 40	0,1 - 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 - 35	0 - 10	78
Sulfato (mg/L)	0 - 5.400	0 - 1.800	77
Cloreto (mg/L)	500 - 5.200	500 - 3.000	72
Sólidos totais (mg/L)	3 200 - 21.900	3 200 - 14.400	79
Sólidos totais fixos (mg/L)	630 - 20.000	630 - 5.000	60
Sólidos totais voláteis (mg/L)	2 100 - 14 500	2 100 - 8.300	74
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 - 2.800	5 - 700	68
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 - 530	5 - 200	62
Ferro (mg/L)	0,01 - 260	0,01 - 65	67
Manganês (mg/L)	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79
Cobre (mg/L)	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61
Níquel (mg/L)	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71
Cromo (mg/L)	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89
Cádmio (mg/L)	0 - 0,26	0 - 0,065	67
Chumbo (mg/L)	0,01 - 2,8	0,01 - 0,5	64
Zinco (mg/L)	0,01 - 8,0	0,01 - 1,5	70

Fonte: Souto e Povinelli (2007) – PROSAB 5 (2009) modificado

É importante salientar que estes valores correspondem a um compilado de lixiviados de diferentes aterros, cada um com composição de RSU, idade, fase e dinâmica própria, o que fornece concentrações muito diferentes destas variáveis e compostos (ZHANG et al., 2013).

Utilizando os grupos apresentados por Castilhos et al. (2006), tem-se que, de modo geral, lixiviados de aterros jovens (menos de 5 anos de operação) possuem maior DQO e DBO₅ (acima de 10000 e 3000 mg/L de O₂, respectivamente), pH levemente mais ácido (6,5 em média) com composição predominante de ácidos graxos voláteis (80% de todos os compostos orgânicos) e maior biodegradabilidade, mostrando a relevância da MOD para um lixiviado dos anos iniciais de um aterro. Já em aterro mais maduros (acima de 10 anos de operação), o lixiviado possui menor biodegradabilidade, apresentando DQO e DBO₅ muito mais reduzidas (abaixo de 4000 e 1000 mg/L de O₂, respectivamente) em comparação com aterros jovens, pH

levemente mais básico (7,5 em média) e concentração maior de ácidos húmicos e fúlvicos (RENOU, 2008). Por essas diferenças, é sempre importante ter em mente a idade e fase dos aterros ao se analisar a composição e impactos de lixiviados.

Outro ponto importante para se iniciar o entendimento com os dados quantitativos da Tabela 2 são os problemas sanitários e ambientais que estão associados a deposição do lixiviado no solo e em corpos hídricos subterrâneos, como será esclarecido a seguir.

II.2.3. Problemas sanitários e ambientais relacionados aos lixiviados de aterros de resíduos

O lixiviado, como demonstrado no capítulo anterior, apresenta grande concentração de compostos solúveis, em especial a MOD, que, se não forem devidamente coletados e tratados em um aterro sanitário, são facilmente infiltrados no solo. A dispersão pelo solo já pode causar grandes problemas como o contato com causadores de enfermidades como moscas, baratas e ratos, disseminando contaminantes e microrganismos presentes no RSU (SERAFIM et al., 2003).

No entanto, a maior preocupação com a gestão e manejo do lixiviado é a contaminação de corpos hídricos como lençóis freáticos e aquíferos no subsolo do aterro ou na região próxima. Por ter em sua composição ácidos, compostos orgânicos e inorgânicos solubilizados e mesmo que em pequenas quantidades, metais pesados e elementos de alta toxicidade, o lixiviado de aterros de resíduos sólidos apresenta grande potencial de contaminação em especial devido à matéria orgânica representada pela alta DQO do sistema, que pode levar à eutrofização desses corpos hídricos, desequilibrando processos como a fotossíntese e crescimento de algas, e disponibilidade de oxigênio levando organismos aquáticos à mortandade (NIE et al., 2015).

Em 2018, em um estudo de ecotoxicologia com o lixiviado do aterro sanitário de Barra Mansa no Rio de Janeiro, Franco et al. (2018) encontraram que o CL₅₀ (Concentração Letal de 50% dos organismos testados) para esta amostra era de 2,35%, ou seja, após 48 horas em uma solução de apenas 2,35% (v/v) deste lixiviado cru, 50% dos peixes utilizados no teste (*Brachydanio rerio*) foram mortos, atingindo 95% de letalidade com 2,5% (v/v) de lixiviado. Para este teste, já é considerado um poluente de alta toxicidade, uma amostra com CL₅₀ de 4,47% (DAFLON et al., 2012) e quanto menor a concentração para atingir 50% de letalidade neste estudo, maior a toxicidade da amostra estudada.

Este resultado foi corroborado por Silva et al. (2003) com outros organismos para o lixiviado do aterro de Gramacho/RJ, encontrando CL₅₀ de 2,24%, mostrando a capacidade de

grande impacto para o ambiente do lixiviado não tratado e indevidamente lançado no solo e a corpos hídricos.

II.3. Substâncias húmicas

De acordo com a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), o processo de humificação, que consiste em reações químicas e bioquímicas durante o decaimento e transformação de restos de plantas e micróbios, gera uma mistura complexa e heterogênea de materiais dispersos e não biodegradáveis chamados de substâncias húmicas (SH). Com características majoritariamente ácidas e cadeias carbônicas longas e complexas se assemelhando em muitos aspectos a cadeias proteicas (KELLEHER & SIMPSON, 2006), podendo ultrapassar os 100.000 Da de massa molar (MCBRIDE, 1994), as SH tem como principal característica sua recalcitrância (não biodegradabilidade) e a formação de complexos com diferentes compostos químicos (MEINELT et al., 2001).

Essas SH podem ser relacionadas em três frações, os ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HU), cujas massas molares estão apresentadas na Tabela 3, mas, de maneira geral, são caracterizadas por sua solubilidade em meios ácidos ou básicos. No entanto, um modelo de estrutura destas frações não é devidamente definido pois além de não se tratar de uma espécie única e sim de uma grande gama de estruturas que compartilham características químicas (IHSS, 2007), as técnicas de existentes para caracterização dessas substâncias, como espectroscopia em ultravioleta (UV), ressonância magnética nuclear (RMN) e ressonância paramagnética eletrônica (RPE), são complexas e demandam equipamentos de alto custo, o que dificulta estudos aprofundados dessas frações (PRIMO et al., 2011).

Tabela 3: Faixas de massas molares das frações de substâncias húmicas.

Parâmetros	Ácidos Fúlvicos	Ácidos Húmicos	Huminas
Massa Molar (Da)	640 – 5.000	10.000 - 100.000	> 100.000

Fonte: Adaptado de McBride (1994)

Mesmo com a dificuldade na definição dessas substâncias, o fato de as SH representarem a maior porção de carbono orgânico recalcitrante (não biodegradável) no ambiente terrestre (KELLEHER & SIMPSON, 2006), traz atenção tanto de estudos de sistemas aquosos quanto terrestres pois de um lado são responsáveis pela coloração marrom-escura e má

aparência do lixiviado, por outro são componentes importantes para a fertilidade do solo (IHSS, 2007).

Por estes motivos, o estudo e quantificação das substâncias húmicas de lixiviados de aterros de resíduos tem grande importância e é o foco do presente trabalho.

Nesse estudo será utilizado, para as análises, o termo Substâncias Húmicas (SH) para se referir ao conjunto das 3 frações explicadas a seguir.

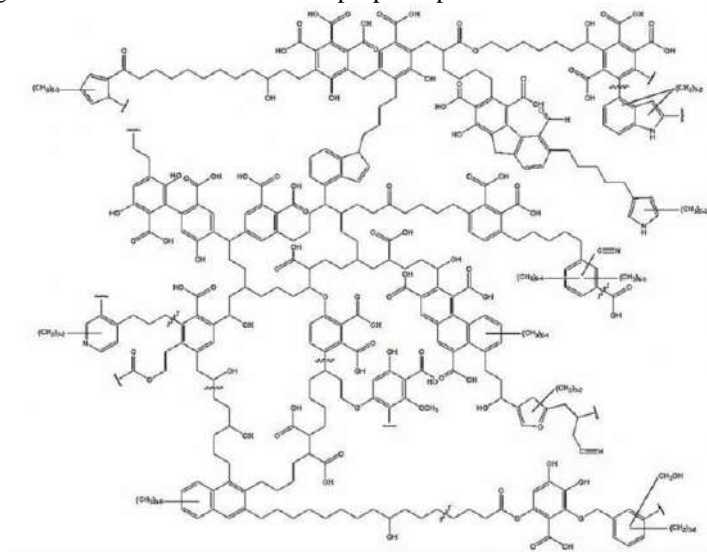
II.3.1. Ácidos húmicos - AH

Como já mencionado, o fracionamento das substâncias húmicas se dá pela diferença na solubilidade destas frações em diferentes zonas de pH. Desta separação, uma análise qualitativa é viabilizada, podendo-se caracterizar massas molares e grupamentos funcionais de cada fração de uma forma geral (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

Após primeira filtração, ao se tratar o lixiviado com HCl concentrado até pH 1,0, uma fração do solubilizado é precipitada, os chamados ácidos húmicos. Desta fração, tem-se um conjunto complexo de moléculas com diferentes composições individuais, mas características e médias de grupamentos comuns, apresentando a composição média $C_{187}H_{186}O_{89}N_9S$ (SCHNITZER & KHAN, 1972).

A Figura 6 apresenta a estrutura hipotética formulada por Schulten e Schnitzer (1997) para uma molécula média dos ácidos húmicos.

Figura 6: Estrutura bidimensional proposta para ácidos húmicos.



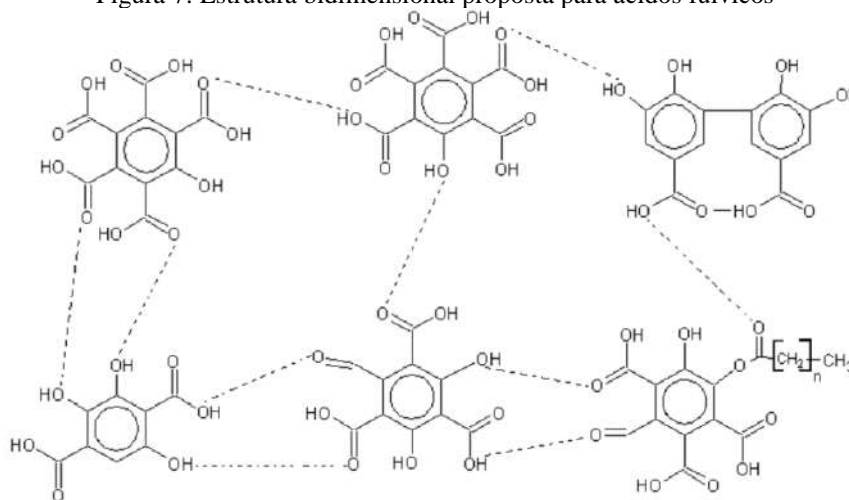
Fonte: Schulten e Schnitzer (1997)

Segundo Baldotto e Baldotto (2014), a relação molar entre carbono e nitrogênio nos ácidos húmicos chega a ser 50% maior que a média da matéria orgânica comum de solo. Este é um dos fatores que torna essa fração resistente à mineralização microbiana e traz a característica recalcitrante às substâncias húmicas como um todo.

II.3.2. Ácidos Fúlvicos - AF

Após a precipitação dos ácidos húmicos presentes no lixiviado sob pH 1,0, a fração ainda solubilizada caracteriza os ácidos fúlvicos. Essa parcela se dá por moléculas de menor massa molecular e maiores caracteres polar e ácido em comparação aos AH e huminas por apresentar maior proporção de grupos funcionais ácidos (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014). Apresentam, também, maior concentração de grupos fenila em comparação às outras frações húmicas (WENG et al., 2006), como pode ser visto na estrutura proposta por Schultzen e Schnitzer (1997 na Figura 7.

Figura 7: Estrutura bidimensional proposta para ácidos fúlvicos



Fonte: Schultzen e Schnitzer (1997)

A composição média dos AF é dada por $C_{135}H_{182}O_{95}N_5S_2$ segundo Schnitzer e Khan (1972), o que descreve uma concentração ainda menor de nitrogênio, indicando a baixa suscetibilidade à mineralização e biodegradação destes compostos por ação microbiana (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

II.3.3. Huminas – HU

Diferentemente das outras frações das substâncias húmicas de lixiviados, as huminas são insolúveis em todas as faixas de pH, sendo a parcela mais fortemente ligada à seção mineral do solo em processos de extração (KJELDSEN et al., 2002) ou seja, a fração mais recalcitrante destas, podendo ser considerada não-reativa (SANTOS, 1999), apesar de ser grande responsável pela agregação de partículas no solo e em lixiviados (RICE & MACCARTHY, 1990). As HU apresentam as maiores massas molares médias quando comparadas às outras frações, atingindo valores acima de 100 kDa enquanto os ácidos fúlvicos podem atingir no máximo 5 kDa (MCBRIDE, 1994).

Essas características das HU impossibilitam sua extração por métodos convencionais por ácidos ou bases fortes (IHSS, 2007), sendo necessário procedimentos mais complexos como sua transesterificação com metanol trifluorato de boro (SCHIAVO et al., 2007), dificultando ainda mais análises mais detalhadas.

II.4. Métodos de quantificação de SH

Da mesma forma que a caracterização das SH é complexa, também é a quantificação destas exatamente por este motivo, uma vez que pode-se dizer que não existem duas moléculas húmicas idênticas devido aos seus processos de formação polimérica (DOMMERGUES & MANGENOT, 1970). Existem, de fato, algumas metodologias que podem ser utilizadas para quantificar essas substâncias com certa precisão, levando em consideração as 3 frações principais das SH. Podem ser citados como principais exemplos a ressonância magnética nuclear - RMN (PEURAVUORI et al., 2003), espectroscopia de fluorescência (ANTUNES et al., 2005) e cromatografia de exclusão de tamanho de alto desempenho (CHIN & GSCHWEND, 1991).

Para as metodologias citadas acima são necessários equipamentos de alto valor e grande complexidade como espectrômetros de luminescência 3D e ressonância magnética nuclear que possuem valores de compra podendo chegar aos milhões de reais (ANASAZI, 2022). Além da pouca disponibilidade de equipamentos para a maior parte dos centros de estudo, a complexidade e tempo operacional da maior parte das metodologias tradicionais são muito elevados podendo ser necessárias mais de 44 horas apenas de repouso de reagentes para a preparação de amostras na metodologia exposta por Benites et al. (2003).

Desta forma, novas metodologias de quantificação são constantemente desenvolvidas com o intuito de expandir o estudo das substâncias húmicas, seja tornando o processo mais acessível processual ou economicamente (BENITES et al., 2003). De ambas as formas, de modo geral, tem-se alguma perda em abrangência, sensibilidade ou precisão nos resultados, de forma que estas devem ser levadas em consideração ao se escolher a metodologia que será utilizada em um estudo.

Uma maneira de simplificar o processo de quantificação de SH é a leitura de parâmetros substitutivos, como cor verdadeira ou absorvância em 254 nm em condições específicas de tratamento (TANGERINO, 2005) por exemplo. Seguindo esta linha, duas metodologias com maior acessibilidade disponíveis atualmente são as descritas por Lowry et al. (1951) e por Sheng et al. (2007) ambas com modificações e esta última, adaptada por Lima et al. (2017).

II.4.1. Método de Lowry modificado

O método de Lowry et al. (1951) e modificado por Frolund et al. (1995) para a quantificação de SH, inicialmente foi proposto para proteínas, mas descobriu-se que, assim como essas, as SH reagem com o reagente de Folin Ciocalteau, uma mistura de molibdato, tungstato e ácido fosfórico, reduzindo-o em meio alcalino na presença de catalisador Cu^{2+} . Com essa reação é formado um composto azul claro com absorvância máxima em 750 nm, medida em colorímetro e comparada a uma curva padrão (FROLUND et al., 1995).

Foi notado por Frolund et al. (1995) que a adição de CuSO_4 reduz a absorvância para a curva padrão de proteínas mas não altera as leituras para amostras padrão de ácido húmico. Desta forma, com as equações descritas por Frolund et al. (1995) para reduzir as interferências entre essas espécies, a diferença entre as leituras com e sem CuSO_4 , pode-se ser interpretada como quantificação para as SH (LIMA, 2017), caracterizando o método de Lowry modificado.

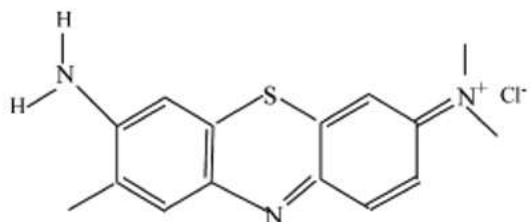
II.4.2. Método de Sheng modificado

Sheng et al. (2007) apresentaram um método para quantificar SH em águas naturais que foi posteriormente modificado por ŠÍR et al. (2012) para melhor se adequar a lixiviados de aterros de resíduos e em seguida adaptado por Lima et al. (2017).

O método é baseado na redução da absorvância da amostra em 603 nm causada pela formação de um complexo entre ácidos húmicos, que apresentam grupos funcionais carregados

negativamente, com o corante Azul de Toluidina (AT), corante de caráter básico (LIMA, 2017) apresentado na Figura 8. Para o procedimento do método, segundo a adaptação de Lima et al. (2017), a amostra de lixiviado deve ser misturada ao AT e soluções de citrato-fosfato de sódio e EDTA e após repouso, lida em espectrofotômetro em 603 nm.

Figura 8: Fórmula estrutural do corante Azul de Toluidina (AT) utilizado no método de Sheng.



Fonte: Sheng et al. (2007)

A quantificação se dá pela comparação da leitura da absorvância da amostra com uma curva padrão para substâncias húmicas preparada com o mesmo procedimento com solução padrão de ácidos húmicos sob diferentes concentrações (COSTA, 2021).

Faz-se necessário indicar que nesse método alguns cátions podem interferir nos resultados da quantificação de SH junto aos outros reagentes. Desta forma o EDTA possui grande importância ao remover, em especial, os cátions Mg^{2+} , Ca^{2+} e Fe^{3+} , presentes na composição média do lixiviado. Garantindo, assim, maior precisão nos resultados (LIMA, 2017).

Segundo Sheng et al. (2007), o fato de a molécula do corante AT apresentar carga positiva em solução aquosa de pH neutro, ao contrário dos ácidos húmicos, promove ligações eletrostáticas fortes rapidamente, o que possibilita resultados com razoável sensibilidade.

II.4.3. Método por resina XAD

O método de quantificação de SH por resina XAD se baseia na leitura de carbono orgânico dissolvido (COD) de uma amostra após a realização de uma cromatografia de coluna com eluente básico. O procedimento, descrito pelo código 5510 C no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017), utiliza resina XAD como fase estacionária da cromatografia e soluções diluídas de HCl e NaOH como eluentes. A quantificação se dá pela leitura de COD da fração eluída com a solução básica, que carrega os ácidos orgânicos presentes na amostra.

O método é válido pois, de fato, a maior parte do COD presente nessa fração é referente às SH, apesar de ácidos graxos, fenóis, surfactantes e materiais proteicos também presentes na amostra atuarem como possíveis interferências na quantificação (APHA, 2017). No entanto, a metodologia é pouco prática pois além de a preparação da resina para o procedimento ser demorada, levando até 4 dias de extração com diferentes solventes, a resina XAD-7 indicada para o procedimento tem alto custo, ultrapassando R\$374,00 por 100 gramas de material (MERCK, 2023), trazendo dificuldades à metodologia de quantificação.

II.4.4. Problemas e dificuldades dos métodos de quantificação de SH

Além das questões já levantadas aqui sobre as metodologias tradicionais de quantificação de SH como equipamentos e processos onerosos, complexos e com grande demanda de tempo, existem algumas dificuldades relacionadas a esses procedimentos que atravancam ainda mais as análises e estudos das SH. Mesmo os procedimentos mais simples e acessíveis como os apresentados por Lowry et al. (1951), Sheng et al. (2007) e o método por resina XAD, ainda necessitam de processos com laboratoriais com várias etapas, muitas delas delicadas e precisas, reagentes específicos e equipamentos para preparação das amostras, brancos e elaboração de curvas padrão além das leituras em si. Todas essas etapas são potenciais fontes de erro e custos para a análise como um todo, que quando somados podem impedir estudos quando realizados em institutos de pesquisa de menor porte e acesso a recursos.

A Tabela 4 traz uma comparação entre os pontos positivos e negativos dos métodos de quantificação de SH apresentados.

Tabela 4: Comparação entre métodos de quantificação de SH (Continua)

Método	Pontos positivos	Pontos negativos
Lowry modificado	- Alta sensibilidade, sendo capaz de ler baixas concentrações.	- Necessidade de realização de leituras com e sem CuSO ₄ para comparação aumentando risco de erros experimentais. - Possibilidade de interferência por outras substâncias orgânicas devido a baixa especificidade do método.
Sheng modificado	- Boa sensibilidade e seletividade.	- Necessidade de várias etapas com tempo de repouso para a realização do método, além de um segundo ensaio para curva padrão com AH. - Possibilidade de interferência por cátions demanda correção e estabilização com EDTA.

Tabela4: Comparação entre métodos de quantificação de SH (Conclusão)

Método	Pontos positivos	Pontos negativos
Resina XAD	- Boa eficiência de leitura devido o método analítico por cromatografia de coluna.	- Elevado tempo, custo e complexidade dos processos envolvidos. - Possibilidade de interferência por ácidos graxos, fenóis, surfactantes e materiais proteicos.

Fonte: Frolund et al. (1995), Lima (2017), Sheng et al. (2007), ŠÍR et al. (2012), Costa (2021) e APHA (2017)

Desta forma, tem-se como um dos grandes motivos para o relativo baixo número de pesquisas envolvendo substâncias húmicas de forma geral, o limitado número de possibilidades para quantificação, dependendo de metodologias diretas e dependentes de processos e equipamentos complexos e pouco acessíveis.

II.5. Outros parâmetros relacionados à matéria orgânica

Outros parâmetros que são relacionados diretamente à matéria orgânica e às SH presentes em uma amostra são a demanda química de oxigênio (DQO), a concentração de carbono orgânico total (COT) e a absorvância em 254 nm. Todas possuem metodologias de quantificação muito mais simples que as disponíveis para as SH, o que as torna de grande relevância para o presente estudo.

II.5.1. Demanda Química de Oxigênio – DQO

A demanda química de oxigênio, segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA,2017), é definida como a quantidade de um determinado oxidante necessária para reagir com a amostra sendo analisada sob condições controladas. Um dos padrões mais utilizados, o método colorimétrico de refluxo fechado, utiliza o uma solução ácida de íon dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) sendo reduzido ao íon crômico (Cr^{3+}). A diferença na absorção dessas espécies na região de 600 nm por espectrofotometria pode ser lida e interpretada como suas concentrações e conseqüente atuação da matéria orgânica como redutora e consumidora de oxigênio no meio. Essa concentração é chamada de DQO, sendo lida em mg O_2/L (APHA,2017),

Esta referência indica o oxigênio consumido no processo de oxidação da matéria orgânica presente em uma amostra, podendo, assim, avaliar indiretamente a quantidade dessa matéria. O valor da DQO ajuda a traçar uma análise do impacto ambiental de uma amostra de água, sendo quanto maior a DQO, maior o potencial poluidor desta para o meio (GRANER et al., 1998).

É importante notar que há grande ligação entre a DQO e as substâncias húmicas, como comprovado por Kang et al. (2002) em seus estudos, nos quais foi determinado que as SH correspondiam a valores entre 50 e 60% do conteúdo de DQO de lixiviados estabilizados.

Um ponto a ser observado sobre a metodologia para análise de DQO aqui descrita, e comentada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), se dá pela necessidade de diluição da amostra para valores de DQO acima de 900 mg O₂/L devido o aumento da absorção do Cr³⁺ na faixa de 600 nm. Este fator pode ser uma fonte de erro para leituras de amostras com maior demanda de oxigênio.

II.5.2. Carbono Orgânico Total – COT

Outro fator de importância para ser descrito é o conceito de Carbono Orgânico Total (COT), que de forma mais abrangente que a DQO, ou outros parâmetros como a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), indica a matéria orgânica presente em uma amostra. Ao contrário dessas outras análises, o COT pode medir o carbono em uma solução, independentemente de seu estado de oxidação, não diferenciando compostos orgânicos simples, vegetais ou microbiológicos (APHA, 2017).

Desta forma, o COT traz menos informações específicas, mas é muito eficiente para leituras gerais relativas a compostos orgânicos, podendo ser um parâmetro inicial para potabilidade de água por exemplo. Segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), o COT pode ser também utilizado para estimar valores de DQO ou DBO com menor precisão quando comparado aos métodos diretos. O que demonstra a correlação entre os parâmetros relacionados à matéria orgânica e, conseqüentemente, às SH.

II.5.3. Absorbância em 254 nm (ABS)

Matéria orgânica, de forma geral, apresenta forte absorção de luz ultravioleta, em especial compostos como lignina, tanino, substâncias húmicas e compostos aromáticos em

geral (APHA, 2017). Sendo assim, segundo o Stand Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), a simples leitura da absorvância em faixas de 200 a 400 nm com espectrofotômetro pode ser utilizada para quantificação desses compostos em amostras líquidas, principalmente de águas naturais.

Ainda segundo APHA (2017), apesar de compostos como as SH apresentarem forte absorção nessa faixa, existem muitos outros compostos inorgânicos como ferro, nitratos, nitritos, e brometo, e agentes oxidantes como ozônio, cloraminas, cloretos e tiosulfatos além de quaisquer partículas em suspensão que também podem absorver a radiação nessa faixa e atuar como interferentes na leitura de compostos orgânicos. Desta forma, para minimizar essa interferência, costuma-se fazer as leituras no comprimento de onda de 253,7 nm, comumente arredondado para 254 nm, além de ser aconselhado a filtração da amostra de preferência com filtros de fibra de vidro sem ligantes orgânicos (APHA, 2017).

Uma vez que esses principais interferentes sejam eliminados, o comprimento de onda ajustado e o pH da amostra neutralizado para a leitura em espectrofotômetro, a análise de absorvância em 254 nm é diretamente relacionada à matéria orgânica presente, podendo muitas vezes ser correlacionada à DQO da amostra. APHA (2017) ressalta apenas que esse método não é indicado para amostras com pH fortemente ácido (abaixo de 4,0) ou básico (acima de 10,0) para não alterar a solubilidade de compostos orgânicos como as SH, ou amostras com concentrações muito baixas pois nesses casos, mesmo com precisão de 253,7 nm no equipamento, outros interferentes podem tomar maior relevância.

III. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada metodologia utilizada para a formulação da equação proposta para estimativa de concentração de substâncias húmicas em amostras de lixiviados de aterros de resíduos sólidos. Serão apresentados desde o processo de escolha dos estudos e parâmetros para correlação até as avaliações matemáticas para a definição da equação.

III.1. Escolha dos estudos para utilização neste trabalho

Neste trabalho serão utilizados como estudos de referência para a formulação das equações, os dados das análises realizadas por Costa (2021) e Lima (2017), sendo aqui rapidamente resumidos para contextualização.

O estudo de Costa (2021) teve como principal objetivo avaliar a composição físico-química de lixiviados do aterro sanitário de Seropédica e do aterro controlado de Gericinó no estado do Rio de Janeiro. Para isso, foram utilizados ensaios de ecotoxicidade aguda analisando, assim, tanto os efeitos da presença de nitrogênio amoniacal total (NAT), alcalinidade, substâncias húmicas e cloreto, quanto das metodologias de tratamento (arraste com ar em pH 11 para remover NAT em pH 4 para remover alcalinidade além de filtração por membranas) na letalidade e imobilidade de organismos-teste, no caso, espécies de peixes e microcrustáceos. As amostras de lixiviado foram coletadas entre 2017 e 2020 em diferentes estações e condições climáticas em cada aterro.

O estudo de Lima (2017) teve como objetivo avaliar metodologias de quantificação, fracionamento e remoção de substâncias húmicas de lixiviados dos aterros de Seropédica, Gericinó e Gramacho, todos no estado do Rio de Janeiro. Para isso foram utilizados os métodos de resinas XAD para avaliação das frações das SH nas amostras, de coagulação com cloreto férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) em diversas concentrações e processo Fenton. As amostras utilizadas nos estudos de Lima (2017) foram coletadas entre os anos de 2012 e 2016 também em diferentes estações e condições climáticas.

Para ambos os estudos, os parâmetros de DQO, COT e Absorbância 254 nm foram determinados pelos métodos 5220-D, 5310-B e 5910-B do Standard Methods for the Examination of Water and Waster Water (APHA, 2017) respectivamente, descritos no capítulo II.5 deste trabalho e as concentrações das substâncias húmicas foram determinadas pelo método

Sheng modificado (ŠIR et al., 2012), sendo que Costa (2021) utilizou as adaptações de Lima et al. (2017), explicitado na seção II.4 deste trabalho.

Além das leituras das amostras brutas dos lixiviados de ambos os estudos, neste trabalho também foram utilizadas as leituras pós arraste com ar para remoção de alcalinidade (pós-arraste Alc.) e para remoção de NAT (pós-arraste NAT) no caso dos estudos de Costa (2021) e pós coagulação com $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ no caso de Lima (2017). Optou-se por também utilizar esses valores pois, além de fornecerem mais dados para as correlações, nesses casos, os tratamentos ou alteraram pouco os parâmetros de referência para este trabalho ou alteraram de forma similar tanto esses parâmetros quanto os valores de SH em suas leituras. Desta forma o presente trabalho abrange mais situações para a geração das equações aqui propostas.

Os detalhamentos das amostras, assim como todas as leituras realizadas nos estudos de referência, podem ser encontrados nos Anexos A e B.

III.1.1. Estudos para validação das equações

Para a validação das equações encontradas por esta metodologia, por meio dos estudos de referência citados no tópico anterior, foram utilizadas leituras de amostras brutas de lixiviados de aterros de resíduos sólidos (VAL) dos estudos de Alfaia (2019) (aterro de Gericinó – RJ), de Almeida (2018) (aterro de Seropédica – RJ), Pereira (2013) (aterro de Gramacho – RJ), Leite (2016) (aterros de Altinho – PE e Muribeca - PE), de Almeida et al. (2021) (aterro de Seropédica – RJ) e Moravia (2010) (aterro de Belo Horizonte – MG) assim como os próprios estudos de Costa (2021) e Lima (2017). Os detalhamentos e leituras realizadas nos estudos de validação estão dispostos no Anexo C.

III.2. Escolha dos parâmetros de correlação com SH

Os parâmetros DQO, COT e absorbância 254 nm (ABS) foram escolhidos para as seguintes análises de correlações com SH por apresentarem estreita relação com a matéria orgânica em amostras líquidas e conseqüentemente com as SH. Como já foi apresentado na seção II.5, as metodologias para análise desses parâmetros são relativamente simples, rápidas e relativamente de baixo custo quando comparadas aos métodos clássicos de quantificação de SH, sendo este um dos objetivos definidos para este trabalho.

Estes parâmetros serão analisados nas etapas descritas a seguir para determinar a correlação com SH que resulte na estimativa mais próxima aos valores verificados experimentalmente.

III.3. Etapas para definição e avaliação das equações

Foram estabelecidas 3 etapas para racionalizar os procedimentos matemáticos utilizados para correlacionar os parâmetros escolhidos com as SH dos estudos de Costa (2021) e Lima (2017). Com isso, os resultados obtidos serão validados a fim de atingir o objetivo proposto de obter uma equação com a maior abrangência viável de utilização em termos de concentração de SH apresentando variação relativa média (VRm) abaixo de 20%.

Para as etapas descritas a seguir, será utilizado o Microsoft Excel (365) para realizar as operações matemáticas indicadas.

III.3.1. Etapa 1: Regressão linear dos valores

A primeira etapa nessa metodologia consiste em obter a equação de relação entre os valores de SH e os três parâmetros selecionados (DQO, COT e ABS) dentro de cada recorte de análises. Para isso, será realizada a regressão linear entre as leituras de cada parâmetro e as SH com Microsoft Excel.

Esses valores serão selecionados para a criação de um gráfico de dispersão, que fornece, no eixo y, os valores medidos de SH em função dos valores do parâmetro a ser analisado, no eixo x. Com esse gráfico, também será gerada uma linha de tendência já com a equação da regressão linear entre as duas variáveis e seu coeficiente de determinação (R^2).

O R^2 traz informações sobre o quão bem correlacionados estes valores estão em uma regressão linear. Sendo valores próximos a 1,0 mais capazes de prever resultados com precisão dentro de uma correlação (MARTINS, 2018). Desta forma, o R^2 será uma das formas utilizadas para indicar a validade das equações obtidas.

III.3.2. Etapa 2: Validação dos resultados

Com as equações obtidas na etapa 1, serão utilizados os valores dos estudos escolhidos para validação para calcular a concentração de SH a partir do parâmetro em análise. Desta

forma, a comparação dos valores calculados pelas equações com os valores medidos experimentalmente nos estudos indicará se a equação obtida fornece resultados dentro das variações esperadas por este estudo.

Para isso serão utilizados dois métodos de comparação. O coeficiente de determinação (R^2) e a variação relativa (VR), que calcula individualmente cada par de valores (calculado e medido) segundo a Equação 1.

$$VR (\%) = \frac{|SH_{calculada} - SH_{medida}|}{SH_{medida}} \times 100 \quad (1)$$

Neste caso, valores de VR (%) mais próximos de zero indicam menor diferença entre os valores calculados e medidos e, portanto, menor erro da equação obtida.

Nessa etapa, serão apresentados os valores de SH medidos experimentalmente por cada estudo de validação, os valores de SH calculados por cada equação encontrada na etapa 1 e a VR de cada par de valores de SH.

III.3.3. Etapa 3: Análise das equações

Nesta etapa serão apresentadas as médias aritméticas das VR (VR_m) de cada grupo de valores calculados pelas equações apresentados na etapa 2. Assim, será avaliado se essas equações são capazes de calcular SH com erro dentro dos limites estipulados por este trabalho. Para isso, a VR_m deverá ser menor que 20%. Caso a variação relativa média seja maior que 20%, as etapas 1, 2 e 3 serão repetidas com recortes mais restritos dos valores de Costa (2021) e Lima (2017) até que seja obtida uma equação que forneça resultados de estimativa de concentração de SH com VR_m dentro do esperado.

III.4. Esquema de recortes de valores para geração das equações

Um dos objetivos deste trabalho é obter a equação para estimar SH em amostras de lixiviados de aterros de resíduos sólidos de forma mais abrangente e robusta possível. Desta forma serão propostos 5 recortes dentre os ensaios selecionados (apresentados na Tabela 5), dividindo-os de forma que as análises sejam feitas partindo de grupos de valores mais variados para grupos cada vez mais restritos.

Com os recortes propostos, os grupos serão restringidos entre estudos de autores e equipes diferentes, aterros, condições das amostras e validação com ensaios realizados com amostras do mesmo aterro que o grupo que gerou a equação.

Tabela 5: Esquema de recortes de dados para utilização nas etapas para definição das equações

Recorte	Divisão por	Detalhamento	Nomenclaturas – Sub-recortes
Recorte 1	Geral	Todos os valores de Costa (2021) e Lima (2017) juntos	R1: Costa + Lima
Recorte 2	Estudos	Valores de Costa (2021) e Lima (2017) separados	R2.1: Costa R2.2: Lima
Recorte 3	Aterros	Valores separados por estudos e aterros	R3.1.1: Costa Seropédica R3.1.2: Costa Gericinó R3.2.1: Lima Seropédica R3.2.2: Lima Gericinó R3.2.3: Lima Gramacho
Recorte 4	Amostras brutas	Valores separados por estudos e aterros utilizando apenas amostras brutas	R4.1.1: Costa Seropédica Bruto R4.1.2: Costa Gericinó Bruto R4.2.1: Lima Seropédica Bruto R4.2.2: Lima Gericinó Bruto R4.2.3: Lima Gramacho Bruto
Recorte 5	Validação com mesmo aterro	Valores do recorte 4 validados apenas com estudos no mesmo aterro	R5.1.1: Costa Seropédica Bruto R5.1.2: Costa Gericinó Bruto R5.2.1: Lima Seropédica Bruto R5.2.2: Lima Gericinó Bruto R5.2.3: Lima Gramacho Bruto

Fonte: Elaboração própria

Como indicado na Tabela 5, o recorte 5 utiliza os mesmos valores e equações geradas no recorte 4. A diferença se dará na validação dos resultados dessas equações, sendo realizada apenas com valores de estudos relativos ao mesmo aterro do sub-recorte em questão. Desta forma, resultados de equações geradas com valores do aterro de Seropédica, só serão comparados com valores de Seropédica, sendo o mesmo procedimento utilizado com os resultados dos outros aterros.

Seguindo o mesmo raciocínio, no recorte 5 os valores dos estudos de Costa (2021) e Lima (2017) também serão utilizados para a validação de equações, sendo também sempre respeitada a condição de não utilizar valores que geraram uma equação para validá-la.

Todos os detalhes das amostras utilizadas em cada sub-recorte estão dispostos nos anexos deste trabalho.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesse estudo através a metodologia definida anteriormente assim como as discussões relativas a esses resultados.

IV.1. Resultados

Seguindo a metodologia apresentada no capítulo III, os valores das análises de SH, DQO, COT e ABS realizadas por Costa (2021) e Lima (2017) nas amostras de lixiviados retiradas dos aterros de Seropédica, Gericinó e Gramacho foram separados nos recortes definidos no capítulo III.4 e estão apresentados nos Anexos A e B. Sendo nesse capítulo apresentados apenas os gráficos de dispersão e tabelas de resultados das etapas 1 e 2 assim como a análise e definição na etapa 3 para os referentes recortes.

IV.1.1. Recorte R1 – Etapa 1

Utilizando os valores medidos experimentalmente dentro do Recorte R1 (Todos os valores de Costa e Lima), foram gerados os gráficos de dispersão, apresentados na Figura 9, assim como as equações e respectivos R^2 (Tabela 7).

Figura 9: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R1: Costa + Lima, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

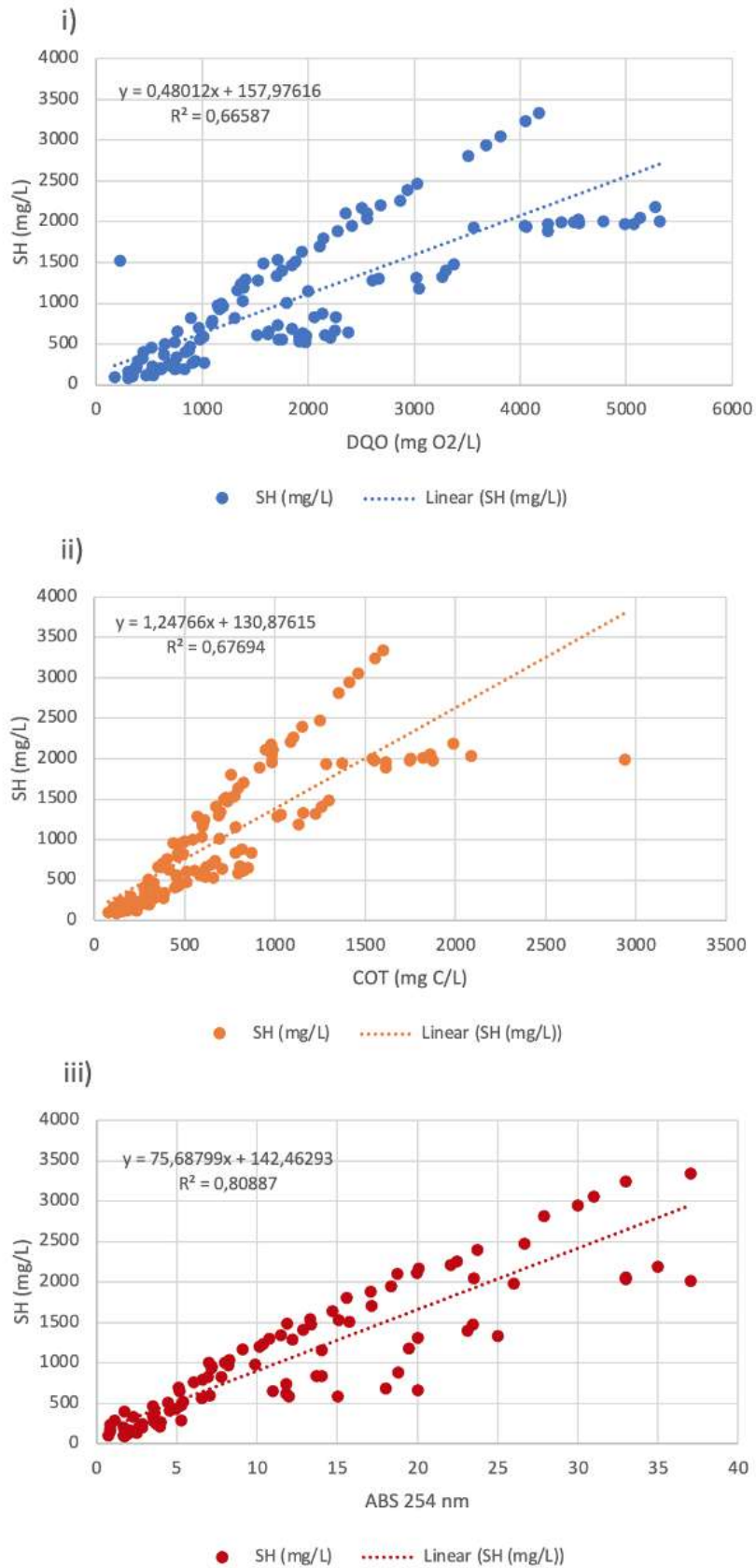


Tabela 7: Equações e respectivos R² obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para o recorte R1

Recorte - Parâmetro	Equação	R ²
R1 - DQO	SH=0,48012*DQO+157,97616	0,67
R1 - COT	SH=1,24766*COT+130,87615	0,68
R1 - ABS	SH=75,68799*ABS+142,46293	0,81

IV.1.2. Recorte R1 – Etapa 2

Na Tabela 8 são apresentados, para cada amostra dos estudos de validação, o valor de SH medido experimentalmente (SH exp.), os valores de SH calculados pelas equações obtidas na etapa 1 referentes ao Recorte de R1 pelos parâmetros DQO, COT e ABS, seguidos pela variação relativa (VR) entre os valores de SH medidos e calculados para cada amostra.

Tabela 8: Resultados da Etapa 2 para o recorte R1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1172	105	646	13	1601	180
VAL2	544	954	75	761	40	1552	185
VAL3	560	859	53	705	26	2012	259
VAL4	650	1432	120	1018	57	2171	234
VAL5	1466	2329	59	2818	92	2163	48
VAL6	2093	1603	23	1846	12	-	-
VAL7	2268	1542	32	1985	12	-	-
VAL8	2437	1588	35	1811	26	-	-
VAL9	2522	1516	40	1381	45	-	-
VAL10	2287	1561	32	1165	49	-	-
VAL11	1957	3946	102	3732	91	-	-
VAL12	512	746	46	1007	97	-	-
VAL13	2987	4484	50	-	-	-	-
VAL14	646	1288	99	-	-	-	-

IV.1.3. Recorte R1 – Etapa 3

A Tabela 9 apresenta os resultados da etapa 1 e 2 para o Recorte R1. Apresentando as equações obtidas para cada parâmetro, o R² da regressão linear que gerou cada equação e a média aritmética das variações relativas (VRm) entre os resultados das equações e os valores medidos experimentalmente para cada estudo de validação.

Tabela 9: Equações, R² e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para o recorte R1

Recorte - Parâmetro	Equação	R ²	VRm (%)
R1.1 - DQO	SH=0,48012*DQO+157,97616	0,67	62
R1.1 - COT	SH=1,24766*COT+130,87615	0,68	47
R1.1 - ABS	SH=75,68799*ABS+142,46293	0,81	181

A validação dos resultados obtidos com as equações geradas no primeiro recorte mostra que os três parâmetros analisados apresentaram tanto coeficientes de determinação (R^2) relativamente baixos quando correlacionados aos valores de SH, variando de 0,67 a 0,81, como VRm acima do padrão esperado definido por este trabalho para 20%. Sendo o melhor resultado, considerando este último critério, referente à equação gerada pelos valores de COT, que apresentou VRm de 47%.

Desta forma, como definido pela metodologia apresentada, as etapas 1, 2 e 3 serão realizadas novamente com o recorte R2 a fim de melhor entender as correlações entre os parâmetros e as SH e gerar a equação que melhor estime valores de concentração de SH.

IV.1.4. Recorte R2 – Etapa 1

Utilizando os valores medidos experimentalmente dentro dos sub-recortes de R2 (todos os valores de Costa e Lima separados), foram gerados os gráficos de dispersão para R2.1 (Figura 10) e R2.2 (Figura 11), assim como as equações e respectivos R^2 (Tabela 10).

Figura 10: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R2.1: Costa, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

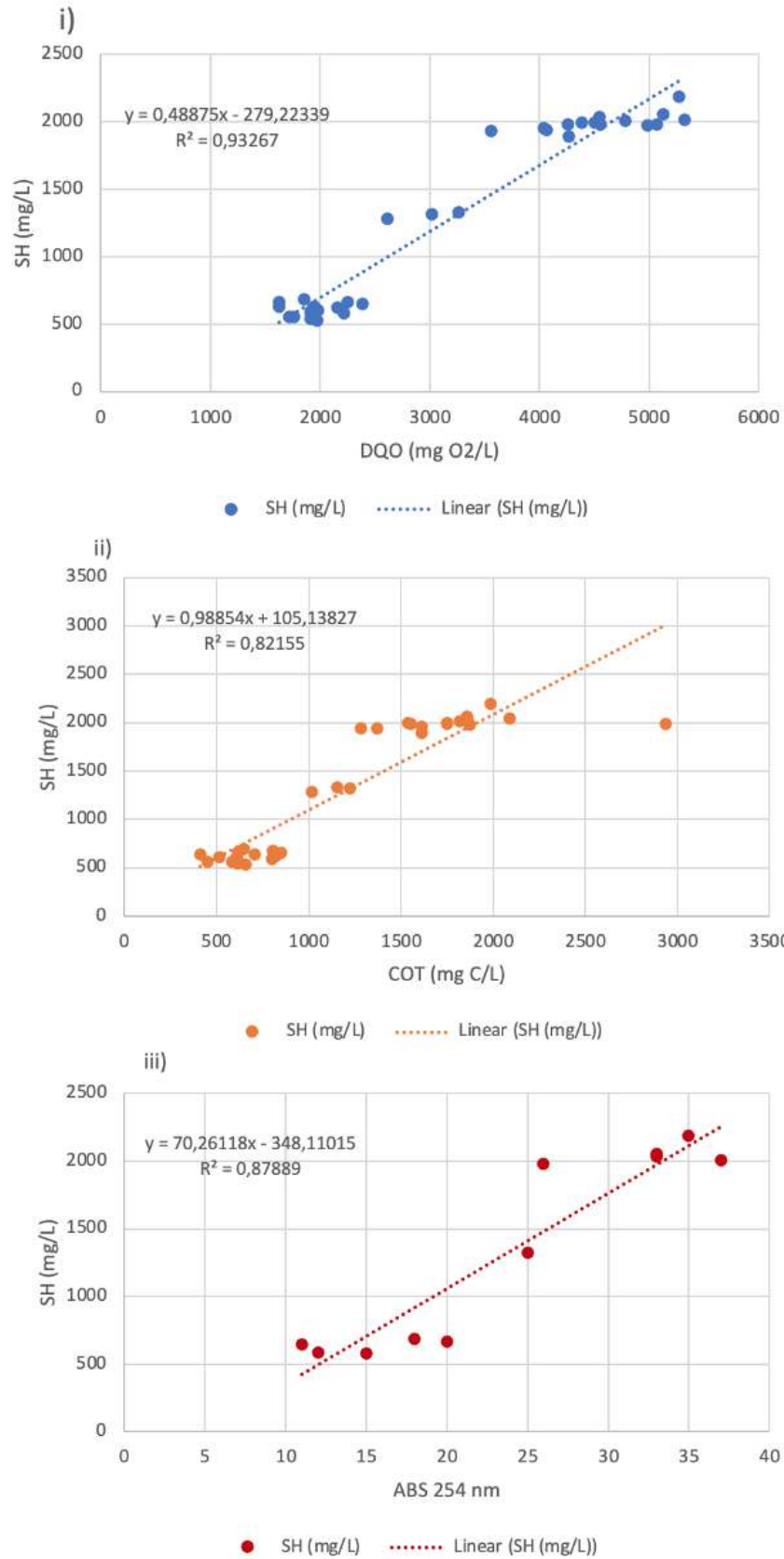


Figura 11: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R2.2: Lima, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

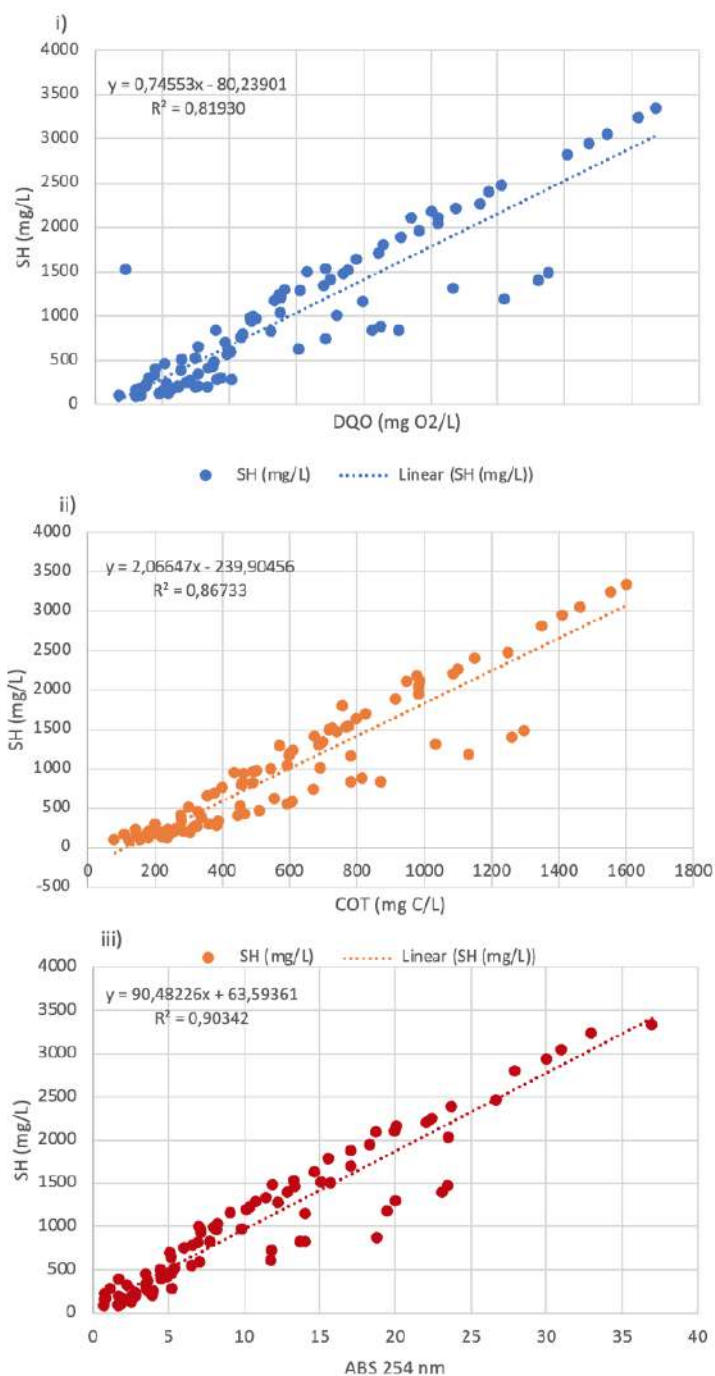


Tabela 10: Equações e respectivos R² obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes R2

Recorte - Parâmetro	Equação	R ²
R2.1 - DQO	SH=0,48875*DQO-279,22339	0,93
R2.1 - COT	SH=0,98854*COT+105,13827	0,82
R2.1 - ABS	SH=70,26118*ABS-348,11015	0,88
R2.2 - DQO	SH=0,74553*DQO-80,23901	0,82
R2.2 - COT	SH=2,06647*COT-239,90456	0,87
R2.2 - ABS	SH=90,48226*ABS+63,59361	0,90

IV.1.5. Recorte R2 – Etapa 2

A seguir são apresentados, para cada amostra dos estudos de validação, o valor de SH medido experimentalmente (SH exp.), os valores de SH calculados pelas equações obtidas na etapa 1 referentes aos sub-recortes de R2 pelos parâmetros DQO, COT e ABS, seguidos pela variação relativa (VR) entre os valores de SH medidos e calculados para cada amostra dos recortes R2.1 (Tabela 11) e R2.2 (Tabela 12).

Tabela 11: Resultados da Etapa 2 para o recorte R2.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	754	32	513	10	1006	76
VAL2	544	531	2	604	11	960	76
VAL3	560	434	22	560	0	1387	148
VAL4	650	1017	57	808	24	1535	136
VAL5	1466	1931	32	2234	52	1528	4
VAL6	2093	1191	43	1464	30	-	-
VAL7	2268	1129	50	1574	31	-	-
VAL8	2437	1177	52	1437	41	-	-
VAL9	2522	1104	56	1096	57	-	-
VAL10	2287	1149	50	925	60	-	-
VAL11	1957	3577	83	2958	51	-	-
VAL12	512	320	38	799	56	-	-
VAL13	2987	4124	38	-	-	-	-
VAL14	646	871	35	-	-	-	-

Tabela 12: Resultados da Etapa 2 para o recorte R2.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1495	161	614	7	1807	216
VAL2	544	1155	112	804	48	1748	221
VAL3	560	1008	80	711	27	2299	310
VAL4	650	1898	192	1229	89	2489	283
VAL5	1466	3291	124	4211	187	2479	69
VAL6	2093	2163	3	2601	24	-	-
VAL7	2268	2068	9	2831	25	-	-
VAL8	2437	2140	12	2544	4	-	-
VAL9	2522	2029	20	1831	27	-	-
VAL10	2287	2098	8	1473	36	-	-
VAL11	1957	5802	197	5724	193	-	-
VAL12	512	833	63	1211	136	-	-
VAL13	2987	6637	122	-	-	-	-
VAL14	646	1675	159	-	-	-	-

IV.1.6. Recorte R2 – Etapa 3

A Tabela 13 apresenta os resultados da etapa 1 e 2 para os sub-recortes de R2. Apresentando as equações obtidas para cada parâmetro, o R^2 da regressão linear que gerou cada equação e a média aritmética das variações relativas (VRm) entre os resultados das equações e os valores medidos experimentalmente para cada estudo de validação.

Tabela 13: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R2.

Recorte - Parâmetro	Equação	R^2	VRm (%)
R2.1 - DQO	SH=0,48875*DQO-279,22339	0,93	42
R2.1 - COT	SH=0,98854*COT+105,13827	0,82	35
R2.1 - ABS	SH=70,26118*ABS-348,11015	0,88	88
R2.2 - DQO	SH=0,74553*DQO-80,23901	0,82	90
R2.2 - COT	SH=2,06647*COT-239,90456	0,87	67
R2.2 - ABS	SH=90,48226*ABS+63,59361	0,90	220

O recorte R2 separou os valores dos estudos de Costa (2021) e Lima (2017) nos sub-recortes 2.1 e 2.2 respectivamente. Com as validações feitas na etapa 2, pode-se notar que os resultados obtidos com as equações geradas com o sub-recorte R2.1 apresentam VRm menores quando comparados aos resultados de R2.1 e R1, com a variação relativa média de R2.1- COT atingindo 35%.

No entanto, sendo esse o melhor resultado desse recorte e ainda estando acima do limite de 20%, as etapas serão novamente realizadas para o recorte R3.

IV.1.7. Recorte R3 – Etapa 1

Utilizando os valores medidos experimentalmente dentro dos sub-recortes de R3 (valores separados por estudos e aterros), foram gerados os gráficos de dispersão para R3.11, R3.12, R3.2.1, R3.2.2 e R3.2.3, nas respectivas Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16, assim como as equações e respectivos R^2 (Tabela 14).

Figura 12: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.1.1: Costa Seropédica, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

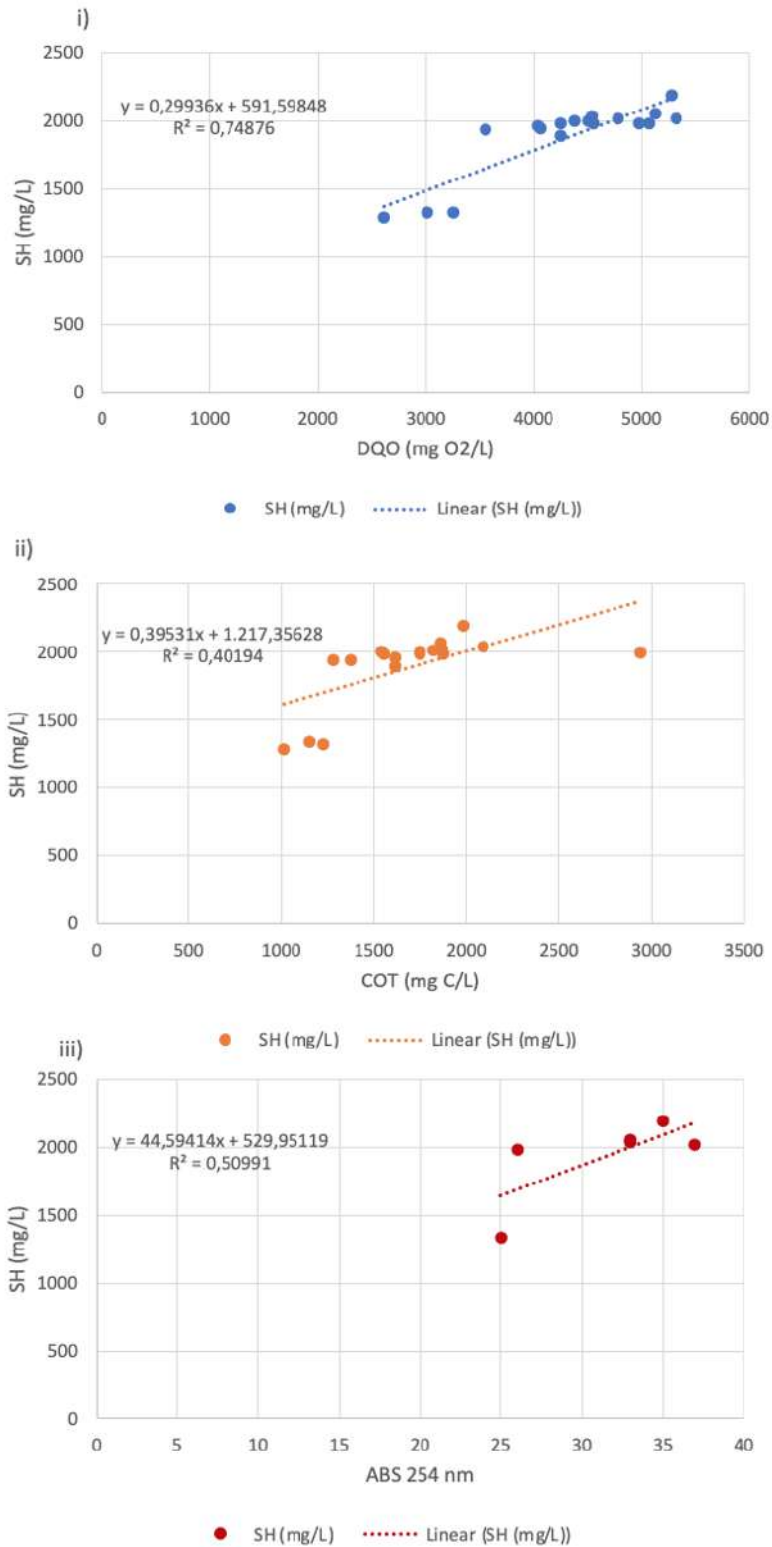


Figura 13: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.1.2: Costa Gericinó, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

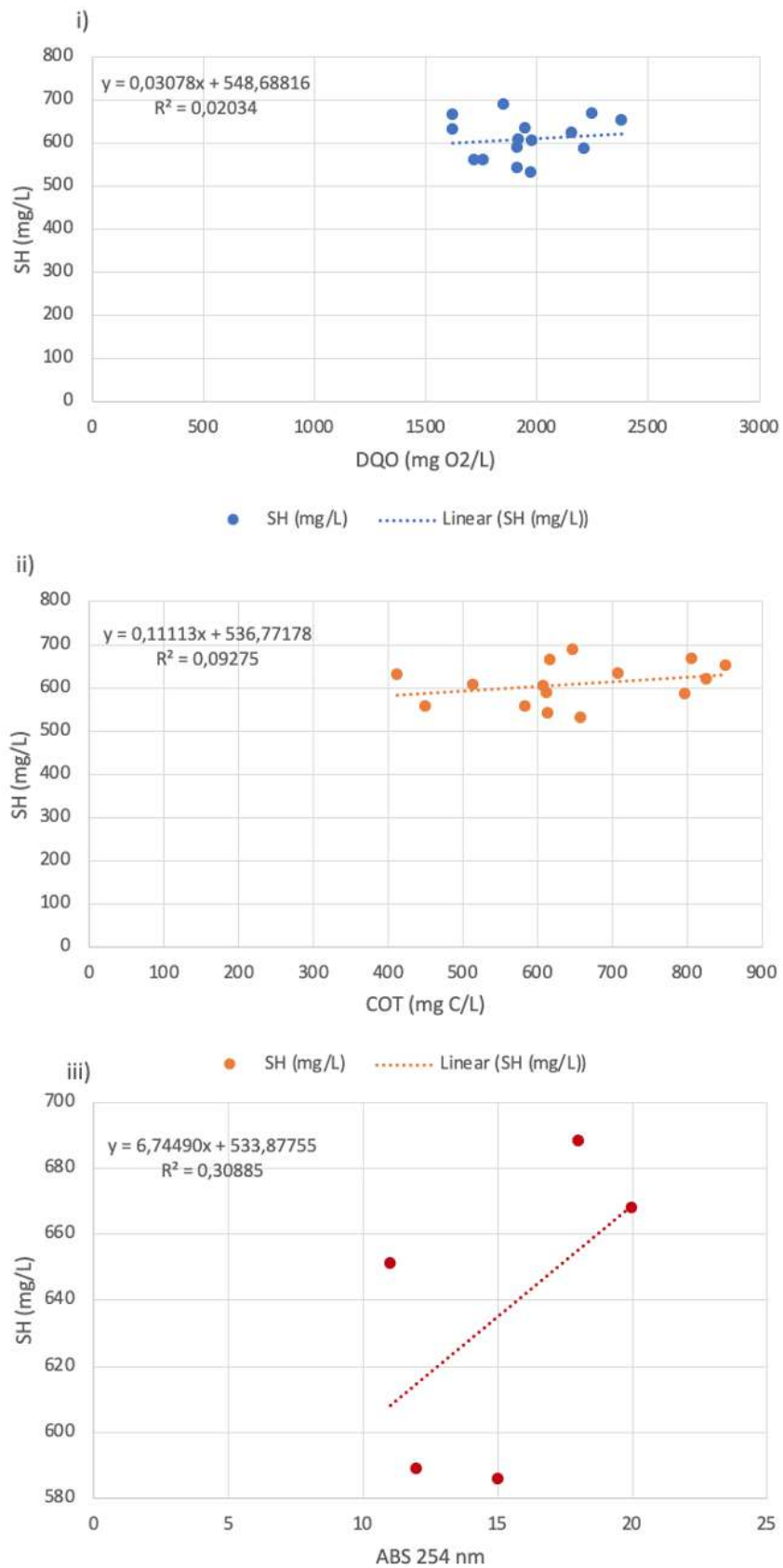


Figura 14: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.1: Lima Seropédica, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

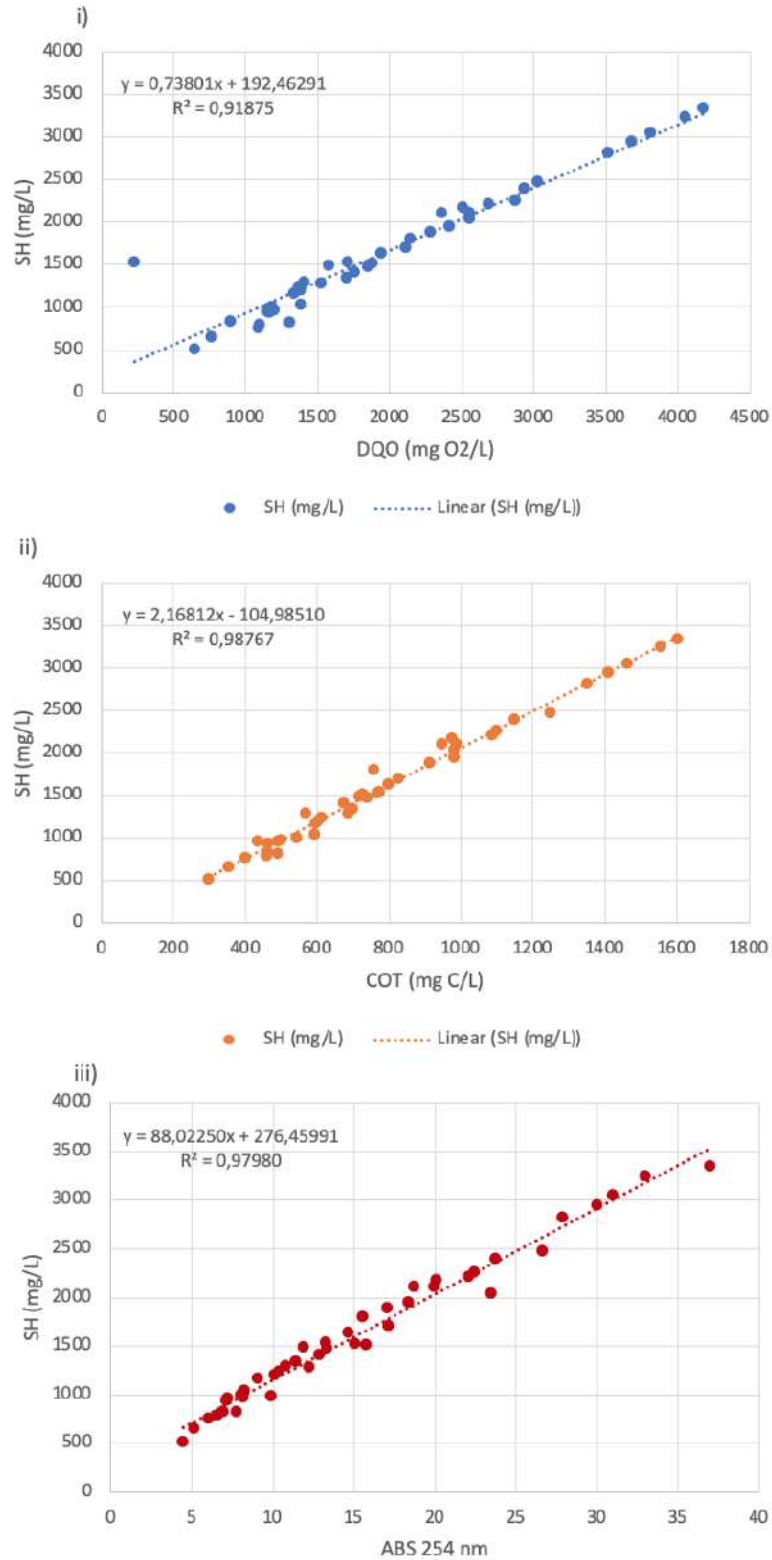


Figura 15: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.2: Lima Gericinó, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

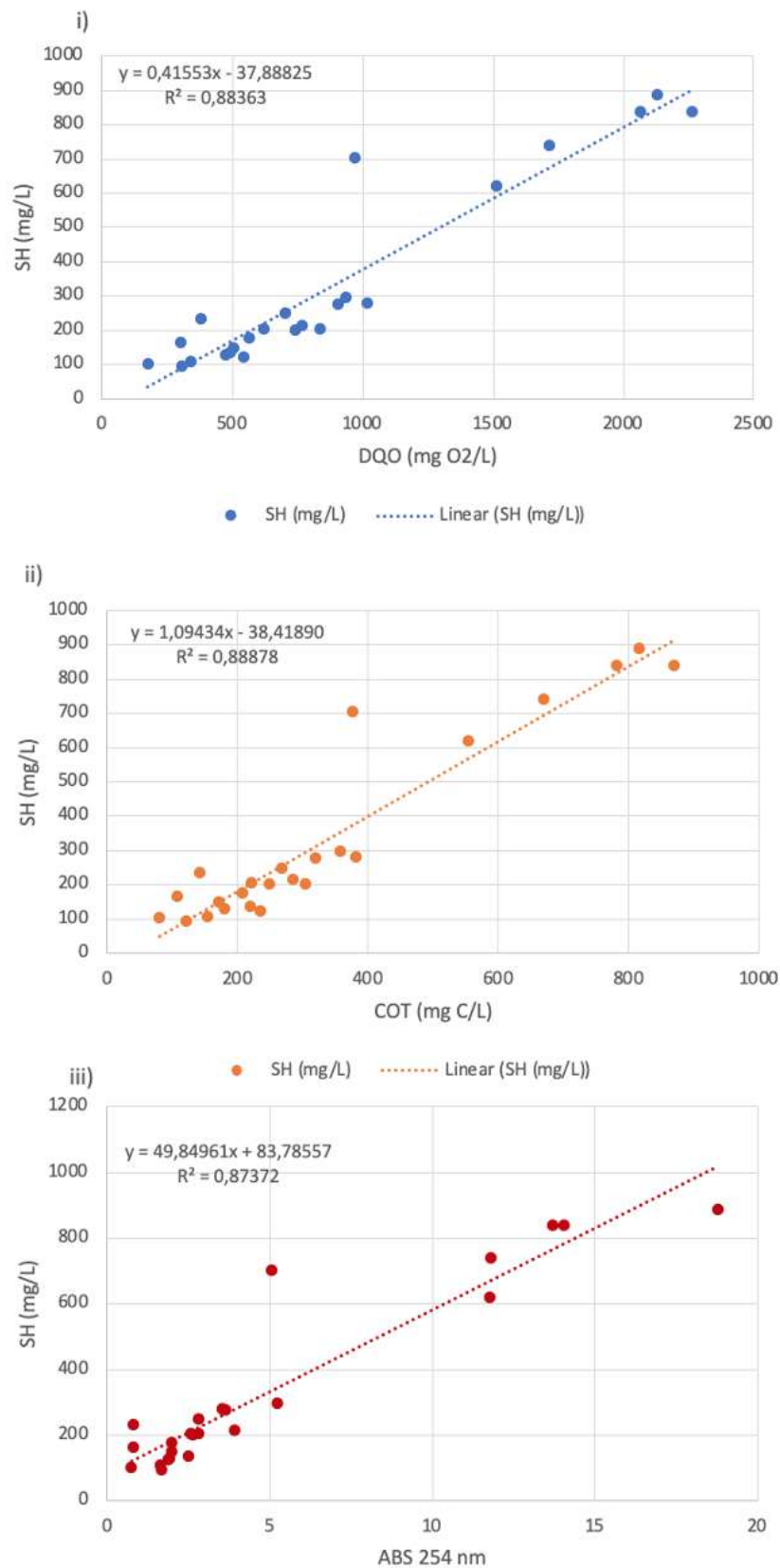


Figura 16: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R3.2.3: Lima Gramacho, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

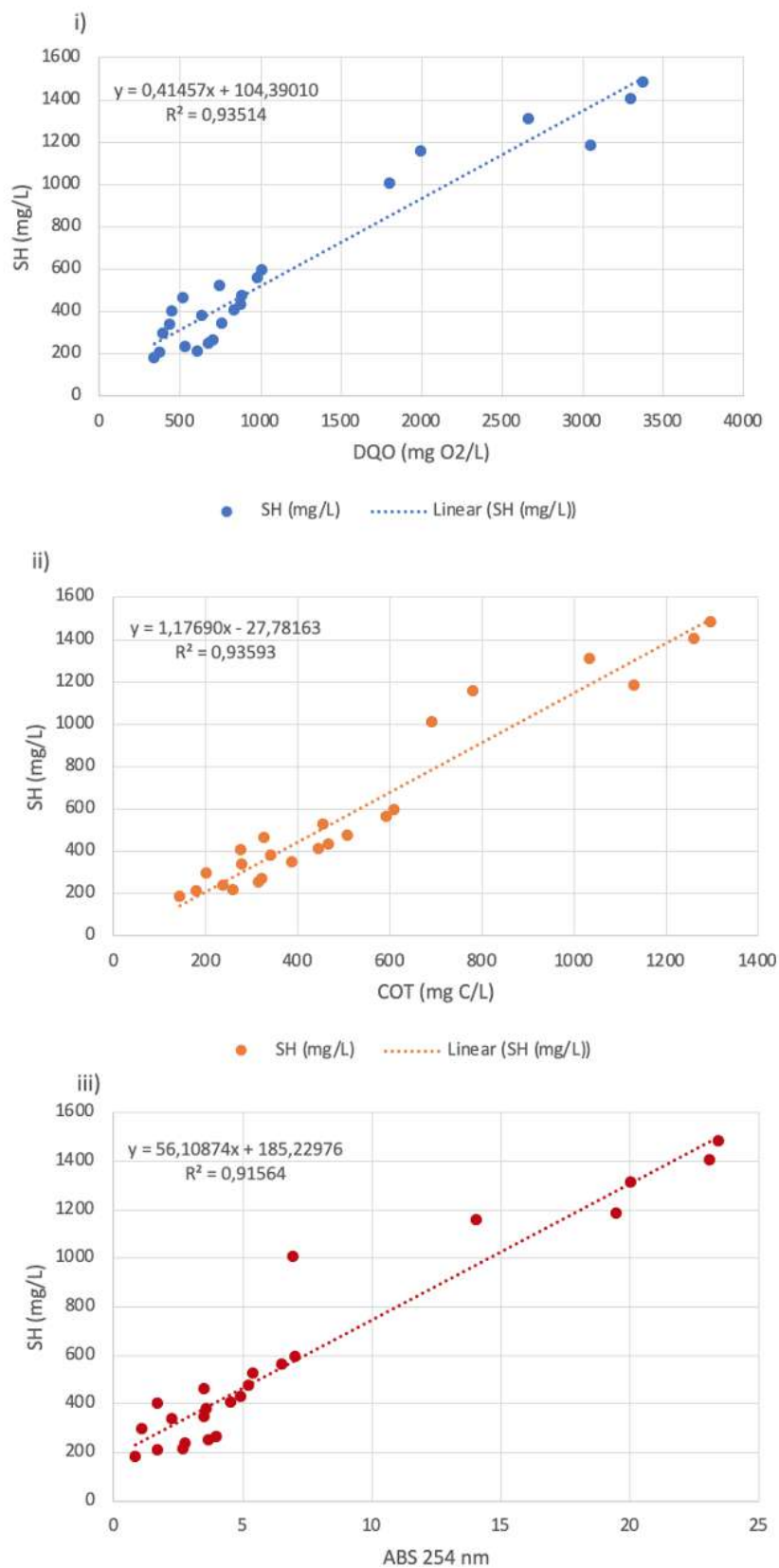


Tabela 14: Equações e respectivos R² obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes

R3		
Recorte - Parâmetro	Equação	R ²
R3.1.1 - DQO	SH=0,29936*DQO+591,59848	0,75
R3.1.1 - COT	SH=0,39531*COT+1.217,35628	0,40
R3.1.1 - ABS	SH=44,59414*ABS+529,95119	0,51
R3.1.2 - DQO	SH=0,03078*DQO+548,68816	0,02
R3.1.2 - COT	SH=0,11113*COT+536,77178	0,09
R3.1.2 - ABS	SH=6,74490*ABS+533,87755	0,31
R3.2.1 - DQO	SH=0,73801*DQO+192,46291	0,92
R3.2.1 - COT	SH=2,16812*COT-104,98510	0,99
R3.2.1 - ABS	SH=88,02250*ABS+276,45991	0,98
R3.2.2 - DQO	SH=0,41553*DQO-37,88825	0,88
R3.2.2 - COT	SH=1,09434*COT-38,41890	0,89
R3.2.2 - ABS	SH=49,84961*ABS+83,78557	0,87
R3.2.3 - DQO	SH=0,41457*DQO+104,39010	0,94
R3.2.3 - COT	SH=1,17690*COT-27,78163	0,94
R3.2.3 - ABS	SH=56,10874*ABS+185,22976	0,92

IV.1.8. Recorte R3 – Etapa 2

A seguir são apresentados, para cada amostra dos estudos de validação, o valor de SH medido experimentalmente (SH exp.), os valores de SH calculados pelas equações obtidas na etapa 1 referentes aos sub-recortes de R3 pelos parâmetros DQO, COT e ABS, seguidos pela variação relativa (VR) entre os valores de SH medidos e calculados para cada amostra dos recortes R3.1.1 (Tabela 15), R3.1.2 (Tabela 16), R3.2.1 (Tabela 17), R3.2.2 (Tabela 18) e R3.2.3 (Tabela 19).

Tabela 15: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.1.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1224	114	1381	141	1389	143
VAL2	544	1088	100	1417	160	1360	150
VAL3	560	1029	84	1399	150	1631	191
VAL4	650	1386	113	1498	131	1725	165
VAL5	1466	1945	33	2069	41	1721	17
VAL6	2093	1492	29	1761	16	-	-
VAL7	2268	1454	36	1805	20	-	-
VAL8	2437	1483	39	1750	28	-	-
VAL9	2522	1439	43	1613	36	-	-
VAL10	2287	1466	36	1545	32	-	-
VAL11	1957	2954	51	2358	21	-	-
VAL12	512	958	87	1495	192	-	-
VAL13	2987	3289	10	-	-	-	-
VAL14	646	1296	101	-	-	-	-

Tabela 16: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.1.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	614	7	583	2	664	16
VAL2	544	600	10	593	9	659	21
VAL3	560	594	6	588	5	700	25
VAL4	650	630	3	616	5	715	10
VAL5	1466	688	53	776	47	714	51
VAL6	2093	641	69	690	67	-	-
VAL7	2268	637	72	702	69	-	-
VAL8	2437	640	74	686	72	-	-
VAL9	2522	636	75	648	74	-	-
VAL10	2287	639	72	629	72	-	-
VAL11	1957	792	60	857	56	-	-
VAL12	512	586	15	615	20	-	-
VAL13	2987	826	72	-	-	-	-
VAL14	646	621	4	-	-	-	-

Tabela 17: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1752	206	790	38	1973	245
VAL2	544	1415	160	990	82	1915	252
VAL3	560	1270	127	892	59	2451	338
VAL4	650	2150	231	1437	121	2635	305
VAL5	1466	3530	141	4565	211	2627	79
VAL6	2093	2413	15	2876	37	-	-
VAL7	2268	2319	2	3117	37	-	-
VAL8	2437	2391	2	2815	16	-	-
VAL9	2522	2281	10	2067	18	-	-
VAL10	2287	2349	3	1693	26	-	-
VAL11	1957	6015	207	6152	214	-	-
VAL12	512	1097	114	1417	177	-	-
VAL13	2987	6842	129	-	-	-	-
VAL14	646	1930	199	-	-	-	-

Tabela 18: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	840	47	414	28	1044	83
VAL2	544	651	20	514	5	1012	86
VAL3	560	569	2	465	17	1315	135
VAL4	650	1065	64	740	14	1420	118
VAL5	1466	1841	26	2319	58	1415	3
VAL6	2093	1212	42	1466	30	-	-
VAL7	2268	1160	49	1588	30	-	-
VAL8	2437	1200	51	1436	41	-	-
VAL9	2522	1138	55	1058	58	-	-
VAL10	2287	1176	49	869	62	-	-
VAL11	1957	3241	66	3120	59	-	-
VAL12	512	471	8	730	43	-	-
VAL13	2987	3706	24	-	-	-	-
VAL14	646	940	46	-	-	-	-

Tabela 19: Resultados da Etapa 2 para o recorte R3.2.3

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	980	71	458	20	1266	121
VAL2	544	791	45	567	4	1230	126
VAL3	560	710	27	514	8	1571	181
VAL4	650	1204	85	809	24	1689	160
VAL5	1466	1979	35	2507	71	1683	15
VAL6	2093	1352	35	1590	24	-	-
VAL7	2268	1299	43	1721	24	-	-
VAL8	2437	1339	45	1558	36	-	-
VAL9	2522	1277	49	1151	54	-	-
VAL10	2287	1316	42	948	59	-	-
VAL11	1957	3375	73	3369	72	-	-
VAL12	512	612	20	798	56	-	-
VAL13	2987	3840	28	-	-	-	-
VAL14	646	1080	67	-	-	-	-

IV.1.9. Recorte R3 – Etapa 3

A Tabela 20 expõe os resultados da etapa 1 e 2 para os sub-recortes de R3, apresentando as equações obtidas para cada parâmetro, o R^2 da regressão linear que gerou cada equação e a média aritmética das variações relativas (VRm) entre os resultados das equações e os valores medidos experimentalmente para cada estudo de validação.

Tabela 20: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R3.

Recorte - Parâmetro	Equação	R^2	VRm (%)
R3.1.1 - DQO	SH=0,29936*DQO+591,59848	0,75	62
R3.1.1 - COT	SH=0,39531*COT+1.217,35628	0,40	81
R3.1.1 - ABS	SH=44,59414*ABS+529,95119	0,51	133
R3.1.2 - DQO	SH=0,03078*DQO+548,68816	0,02	42
R3.1.2 - COT	SH=0,11113*COT+536,77178	0,09	42
R3.1.2 - ABS	SH=6,74490*ABS+533,87755	0,31	25
R3.2.1 - DQO	SH=0,73801*DQO+192,46291	0,92	110
R3.2.1 - COT	SH=2,16812*COT-104,98510	0,99	86
R3.2.1 - ABS	SH=88,02250*ABS+276,45991	0,98	244
R3.2.2 - DQO	SH=0,41553*DQO-37,88825	0,88	39
R3.2.2 - COT	SH=1,09434*COT-38,41890	0,89	37
R3.2.2 - ABS	SH=49,84961*ABS+83,78557	0,87	85
R3.2.3 - DQO	SH=0,41457*DQO+104,39010	0,94	48
R3.2.3 - COT	SH=1,17690*COT-27,78163	0,94	38
R3.2.3 - ABS	SH=56,10874*ABS+185,22976	0,92	121

O recorte R3 separa os valores entre os estudos e aterros, sendo os últimos dígitos dos sub-recortes 1, 2 e 3 referentes aos aterros de Seropédica, Gericinó e Gramacho respectivamente. Com essas divisões já é possível notar uma tendência entre os resultados para menores valores de VRm para as equações geradas pelas leituras realizadas no aterro de

Gericinó nos sub-recortes R3.1.2 e R3.2.2, obtendo em R3.1.2 – ABS, o melhor resultado até este momento com VRm de 25%, indicando resultados de estimativas das equações mais próximos dos valores medidos de SH.

Também é interessante notar que com os resultados desse recorte, valores de R^2 mais próximos de 1,0 não indicam diretamente menores valores de VRm. Um exemplo é o sub-recorte R3.2.1-ABS, que apesar de apresentar R^2 0,98, teve variação relativa média de seus resultados de 244% com valor máximo de 338%, ao passo que R3.1.2-DQO, que mesmo com R^2 0,02 apresentou VRm de 42% com máxima de 75% nas validações.

Desta forma, seguindo a metodologia apresentada, as etapas 1,2 e 3 seguirão para o recorte R4, uma vez que, apesar de resultados melhores que os obtidos no recorte R2 e R1, nenhuma equação apresentou VRm abaixo de 20%.

IV.1.10. Recorte R4 – Etapa 1

Utilizando os valores medidos experimentalmente dentro dos sub-recortes de R4 (valores separados por estudos e aterros apenas com amostras brutas), foram gerados os gráficos de dispersão para R4.11, R4.12, R4.2.1, R4.2.2 e R4.2.3, nas respectivas Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, assim como as equações e respectivos R^2 (Tabela 21).

Figura 17: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.1.1: Costa Seropédica Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

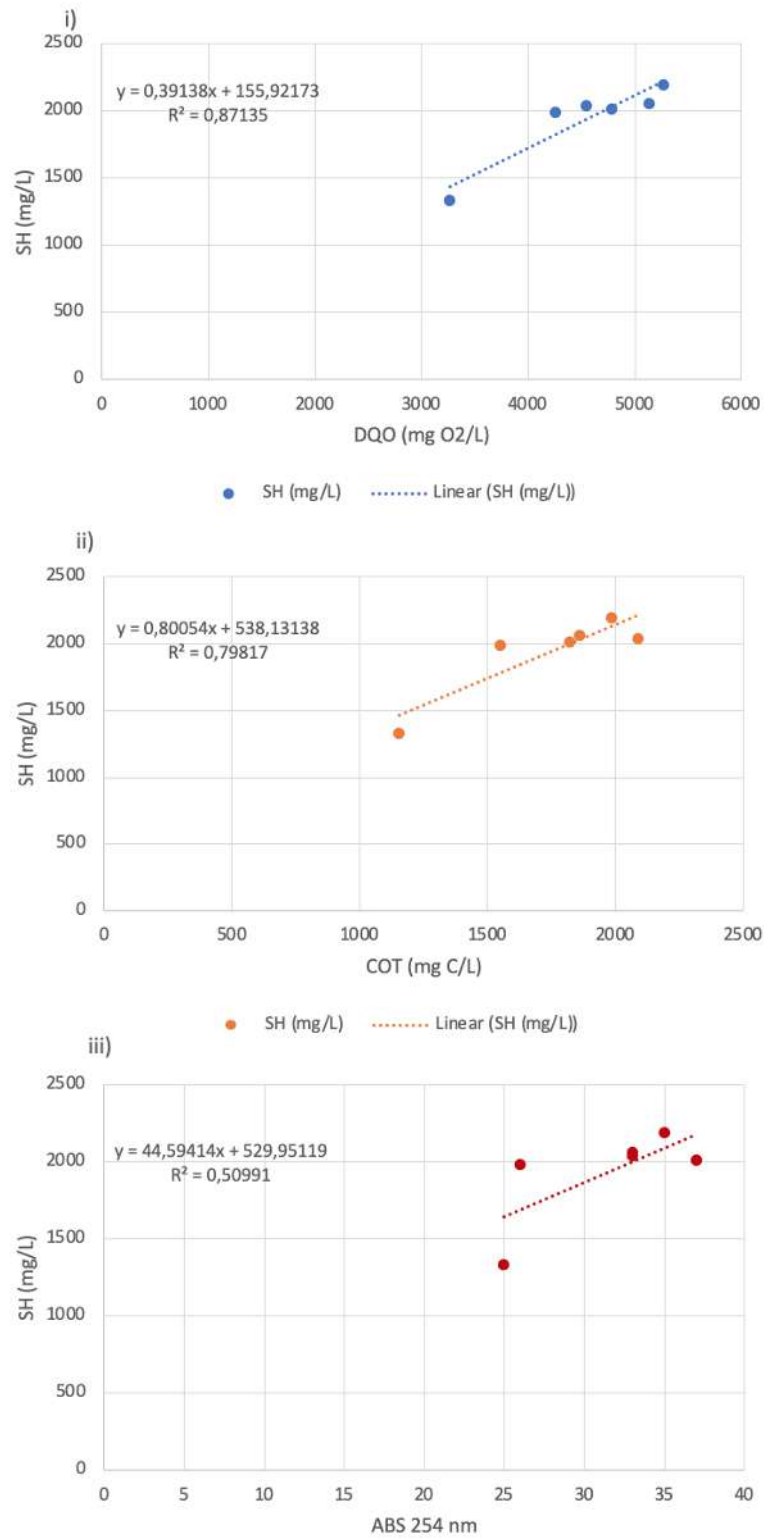


Figura 18: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.1.2: Costa Gericinó Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

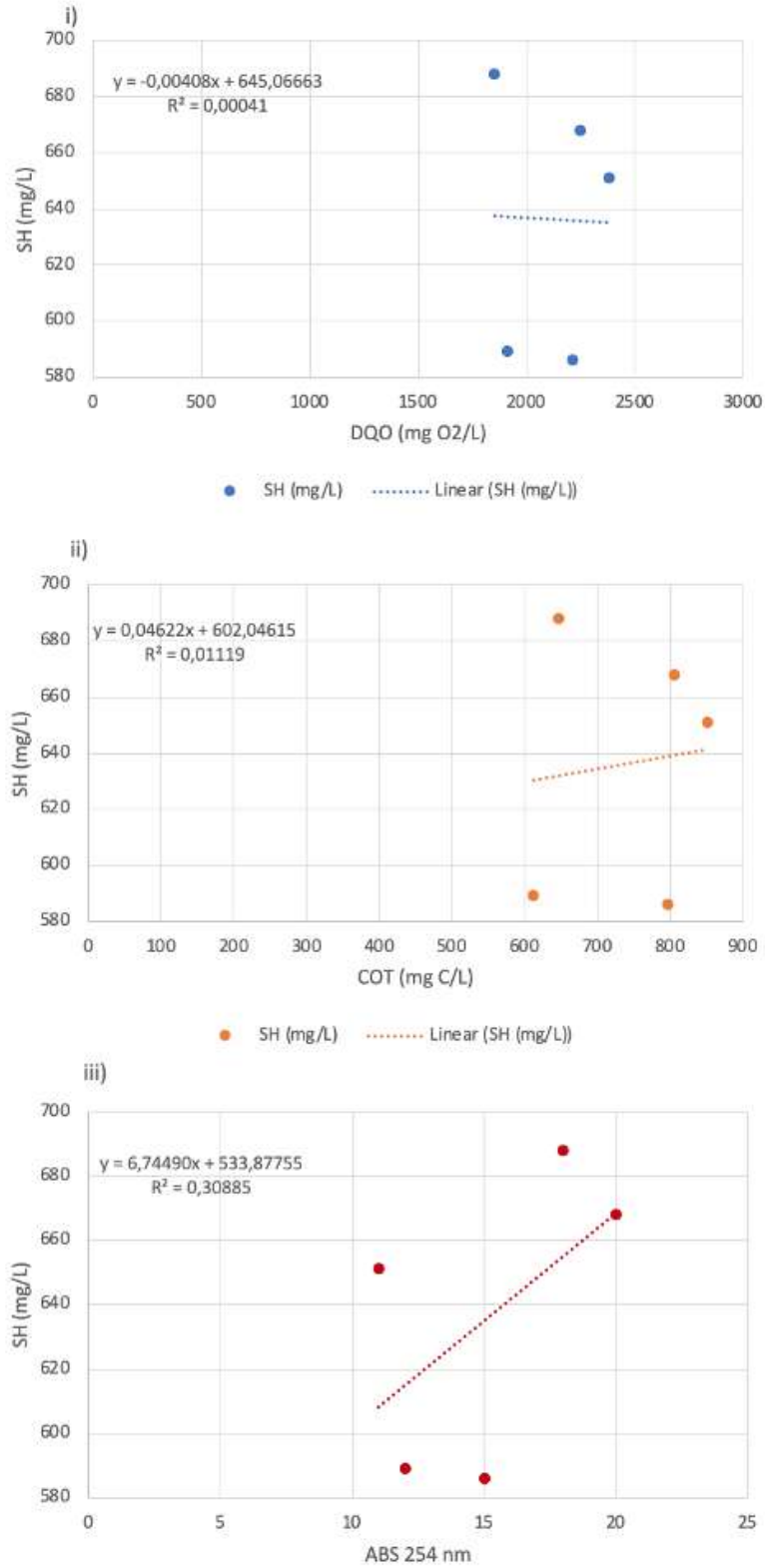


Figura 19: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.1: Lima Seropédica Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

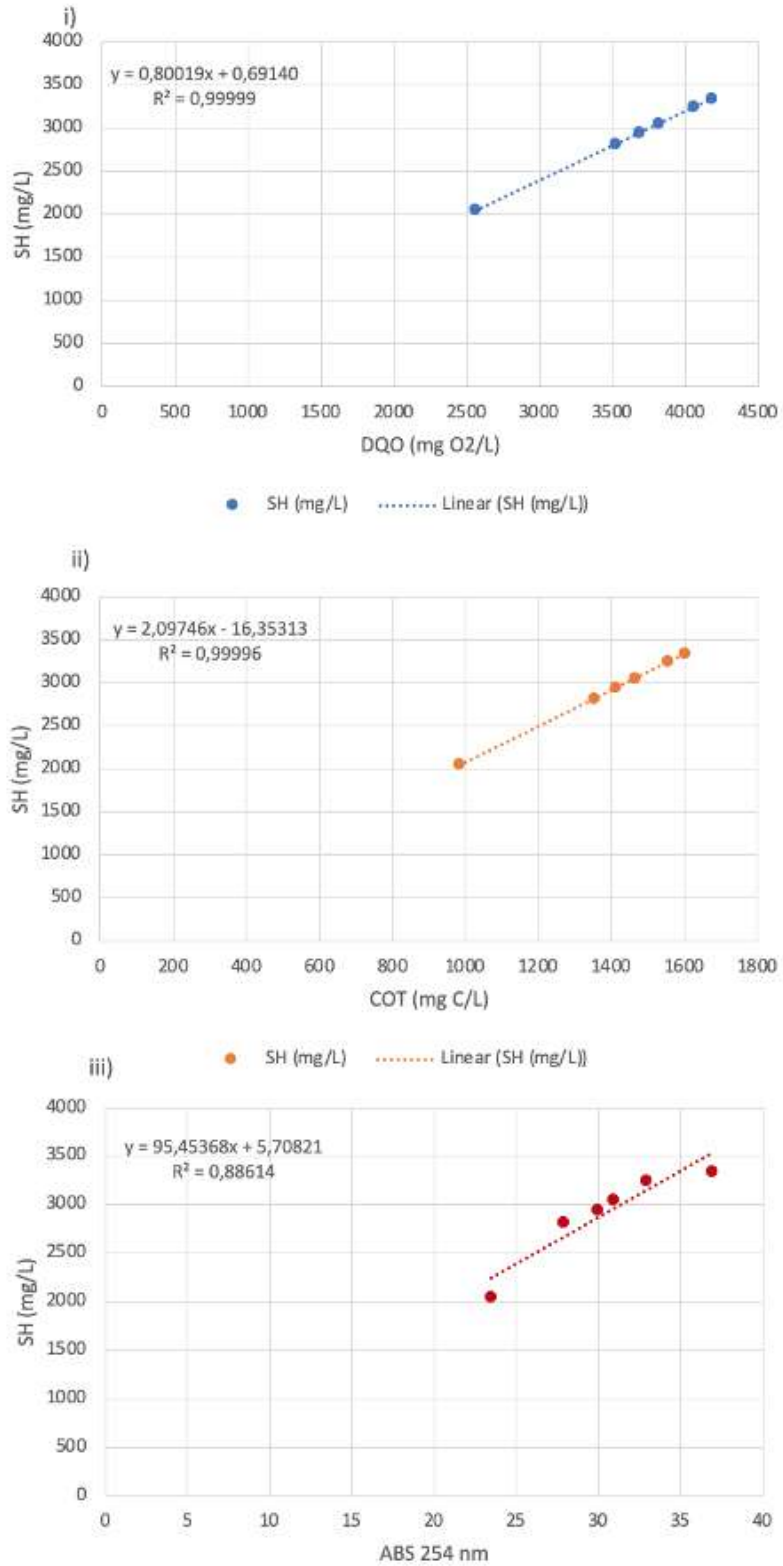


Figura 20: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.2: Lima Gericinó Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

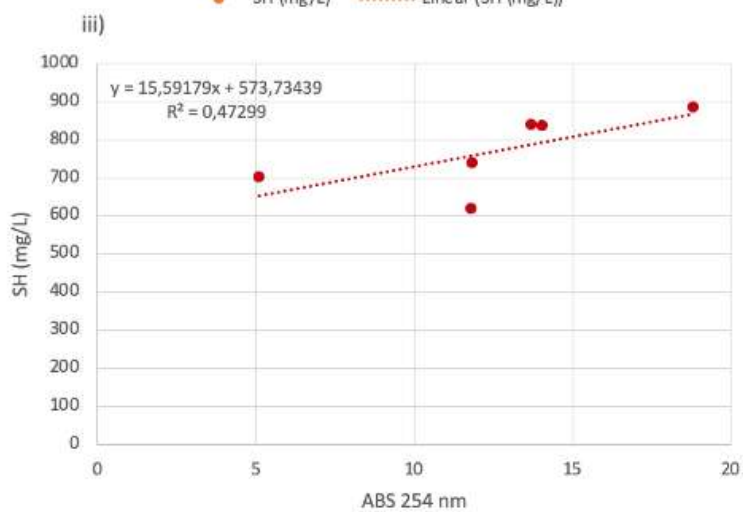
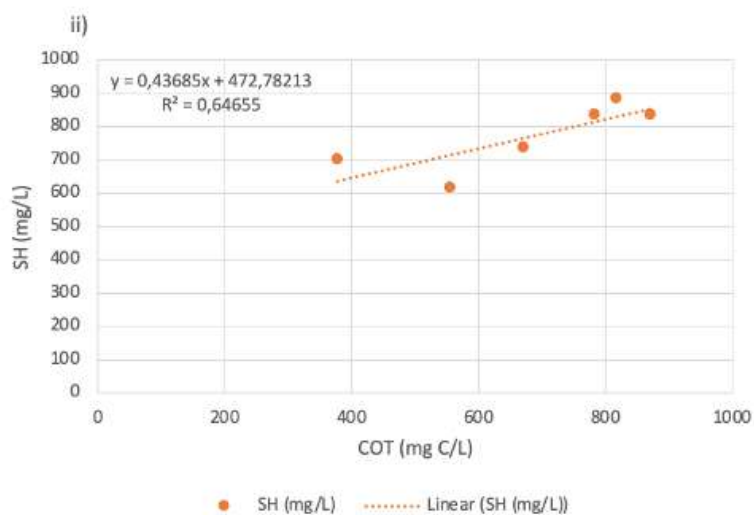
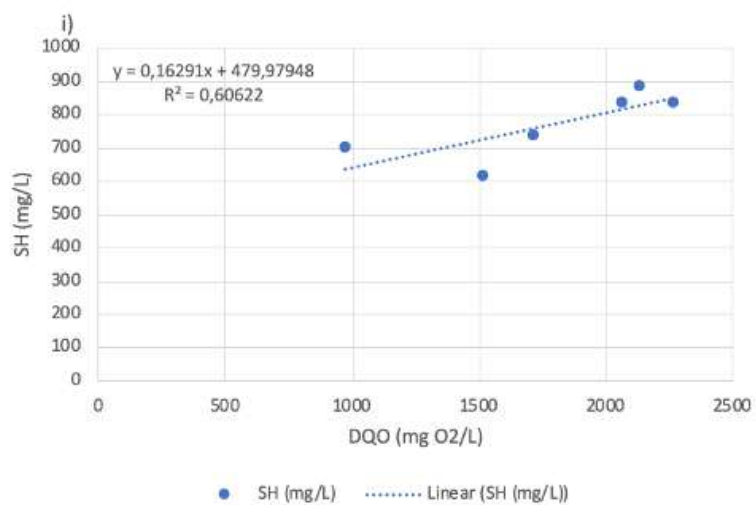


Figura 21: Gráficos de dispersão das leituras de SH em função dos parâmetros para Etapa 1 do recorte R4.2.3: Lima Gramacho Bruto, sendo i) SH (mg/L) x DQO (mg O₂/L), ii) SH (mg/L) x COT (mg C/L) e iii) SH (mg/L) x ABS.

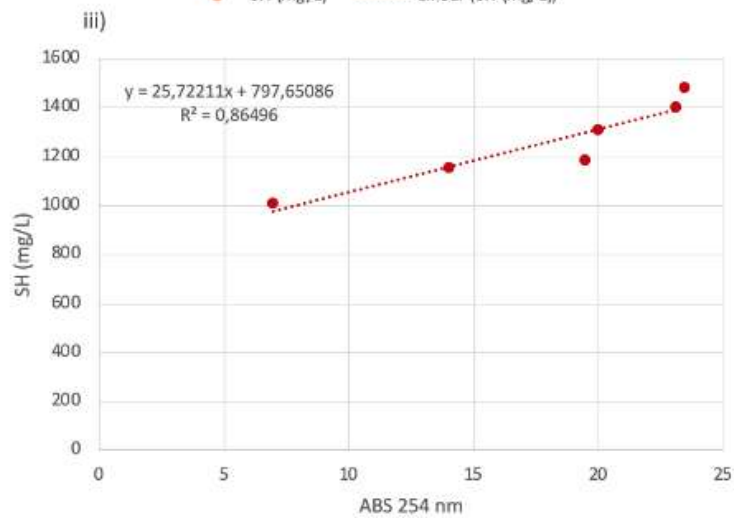
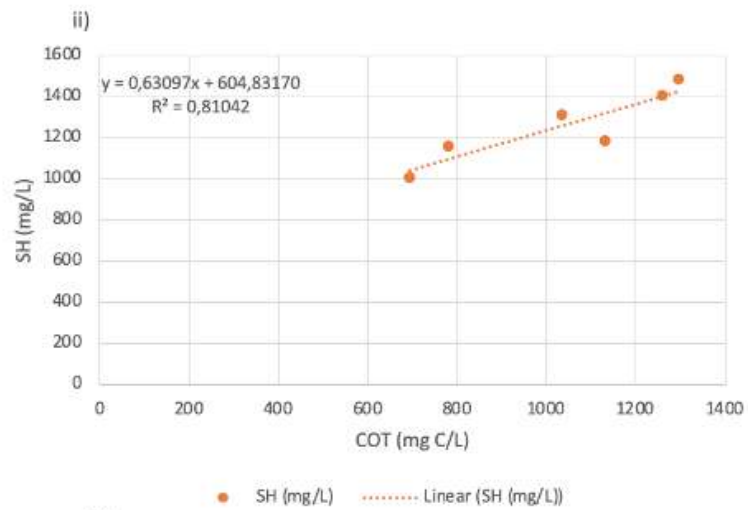
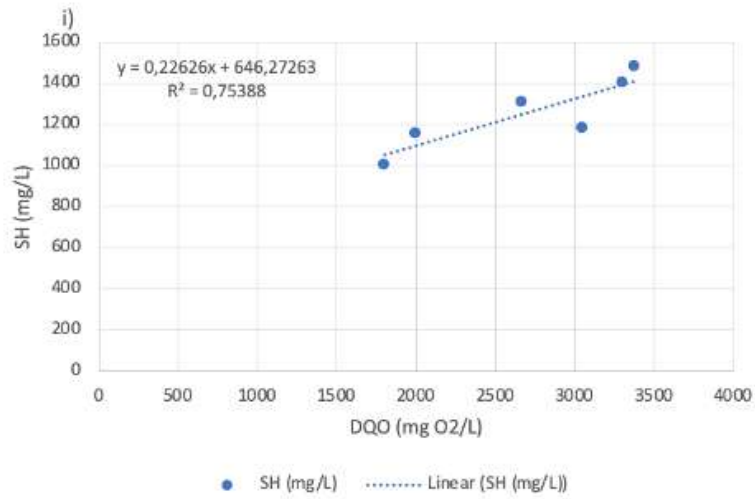


Tabela 21: Equações e respectivos R² obtidos pelos parâmetros DQO, COT e ABS na Etapa 1 para os recortes

R4		
Recorte - Parâmetro	Equação	R ²
R4.1.1 - DQO	SH=0,39138*DQO+155,92173	0,87
R4.1.1 - COT	SH=0,80054*COT+538,13138	0,80
R4.1.1 - ABS	SH=44,59414*ABS+529,95119	0,51
R4.1.2 - DQO	SH=-0,00408*DQO+645,06663	0,00
R4.1.2 - COT	SH=0,04622*COT+602,04615	0,01
R4.1.2 - ABS	SH=6,74490*ABS+533,87755	0,31
R4.2.1 - DQO	SH=0,80019*DQO+0,69140	1,00
R4.2.1 - COT	SH=2,09746*COT-16,35313	1,00
R4.2.1 - ABS	SH=95,45368*ABS+5,70821	0,89
R4.2.2 - DQO	SH=0,16291*DQO+479,97948	0,61
R4.2.2 - COT	SH=0,43685*COT+472,78213	0,65
R4.2.2 - ABS	SH=15,59179*ABS+573,73439	0,47
R4.2.3 - DQO	SH=0,22626*DQO+646,27263	0,75
R4.2.3 - COT	SH=0,63097*COT+604,83170	0,81
R4.2.3 - ABS	SH=25,72211*ABS+797,65086	0,86

IV.1.11. Recorte R4 – Etapa 2

A seguir são apresentados, para cada amostra dos estudos de validação, o valor de SH medido experimentalmente (SH exp.), os valores de SH calculados pelas equações obtidas na etapa 1 referentes aos sub-recortes de R4 pelos parâmetros DQO, COT e ABS, seguidos pela variação relativa (VR) entre os valores de SH medidos e calculados para cada amostra dos recortes R4.1.1 (Tabela 22), R4.1.2 (Tabela 23), R4.2.1 (Tabela 24), R4.2.2 (Tabela 25) e R4.2.3 (Tabela 26).

Tabela 22: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.1.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	983	72	869	52	1389	143
VAL2	544	804	48	942	73	1360	150
VAL3	560	727	30	906	62	1631	191
VAL4	650	1194	84	1107	70	1725	165
VAL5	1466	1926	31	2262	54	1721	17
VAL6	2093	1334	36	1639	22	-	-
VAL7	2268	1284	43	1728	24	-	-
VAL8	2437	1322	46	1616	34	-	-
VAL9	2522	1263	50	1340	47	-	-
VAL10	2287	1300	43	1202	47	-	-
VAL11	1957	3244	66	2848	46	-	-
VAL12	512	636	24	1100	115	-	-
VAL13	2987	3682	23	-	-	-	-
VAL14	646	1077	67	-	-	-	-

Tabela 23: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.1.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	636	11	621	9	664	16
VAL2	544	638	17	625	15	659	21
VAL3	560	639	14	623	11	700	25
VAL4	650	634	2	635	2	715	10
VAL5	1466	627	57	702	52	714	51
VAL6	2093	633	70	666	68	-	-
VAL7	2268	633	72	671	70	-	-
VAL8	2437	633	74	664	73	-	-
VAL9	2522	634	75	648	74	-	-
VAL10	2287	633	72	640	72	-	-
VAL11	1957	613	69	735	62	-	-
VAL12	512	640	25	634	24	-	-
VAL13	2987	608	80	-	-	-	-
VAL14	646	635	2	-	-	-	-

Tabela 24: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1691	196	850	49	1845	223
VAL2	544	1327	144	1043	92	1783	228
VAL3	560	1169	109	948	69	2363	322
VAL4	650	2124	227	1475	127	2564	294
VAL5	1466	3619	147	4502	207	2554	74
VAL6	2093	2408	15	2868	37	-	-
VAL7	2268	2307	2	3100	37	-	-
VAL8	2437	2384	2	2809	15	-	-
VAL9	2522	2265	10	2085	17	-	-
VAL10	2287	2339	2	1723	25	-	-
VAL11	1957	6314	223	6037	209	-	-
VAL12	512	981	92	1456	184	-	-
VAL13	2987	7210	141	-	-	-	-
VAL14	646	1884	192	-	-	-	-

Tabela 25: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	824	44	653	14	874	53
VAL2	544	750	38	693	27	864	59
VAL3	560	718	28	674	20	959	71
VAL4	650	912	40	783	21	992	53
VAL5	1466	1217	17	1414	4	990	32
VAL6	2093	970	54	1073	49	-	-
VAL7	2268	949	58	1122	51	-	-
VAL8	2437	965	60	1061	56	-	-
VAL9	2522	941	63	911	64	-	-
VAL10	2287	956	58	835	63	-	-
VAL11	1957	1765	10	1734	11	-	-
VAL12	512	680	33	779	52	-	-
VAL13	2987	1948	35	-	-	-	-
VAL14	646	863	34	-	-	-	-

Tabela 26: Resultados da Etapa 2 para o recorte R4.2.3

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	1124	97	865	51	1293	126
VAL2	544	1021	88	923	70	1277	135
VAL3	560	977	74	895	60	1433	156
VAL4	650	1247	92	1053	62	1487	129
VAL5	1466	1669	14	1964	34	1484	1
VAL6	2093	1327	37	1472	30	-	-
VAL7	2268	1298	43	1542	32	-	-
VAL8	2437	1320	46	1455	40	-	-
VAL9	2522	1286	49	1237	51	-	-
VAL10	2287	1307	43	1128	51	-	-
VAL11	1957	2431	24	2426	24	-	-
VAL12	512	924	80	1048	105	-	-
VAL13	2987	2685	10	-	-	-	-
VAL14	646	1179	82	-	-	-	-

IV.1.12. Recorte R4 – Etapa 3

A Tabela 27 expõe os resultados da etapa 1 e 2 para os sub-recortes de R4, apresentando as equações obtidas para cada parâmetro, o R^2 da regressão linear que gerou cada equação e a média aritmética das variações relativas (VRm) entre os resultados das equações e os valores medidos experimentalmente para cada estudo de validação.

Tabela 27: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R4.

Recorte - Parâmetro	Equação	R^2	VRm (%)
R4.1.1 - DQO	SH=0,39138*DQO+155,92173	0,87	47
R4.1.1 - COT	SH=0,80054*COT+538,13138	0,80	54
R4.1.1 - ABS	SH=44,59414*ABS+529,95119	0,51	133
R4.1.2 - DQO	SH=-0,00408*DQO+645,06663	0,00	46
R4.1.2 - COT	SH=0,04622*COT+602,04615	0,01	44
R4.1.2 - ABS	SH=6,74490*ABS+533,87755	0,31	25
R4.2.1 - DQO	SH=0,80019*DQO+0,69140	1,00	107
R4.2.1 - COT	SH=2,09746*COT-16,35313	1,00	89
R4.2.1 - ABS	SH=95,45368*ABS+5,70821	0,89	228
R4.2.2 - DQO	SH=0,16291*DQO+479,97948	0,61	41
R4.2.2 - COT	SH=0,43685*COT+472,78213	0,65	36
R4.2.2 - ABS	SH=15,59179*ABS+573,73439	0,47	54
R4.2.3 - DQO	SH=0,22626*DQO+646,27263	0,75	56
R4.2.3 - COT	SH=0,63097*COT+604,83170	0,81	51
R4.2.3 - ABS	SH=25,72211*ABS+797,65086	0,86	109

O recorte R4 mantém a mesma divisão em estudos e aterros utilizada no recorte R3 mas gera as equações apenas com as amostras brutas dos lixiviados em cada caso ao contrário do anterior, que incluía amostras pós-tratamentos de arraste com ar no estudo de Costa (2021) e com o coagulante $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ no estudo de Lima (2017). Nesse recorte nota-se pouca diferença

em relação aos resultados de R3 mas mantém-se a tendência dos menores valores de VRm se concentrarem nas equações geradas com amostras do aterro de Gericinó, nos sub-recortes R4.1.2 e R4.2.2.

Como nesse recorte, o melhor resultado foi o apresentado pela equação R4.1.2-ABS com VRm de 25%, ainda acima do limite estipulado, a metodologia seguirá para o recorte R5.

IV.1.13. Recorte R5 – Etapa 1

Como explicado anteriormente, as equações utilizadas no Recorte R5 são as mesmas obtidas na etapa 1 do Recorte R4. Desta forma, os gráficos de dispersão, equações e R^2 destas utilizados no Recorte R5 podem ser encontrados no tópico IV.1.10.

IV.1.14. Recorte R5 – Etapa 2

A seguir são apresentados, para cada amostra dos estudos de validação, o valor de SH medido experimentalmente (SH exp.), os valores de SH calculados pelas equações obtidas na etapa 1 referentes aos sub-recortes de R5 pelos parâmetros DQO, COT e ABS, seguidos pela variação relativa (VR) entre os valores de SH medidos e calculados para cada amostra dos recortes R5.1.1 (Tabela 28), R5.1.2 (Tabela 29), R5.2.1 (Tabela 30), R5.2.2 (Tabela 31) e R5.2.3 (Tabela 32).

Tabela 28: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.1.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL 15	2045	1156	43	1325	35	1578	23
VAL 16	2815	1532	46	1620	42	1774	37
VAL 17	2947	1596	46	1667	43	1868	37
VAL 18	3243	1741	46	1783	45	2002	38
VAL 19	3342	1791	46	1820	46	2180	35
VAL 20	3053	1649	46	1710	44	1912	37
VAL5	1466	1926	31	2262	54	1721	17

Tabela 29: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.1.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	636	11	621	9	664	16
VAL2	544	638	17	625	15	659	21
VAL3	560	639	14	623	11	700	25
VAL4	650	634	2	635	2	715	10
VAL 21	618	639	3	628	2	613	1
VAL 22	836	637	24	638	24	629	25
VAL 23	885	636	28	640	28	661	25
VAL 24	838	636	24	642	23	626	25
VAL 25	738	638	14	633	14	614	17
VAL 26	701	641	9	619	12	568	19

Tabela 30: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.1

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL 27	2037	3638	79	4365	114	3156	55
VAL 28	2012	3831	90	3805	89	3537	76
VAL 29	2056	4108	100	3887	89	3156	53
VAL 30	2191	4222	93	4151	89	3347	53
VAL 31	1329	2615	97	2408	81	2392	80
VAL 32	1983	3410	72	3239	63	2488	25
VAL5	1466	3619	147	4502	207	2554	74

Tabela 31: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.2

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL1	572	824	44	653	14	874	53
VAL2	544	750	38	693	27	864	59
VAL3	560	718	28	674	20	959	71
VAL4	650	912	40	783	21	992	53
VAL 33	668	847	27	825	24	886	33
VAL 34	651	868	33	845	30	745	14
VAL 35	586	840	43	821	40	808	38
VAL 36	688	781	14	755	10	854	24
VAL 37	589	792	34	740	26	761	29

Tabela 32: Resultados da Etapa 2 para o recorte 5.2.3

Amostra	SH (mg/L) exp.	SH (mg/L)		SH (mg/L)		SH (mg/L)	
		calculado eq. DQO	VR (%) eq. DQO	calculado eq. COT	VR (%) eq. COT	calculado eq. ABS	VR (%) eq. ABS
VAL6	2093,33	1327	37	1472	30	-	-
VAL7	2268,33	1298	43	1542	32	-	-
VAL8	2436,67	1320	46	1455	40	-	-
VAL9	2521,67	1286	49	1237	51	-	-
VAL10	2286,67	1307	43	1128	51	-	-

IV.1.15. Recorte R5 – Etapa 3

A Tabela 33 expõe os resultados da etapa 1 e 2 para os sub-recortes de R5, apresentando as equações obtidas para cada parâmetro, o R² da regressão linear que gerou cada equação e a média aritmética das variações relativas (VRm) entre os resultados das equações e os valores medidos experimentalmente para cada estudo de validação.

Tabela 33: Equações, R² e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para os sub-recortes de R5.

Recorte - Parâmetro	Equação	R ²	VRm (%)
R5.1.1 - DQO	SH=0,39138*DQO+155,92173	0,87	44
R5.1.1 - COT	SH=0,80054*COT+538,13138	0,80	44
R5.1.1 - ABS	SH=44,59414*ABS+529,95119	0,51	32
R5.1.2 - DQO	SH=-0,00408*DQO+645,06663	0,00	15
R5.1.2 - COT	SH=0,04622*COT+602,04615	0,01	14
R5.1.2 - ABS	SH=6,74490*ABS+533,87755	0,31	18
R5.2.1 - DQO	SH=0,80019*DQO+0,69140	1,00	97
R5.2.1 - COT	SH=2,09746*COT-16,35313	1,00	105
R5.2.1 - ABS	SH=95,45368*ABS+5,70821	0,89	60
R5.2.2 - DQO	SH=0,16291*DQO+479,97948	0,61	34
R5.2.2 - COT	SH=0,43685*COT+472,78213	0,65	23
R5.2.2 - ABS	SH=15,59179*ABS+573,73439	0,47	42
R5.2.3 - DQO	SH=0,22626*DQO+646,27263	0,75	43
R5.2.3 - COT	SH=0,63097*COT+604,83170	0,87	41

Este recorte consiste nas mesmas equações encontradas na etapa 1 do recorte R4 mas essas foram validadas apenas com estudos realizados no mesmo aterro das amostras que geraram a equação em questão. Com os resultados aqui obtidos, pode-se analisar que todas as equações, com exceção de R5.2.1-COT, apresentaram VRm menores que no recorte anterior. Nessas condições, as 3 equações geradas no sub-recorte R5.1.2, relativas às amostras brutas do estudo de Costa (2021) retiradas do aterro de Gericinó, alcançaram VRm abaixo do limite estabelecido de 20%.

Os resultados com estimativas de concentração de SH mais próximas dos valores reais encontrados pela equação R5.1.2-COT com VRm de 14% e VR máxima de 28%, atingindo desta forma o objetivo estipulado na metodologia deste trabalho.

IV.2. Discussão

A metodologia proposta buscou determinar correlações e definir uma equação de regressão linear simples entre os parâmetros DQO, COT e ABS dos estudos de referência

realizados por Costa (2021) e Lima (2017) para estimar concentrações de SH em amostras de lixiviados de aterros de resíduos sólidos com resultados válidos para o maior número de aterros, regiões e condições. Para isso, foi proposto iniciar os estudos e geração das equações através de regressões lineares de todos os valores disponíveis pelos dois estudos de referência de forma a obter resultados mais abrangentes e restringir esses valores de forma sistemática para encontrar a melhor correlação através dos recortes. Ao analisar os resultados obtidos nas 3 etapas para os 5 recortes propostos neste estudo, podem-se entender algumas tendências que serão aqui discutidas.

Inicialmente, no recorte R1, com 123 valores de análises de DQO e COT e 101 valores de Abs 254 nm, todos relacionados a um valor de SH (Anexo D), e medidos experimentalmente com amostras brutas e pós-tratamentos, que não interferiam significativamente nesses parâmetros, tanto pelo estudo de Costa (2021) quanto de Lima (2017), nota-se grande variação de valores de acordo com a Tabela 34.

Tabela 34: Análise dos valores de SH, DQO, COT e ABS utilizados no recorte R1.

Valores	SH (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Quantidade de valores	123	123	123	101
Média	1089	1939	768	12
Valor máximo	3342	5320	2939	37
Valor mínimo	93	175	80	0,74

Desta forma, apenas pelos valores, pode-se entender que a cobertura desta análise seria significativa e representante ao menos aos aterros de Seropédica, Gericinó e Gramacho, cobertos nos estudos de referência. No entanto, ao traçar as linhas de tendência entre os parâmetros e os valores de SH para a regressão linear (gráficos da Figura 9), nota-se que apesar de certa linearidade, valores próximos de um mesmo parâmetro, quando realizados por análises diferentes, estão ligados a valores de SH muito distantes entre si. Sendo um exemplo os valores das leituras dispostos na Tabela 35.

Tabela 35: Comparação entre leituras de diferentes amostras nos estudos de referência.

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Nov. 2015	1007	1801	693	6,98
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag./L	Jan. 2015	1473	1848	739	13,37
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Nov. 2018	688	1850	647	18

Essas divergências podem ser notadas pelos baixos valores de R² encontrados entre os parâmetros e as leituras de SH na etapa 1: 0,67 para DQO, 0,68 para COT e 0,81 para ABS.

Essas baixas correlações tiveram efeito nos resultados apresentados nas validações das equações geradas com variações relativas médias de 62%, 47% e 181% (Tabela 9) respectivamente.

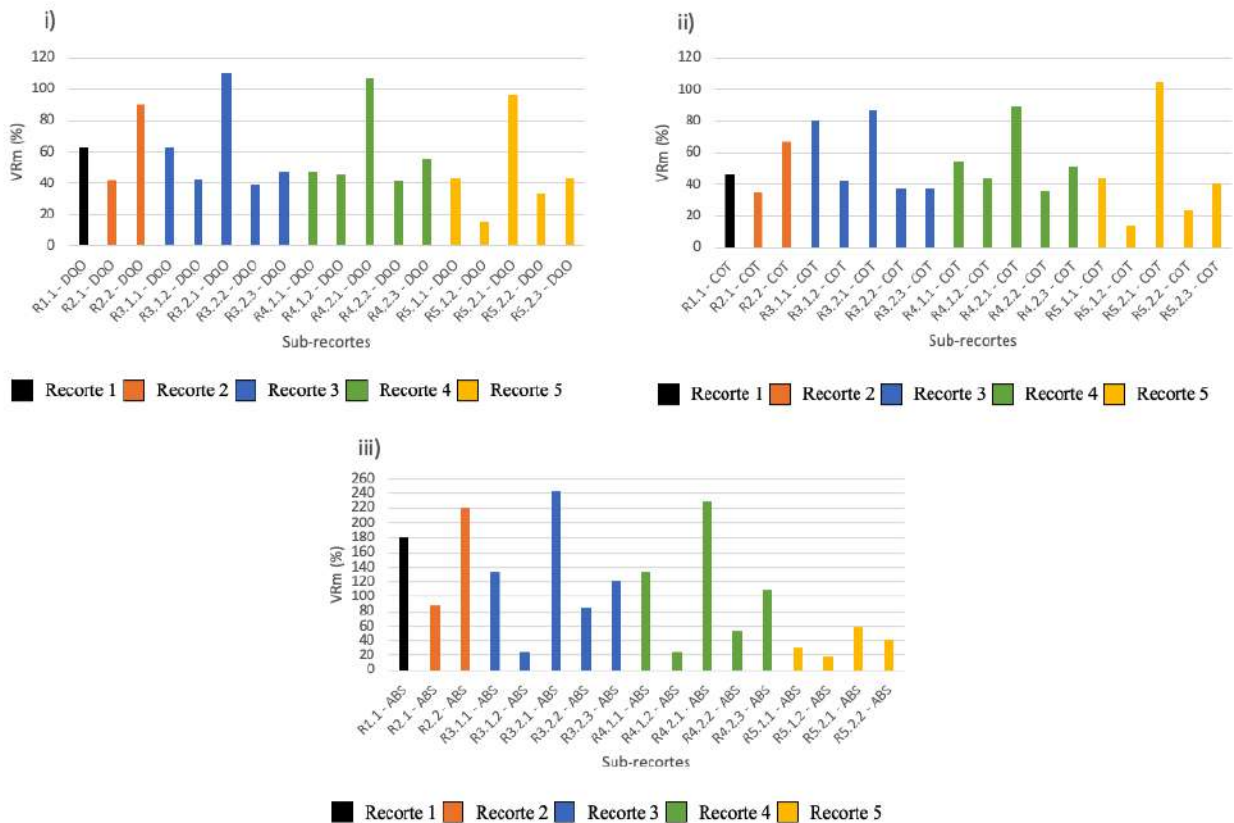
Com esses resultados foi possível entender que seria necessário utilizar os recortes propostos pela metodologia a fim de diminuir a divergência dos valores para gerar as equações de estimativa. Os recortes tiveram os pontos principais dos resultados discutidos em suas respectivas etapas 3, avaliando separadamente tanto estudos de referência, aterros e análises quanto os próprios estudos de validação no recorte 5. No entanto, de forma geral, as VRm apresentaram pouca variação de acordo com as restrições dos recortes nos grupos de valores que geraram as equações, como pode-se constatar na Tabela 36 e Figura 22.

Tabela 36: VRm dos resultados das equações realizadas em cada sub-recorte para cada parâmetro.

Sub-recorte	Descrição do sub-recorte	VRm (%) de equações geradas por valores de		
		DQO	COT	ABS
R1	Todos os valores	62	47	181
R2.1	Costa (2021)	42	35	88
R2.2	Lima (2017)	90	67	220
R3.1.1	Costa (2021) Seropédica	62	81	133
R3.1.2	Costa (2021) Gericinó	42	42	25
R3.2.1	Lima (2017) Seropédica	110	86	244
R3.2.2	Lima (2017) Gericinó	39	37	85
R3.2.3	Lima (2017) Gramacho	48	38	121
R4.1.1	Costa (2021) Seropédica Bruto	47	54	133
R4.1.2	Costa (2021) Gericinó Bruto	46	44	25
R4.2.1	Lima (2017) Seropédica Bruto	107	89	228
R4.2.2	Lima (2017) Gericinó Bruto	41	36	54
R4.2.3	Lima (2017) Gramacho Bruto	56	51	109
R5.1.1	Costa (2021) Seropédica Bruto*	44	44	32
R5.1.2	Costa (2021) Gericinó Bruto*	15	14	18
R5.2.1	Lima (2017) Seropédica Bruto*	97	105	60
R5.2.2	Lima (2017) Gericinó Bruto*	34	23	42
R5.2.3	Lima (2017) Gramacho Bruto*	43	41	-

* Resultados validados apenas com estudos no mesmo aterro que gerou a equação

Figura 22: Gráficos de VRm por equações de cada sub-recorte.



i) Equações geradas por DQO, ii) equações geradas por COT, iii) equações geradas por ABS

Desta forma, também é possível entender algumas tendências. Os valores de VRm para os sub-recortes dos estudos de Lima (2017) em Seropédica (R3.2.1, R4.2.1 e R5.2.1) apresentam picos, demonstram maior imprecisão nas equações geradas com esses sub-recortes. Ao passo que os menores valores de VRm foram encontrados nos estudos de Gericinó (R3.1.2, R3.2.2, R4.1.2, R4.2.2, R5.1.2. e R5.2.2), demonstrando menor variação entre os valores de SH medidos experimentalmente e os resultados das equações geradas por amostras deste aterro.

Com essa análise e tendo em vista que os melhores resultados deste trabalho foram obtidos por equações geradas no sub-recorte R5.1.2, referente aos estudos de Costa (2021) com amostras brutas de Gericinó, entende-se importante avaliar tanto essas equações quanto os valores que as geraram.

IV.2.1. Avaliação das equações com melhores resultados

Os resultados apresentados na etapa 3 do recorte R5 mostram que as equações R5.1.2-DQO, R5.1.2-COT e R5.1.2-ABS apresentaram respectivamente VRm de 15%, 14% e 18%

(Tabela 37), portanto, abaixo do valor limite estipulado no objetivo deste trabalho. No entanto, ao avaliar as equações dispostas na Tabela 37, tem-se que os coeficientes angulares das três são muito baixos (0,00408, 0,04622 e 6,74490 respectivamente) o que torna o parâmetro em questão praticamente irrelevante ao resultado da equação.

Tabela 37: Equações, R^2 e respectivas VRm obtidas pelos parâmetros DQO, COT e ABS após validação na Etapa 2 para o sub-recorte R5.1.2.

Sub-recorte - Parâmetro	Equação	R^2	VRm (%)
R5.1.2 - DQO	$SH = -0,00408 * DQO + 645,06663$	0,00	15
R5.1.2 - COT	$SH = 0,04622 * COT + 602,04615$	0,01	14
R5.1.2 - ABS	$SH = 6,74490 * ABS + 533,87755$	0,31	18

Sendo assim, os resultados dessas equações se tornam praticamente constantes, variando em relação à média no máximo 1% para R5.1.2-DQO, 2% para R5.1.2-COT e 12% para R5.1.2-ABS, de acordo com a Tabela 29. Essas equações, portanto, apenas apresentaram bons valores de VRm pois foram geradas pelas leituras das amostras de lixiviados de Gericinó no estudo de Costa, que como os valores do recorte R5.1.2 (Anexo M) mostram, apresentam poucas variações por já se encontrar em estágio estabilizado. No caso do aterro de Gericinó, essa estabilidade pode ser explicada, entre outros fatores, pelo fato de as operações e recepções de novos RSU terem sido encerradas em 2014.

Isso indica que as equações obtidas são muito pouco abrangentes em relação ao objetivo, sendo válidas para as estimativas de concentrações de SH dos estudos de validação em Gericinó em condições próximas e restritas. Estes pontos, assim como todos os resultados com baixas precisões das outras 36 equações geradas com diferentes validações, indicam a complexidade e especificidades da composição de lixiviados de aterros sanitários, o que torna extremamente difícil o desenvolvimento de uma equação definitiva para estimava de SH a partir de outros parâmetros que seja válida para diferentes aterros em especial aterros jovens, ativos e ainda não estabilizados.

V. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA NOVOS ESTUDOS

O estudo de substâncias húmicas, apesar de já estar presente há algumas décadas em pesquisas acadêmicas e industriais, ainda é muito limitado devido à complexidade e dificuldade de definição dessas estruturas. Isso se dá, em especial, pelo fato de as SH não apresentarem uma fórmula química, configuração ou mesmo grupamentos químicos bem definidos, sendo descritas de forma geral por faixas de massas molares, solubilidades sob diferentes pHs e uma média de características muito abrangentes.

A pequena quantidade de dados sobre essas substâncias torna o estudo não experimental destas substâncias ainda mais difícil. Existe na literatura e mesmo em documentos de órgãos oficiais tanto de âmbito nacional quanto estadual, no caso do Rio de Janeiro, uma grande quantidade de informações e análises químicas de lixiviados de aterros de resíduos sólidos, mas poucos estudos de quantificação de substâncias húmicas apesar da presença de grandes universidades, centros de pesquisa e aterros no estado. Por esse motivo, os resultados apresentados por este trabalho não apresentaram um número ainda maior de análises para sua formulação.

Apesar dessas limitações, foi possível apresentar resultados e análises interessantes e atingir os objetivos propostos ao compilar informações e dados de aterros de resíduos sólidos brasileiros, em especial do estado do Rio de Janeiro, estudos sobre lixiviados e substâncias húmicas. Por fim, também foi possível definir três equações matemáticas que estimam a concentração de SH, com variações relativas médias abaixo de 20%, a partir de parâmetros de baixa complexidade de análise, que era o objetivo deste trabalho, apesar de os resultados dessas equações terem aplicação muito restrita, sendo válidas apenas para o aterro controlado de Gericinó.

Com os resultados aqui obtidos, foi possível concluir que a definição de uma equação única para quantificação de parâmetros de amostras de lixiviados de aterros de resíduos sólidos é extremamente complexa pois estes também o são. Em especial, é necessário salientar que as SH, além da composição física e biológica de cada setor do aterro que gera o lixiviado, é diretamente alterada por fatores como clima da região, volume de precipitações, em especial em períodos próximos à coleta da amostra, atividade e idade do aterro, que causa a estabilização da composição do lixiviado.

Com este estudo, que gerou 39 equações a partir de 3 parâmetros diferentes em 123 amostras de lixiviados de 3 aterros diferentes 18 variações de recortes, conclui-se que não é

possível gerar uma equação para estimar a concentração de substâncias húmicas de forma precisa e abrangente baseando-se apenas em um outro parâmetro de fácil análise. É preciso levar em conta fatores como setor do aterro, condições geográficas, ambientais, meteorológicas e tipologia dos resíduos que geram os lixiviados, pois como descrito durante o trabalho e comprovado nos resultados obtidos nesse estudo, as relações entre parâmetros são dependentes de cada um desses fatores. Como não havia informação suficiente de todos esses parâmetros para todas as amostras disponíveis, as equações aqui obtidas foram limitadas a apenas um aterro com margem de erro ainda elevada e dependente da validação aplicada.

Todo estudo em uma área é também um incentivo para novos estudos e crescimento da cadeia de informações e geração de conhecimento nas ciências. Com essa perspectiva, esse trabalho atinge o objetivo de auxiliar no fomento ao estudo das substâncias húmicas. Em especial entende-se que ao aumentar o nível de conhecimento e análises sobre os lixiviados e suas composições de SH, tem-se novas informações para alcançar a quantificação das substâncias húmicas com satisfatório grau de confiabilidade de formas mais simples e trazendo uma alternativa às metodologias complexas e onerosas de quantificação laboratorial direta. Os resultados aqui encontrados atuam contra um dos principais entraves à novos estudos nessa área do conhecimento.

V.1. Propostas para novos estudos

Propõe-se melhorar as equações realizadas por este trabalho, utilizando a metodologia apresentada para uma quantidade maior de dados de análises de lixiviados para fornecer resultados com menor erro e maior abrangência de amostras, aterros e condições, assim como avaliar a possibilidade da aplicação de regressões lineares múltiplas entre mais de 2 parâmetros. Desta forma ampliando ainda mais o estudo das substâncias húmicas que podem trazer grande impacto tanto ambiental quanto social para o estado do Rio de Janeiro e todo o Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419: 1992. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<http://sites.unicentro.br/wp/educacaoambiental/files/2017/04/NBR-8419.pdf>>. Acesso em: 05 de dez. 2022.

ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2022. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ANTUNES, M.G.; DA SILVA, J. Multivariate curve resolution analysis excitation-emission matrices of fluorescence of humic substances, **Analytica Chimica Acta**, v. 546, p. 52-59, 2005.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: Apha, 2017.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, p.856-881, 2014.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. **Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas: um procedimento simplificado e de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 14p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16).

BRASIL. **Lei 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União. Brasil, 2010. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 24 jan. 2023.

CASTILHOS Jr., A.B. (coord.). Sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário. **PROSAB- LIXO**, 1-125. Santa Catarina. 2006.

CERBATO, F.; ARGOLO, J. Análise técnica e Socioambiental do Aterro Controlado do Município de Amargosa-BA. Entrelaçando – **Revista Eletrônica de Culturas e Educação**, n. 5, ano III, 2012.

CHIN, Y.P.; GSCHWEND, P.M. The abundance, distribution, and configuration of porewater organic colloids in recent sediments. **Geochim. Cosmochim. Acta.** v. 55, p. 1309-1317, 1991.

COSTA, Alyne Moraes. **Avaliação dos principais poluentes presentes em lixiviados de resíduos sólidos urbanos utilizando ensaios de ecotoxicidade.** 2021, Tese (Doutorado em Ciências) Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

DAFLON, S.D.A.; GIORDANO, G., FILHO, O.B. **Avaliação da redução da toxicidade no tratamento do chorume de São Paulo com dois organismos-teste.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA.* nº 12 25 a 28 de set. de 2012, Porto de Galinhas – PE.

DE ALMEIDA, Ronei. **Aplicação de cal e nanofiltração no tratamento de lixiviado de aterro sanitário: avaliação tecnológica e estimativa de custos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

DE ALMEIDA, Ronei et al. **Caracterização físico-química e ecotoxicológica do concentrado de osmose inversa de estação de tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.* nº 14, 2021, Anais eletrônicos. Disponível em: <<https://icongresso.abes-dn.itarget.com.br/anais/index/resultado/index/index/cc/4>>. Acesso em 13 de mar. de 2023

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 685-698, 2015.

DI GIULIO, R.T.; NEWMAN, M.C. Toxicologia ambiental. *In: Fundamentos em ecotoxicologia.* 2ª Ed., Nova York: AMGH, p.391-400, 2012.

DOMMERGUES, Y.; MANGENOT, F. **Écologie microbienne du sol.** Paris: Masson et Cie, Éditeurs, 1970

FADINI, P.S.; FADINI, A.A.B. Lixo: Desafios e compromissos. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**, n. 1, p. 9-18, maio 2001.

FARQUHAR, G. J.; ROVERS, F. A. Gas Production during Refuse Decomposition. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 2, n. 4, p. 483-495, 1973.

FLECK, E. **Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 213 f. Porto Alegre. 2003.

FRANCO, H. A.; PÉREZ, D. V.; THODE FILHO, S.; MARQUES, M. Avaliação do potencial de impacto do lixiviado de aterro sanitário sobre organismos aquáticos. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 3, p. 109-116, 2018

FROLUND, B.; GRIEBE, T.; NIELSEN, P.H. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.43, n.4, p.755-61, 1995.

GRANER, C. A. F.; ZUCCARI, M. L.; PINHO, S. Z. de. Determinação da demanda química de oxigênio em águas por espectrofotometria simultânea dos íons crômio (III) e dicromato. **Eclética Química**, v. 23, n. 1, 1998.

GUARIEIRO, A.L.N.; MADEIRA, C.F.N.M.; DA COSTA, L.F.; OLIVEIRA, M.N.P.B.V. O licenciamento ambiental de uma central de tratamento de resíduos: caso da CTR Seropédica. **Revista Ineana**. v.5, n.1, p.42-57, jul-dez de 2017

HOW Much does a nuclear magnetic resonance (NMR) machine cost? **Anasazi Instruments**. 2022. Disponível em: <<https://www.aiinmr.com/nmr-spectroscopy-q-a-blog/How-much-does-an-Eft-NMR-Cost>>. Acesso em 29 de dez. de 2022

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock> Acesso em 07 de out. de 2022

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock> Acesso em 07 de out. de 2022

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Séries históricas – PIB a preços de mercado – Taxa acumulada em 4 trimestres (%)**, 1º trimestre 1996 – 3º trimestre 2022. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=series-historicas&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib#evolucao-pib> Acesso em 14 de jan. de 2023

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Manual de Gerenciamento Integrado. Lixo Municipal**: 2. ed. São Paulo: 2000. p. 29.

KANG, K.H.; SHIN, H.S.; PARK, H. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. **Water Research**, v. 36, p. 4023–4032, 2002.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F.V. What a waste 2.0. International Bank for Reconstruction and Development / **The World Bank**. Washington, DC, 2018.

KELLEHER, B.P.; SIMPSON, A.J. Humic substances in soils: are they really chemically distinct? **Environmental Science & Technology**. n. 40, p. 4605-4611, 2006.

KJELDSSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. **Journal Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 3, p. 297-336, 2002.

LEITE, Mirella de Andrade Loureiro. **Tratamento de lixiviado de aterros urbanos utilizando o processo Foto-Fenton combinado à coagulação/floculação**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016

LIMA, L.S.M.S.; DE ALMEIDA, R.; QUINTAES, B.R.; BILA, D.M.; CAMPOS, J.C. Evaluation of humic substances removal from leachates originating from solid waste landfills in Rio de Janeiro state, Brazil. **Journal Environmental Science Health A**, v. 52, n. 9, p. 828-836, 2017.

LIMA, Letícia Sobral Maia dos Santos. **Quantificação e remoção de substâncias húmicas em lixiviados provenientes de aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2017, Tese (Doutorado em Processos Químicos e Bioquímicos) Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

LINS, E. A. M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, 2003

LOPES, J.R.A.; DE SOUSA, E.F.; DE MORAIS, L.N.L.; BEZERRA, J.M. **Estimativa do metano e lixiviado do vazadouro a céu aberto de Bom Sucesso/PB**. In: **Encontro regional de sustentabilidade e políticas públicas**. nº 2, 2018, Pau dos Ferros. Anais. Disponível em: <<https://eresppsemiarido.wixsite.com/plandites>>, 2018, p. 225-238.

LOWRY, O. H., ROSEBROUGH, N. J., FARR, A. I.; RANDAL, R.J. (1951) Protein measurement with Folinp-Fenol redent. **J. Biol. Chem.** 193, 265-275.

MARTINS, E.G.M. Coeficiente de determinação. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 1, 30 mar. 2018.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. Nova York, Oxford University Press, 1994.

MEINELT, T.; PLAYLE, R.C.; PIETROCK, M.; BURNISON, B.K.; WIENKE, A.; STEINBERG, C.E.W. Interaction of cadmium toxicity in embryos and larvae of zebrafish (*Danio rerio*) with calcium and humic substances. **Aquatic Toxicology**, v. 54, n. 3-4, p. 205-215, 2001.

MERCK. Sigmaaldrich, 2023. **Amberlite XAD7HP**. Disponível em : <<https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/sigma/xad7>>. Acesso em 13 de mar. de 2023

MORAVIA, Wagner Guadagnin. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. 2010. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010

NASCIMENTO, V.; SOBRAL, A.; ANDRADE, P.; OMETTO, J. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, **Rev. Ambient.** Água, vol.10, R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 385-401, mai. 2021. n.4, 2015.

NIE, X.; FAN, C.; WANG, Z.; SU, T.; LIU, X., NA, T. Toxic assessment of the leachates of paddy soils and river sediments from e-waste dismantling sites to microalga, *Pseudokirchneriella subcapitata*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 111, p. 168-176, 2015.

PEREIRA, Caroline Mitai Marques. **Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado bruto e tratado por processos primário e secundário**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

PEURAVUORI, J.P.; PIHLAJA, K. **Critical comments on accuracy of quantitative determination of natural humic matter by solid state CNMR spectroscopy**. *Talanta* 59: 177-189, 2003.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 7, n. 5, 2011. Disponível em: <<https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/342>>. Acesso em: 12 de out. de 2022.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileira/s**. Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal Hazardous Materials**, v. 150, p. 468-493, 2008.

RICE, J.A.; MacCARTHY, P. A model of humin. **Environ. Sci. Technol.**, v. 24, p. 1875-1877, 1990.

SANTOS, G.A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999

SCHIAVO, J. A. et al. Revegetação de cava de extração de argila com *Acacia mangium*. II – caracterização química da humina. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1163-1171, 2007.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U.; **Humic Substances in the Environment**. Nova York: Marcel Dekker, 1972.

SCHULTEN, H. R; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biol. Fertil. Soils**, n. 26, p.1-15, 1997.

SERAFIM, A. C.; GUSSAKOV, K. C.; SILVA, F.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos**. In: **Fórum de Estudos Contábeis**, nº 3, 2003. Anais. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Chorume-impactos-ambientais-e-possibilidades-de-tratamento.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. de 2022.

SHENG, G. P.; ZHANG, M. L.; YU, H. Q. A rapid quantitative method for humic substances determination in natural waters, **Anal. Chim. Acta**. n. 592, p. 162–167, 2007.

SILVA A.C., BONECKER A.C.T., DEZOTTI M., SANT’ANNA JR, G.L. **Avaliação da Sensibilidade de Brachydanio rerio e Poecilia vivipara (Pisces) ao chorume do aterro de Gramacho/RJ**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**. nº 22, Joinville. Anais. Joinville, 2003.

SILVA, Claudinor de Oliveira. **Resíduos sólidos: Uma problemática do nosso dia**. União dos Palmares: Clube de Autores, 2014.

SILVA, F. B. **Tratamento Combinado de Lixiviados de Aterros Sanitários**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - Escola de Química - UFRJ 2009.

ŠIR, M.; PODHOLA, M.; PATOCKA, T.; HON AJKOVA; KOCUREK, P.; KUBAL, M.; KURAS, M. The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 207–208, p. 86–90, 2012.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**. 2020. Disponível em: < <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>> Acesso em 07 de out. de 2022

SOARES, R.P. **Caracterização geoquímica dos solos lateríticos da área do sítio de disposição final de resíduos sólidos urbanos de Londrina, PR**. 155p + anexos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, 2006.

SOUTO, G. D. B. **Lixiviados de Aterros Sanitários Brasileiros – Estudo de Remoção do Nitrogênio Amoniacal por Processo de Arraste de Ar (“stripping”)**. Tese – Universidade de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

SOUTO, G.B.; POVINELLI, J. **Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, nº 24, 2007, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte 2–7 de set. de 2007.

TANGERINO, E.P.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e FiME. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.10, n.4, p. 290-298, 2005

VELLOSO, M.P. Os restos na história: percepções sobre resíduos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, n. 6, p. 1953-1964, 2008.

VERGARA, S.E.; TCHOBANOGLOUS, G. Municipal Solid Waste and Environment: A global perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 277-309, 2012.

WENG, L. et al. Adsorption of Humic Substances on Goethite: Comparision between Himuc Acids and Fulvic Acids. **Environ. Sci. Technol.**, v. 40, p. 7494-7500, 2006.

WHAT are humic substances. **IHSS – International Humic Substances Society**, 2007. Disponível em: <<https://humic-substances.org/what-are-humic-substances-2/>>. Acesso em 05 de dez. de 2022.

WILSON, D.C. Development drivers for waste management, **Waste Management & Research**, v. 25, n. 3, p. 198-207, 2007

WORRELL, W.; VESILIND, P. **Solid waste engineering**. Ed. 2. Stanford: Cengage Learning, 2011

ZHANG, Q.Q.; TIAN, B.H.; ZHANG, X.; GHULAM, A.; FANG, C.R.; HE, R. Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. **Waste management**, v. 33, n. 11, p. 2277-2286, 2013.

ANEXOS

ANEXO A - RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE LIMA (2017) – (Continua)

Situação da Amostra	Aterro	Data da coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm	Cor verdadeira (mg Pt-Co/L)	AH (mg/L)	AF (mg/L)
Bruto	Gericinó	Ago. 2013	618	1515	555	11,79	5241	411	201
		Fev. 2014	836	2063	783	14,05	5580	552	271
		Set. 2014	885	2131	816	18,8	5679	590	287
		Abr. 2015	838	2263	871	13,71	5398	565	279
		Set. 2015	738	1715	671	11,83	4377	499	247
		Jan. 2016	701	970	377	5,09	2815	466	230
	Gramacho	Out. 2012	1403	3303	1261	23,11	7332	879	516
		Set. 2013	1184	3049	1132	19,48	7721	743	438
		Jan. 2014	1481	3375	1297	23,46	7897	930	544
		Jul. 2014	1310	2665	1035	20,03	7332	821	481
		Mar. 2015	1156	1998	782	14,05	6549	723	420
		Nov. 2015	1007	1801	693	6,98	5643	631	369
	Seropédica	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5	4731	1124	920
		Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9	5028	1597	1216
		Jan. 2015	2947	3680	1410	30	4913	1570	1374
		Jun. 2015	3243	4051	1555	33	5502	1786	1455
		Nov. 2015	3342	4178	1601	37	5974	1839	1501
		Jan. 2016	3053	3816	1464	31	5118	1678	1375
500 mg coag./L	Seropédica	Fev. 2014	1513	1884	727	15,74	2885	830	680
		Ago. 2014	2111	2554	989	19,94	3065	1120	991
		Jan. 2015	2210	2686	1088	22,07	2996	1211	997
		Jun. 2015	2399	2935	1150	23,74	3322	1318	1080
		Nov. 2015	2473	3027	1248	26,66	3714	1358	1115
		Jan. 2016	2259	2872	1100	22,44	3221	1241	1018
1000 mg coag./L	Seropédica	Fev. 2014	1288	1526	570	12,22	2460	707	580
		Ago. 2014	1801	2145	758	15,56	2656	990	808
		Jan. 2015	1886	2281	915	17,09	2557	1037	850
		Jun. 2015	2107	2358	947	18,71	2961	1158	950
		Nov. 2015	2172	2508	977	20,09	3268	1191	977
		Jan. 2016	1953	2415	983	18,35	2761	1077	874
1500 mg coag./L	Seropédica	Fev. 2014	981	1150	501	9,87	1758	538	440
		Ago. 2014	1408	1757	675	12,88	1959	777	630
		Jan. 2015	1473	1848	739	13,37	1709	810	661
		Jun. 2015	1636	1943	799	14,69	2075	899	736
		Nov. 2015	1704	2111	826	17,11	2209	941	764
		Jan. 2016	1526	225	768	15,1	1891	838	688
2000 mg coag./L	Gericinó	Ago. 2013	204	619	222	2,82	881	160	61
		Fev. 2014	276	907	321	3,65	1060	218	81
		Set. 2014	295	937	359	5,26	1133	239	92
		Abr. 2015	279	1018	383	3,56	917	229	89
		Set. 2015	247	703	268	2,83	656	199	79
		Jan. 2016	231	378	143	0,82	337	186	74
	Gramacho	Out. 2012	561	982	592	6,55	1393	360	219
		Set. 2013	474	884	509	5,25	1621	297	185
		Jan. 2014	593	1012	609	7,04	1737	381	23
		Jul. 2014	524	746	455	5,4	1466	347	20
		Mar. 2015	462	519	328	3,51	1244	148	181
		Nov. 2015	403	450	277	1,71	1015	259	158
	Seropédica	Fev. 2014	829	896	462	7,75	1372	455	371
		Ago. 2014	1238	1370	611	10,36	1558	681	555
		Jan. 2015	1296	1410	687	10,77	1477	713	581

ANEXO A - RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE LIMA (2017) – (Conclusão)

Situação da Amostra	Aterro	Data da coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm	Cor verdadeira (mg Pt-Co/L)	AH (mg/L)	AF (mg/L)
2000 mg coag./L	Seropédica	Jun. 2015	1492	1579	718	11,89	1695	820	671
		Nov. 2015	1537	1713	775	13,31	1932	845	691
		Jan. 2016	1343	1703	699	11,45	1584	737	604
2500 mg coag./L	Gericinó	Ago. 2013	148	506	172	2,01	616	132	45
		Fev. 2014	200	743	250	2,66	781	182	59
		Set. 2014	213	767	285	3,95	851	200	69
		Abr. 2015	201	837	304	2,6	648	191	67
		Set. 2015	175	566	208	2,01	438	165	59
		Jan. 2016	163	301	109	0,82	253	154	55
	Gramacho	Out. 2012	408	839	447	4,53	1026	258	177
		Set. 2013	345	762	387	3,5	1235	218	149
		Jan. 2014	430	877	467	4,93	1342	278	185
		Jul. 2014	380	639	341	3,6	1026	257	164
		Mar. 2015	336	439	279	2,25	852	207	145
		Nov. 2015	295	396	201	1,11	621	181	127
	Seropédica	Fev. 2014	655	766	354	5,17	1041	362	294
		Ago. 2014	957	1155	436	7,18	1207	527	430
		Jan. 2015	1001	1180	545	8,01	1180	551	451
		Jun. 2015	1167	1336	598	9,09	1410	652	526
		Nov. 2015	1203	1388	602	10,14	1482	661	543
		Jan. 2016	1038	1381	594	8,25	1225	573	466
3000 mg coag./L	Gericinó	Ago. 2013	93	305	122	1,7	360	110	20
		Fev. 2014	126	475	180	1,94	502	160	30
		Set. 2014	134	490	220	2,52	568	177	37
		Abr. 2015	122	543	235	1,91	432	169	33
		Set. 2015	106	343	154	1,65	306	145	27
		Jan. 2016	100	175	80	0,74	169	130	25
	Gramacho	Out. 2012	251	679	315	3,69	633	237	68
		Set. 2013	214	610	260	2,72	849	193	53
		Jan. 2014	266	708	324	3,99	948	251	71
		Jul. 2014	235	533	238	2,8	660	222	58
		Mar. 2015	208	379	180	1,69	524	181	55
		Nov. 2015	182	342	145	0,83	452	158	44
	Seropédica	Fev. 2014	511	645	299	4,46	570	281	211
		Ago. 2014	760	1089	401	6,04	663	422	317
		Jan. 2015	795	1100	460	6,62	596	441	345
		Jun. 2015	940	1166	463	7,15	760	517	394
		Nov. 2015	969	1199	491	8,21	828	533	405
		Jan. 2016	823	1308	493	6,95	714	454	344

ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DE REFERÊNCIA DE COSTA (2021)

Situação da amostra	Aterro	Data da coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	COT (mg C/L)	Abs. 254 nm	NAT (mg N-NH ₃ /L)	Cor Verdadeira (mg Pt-Co/L)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Turbidez (NTU)	pH
Bruto	Seropédica	Fev. 2017	2037	4546	2089	33	2007	5560	10017	160	8,2
		Nov. 2017	2012	4787	1822	37	2295	6220	11626	327	8,18
		Jun. 2018	2056	5133	1861	33	1763	4422	12872	260	8,23
		Ago. 2018	2191	5275	1987	35	1681	3075	13166	129	8,17
		Fev. 2019	1329	3267	1156	25	2489	5520	8622	77	8,05
	Mar. 2020	1983	4261	1552	26	1278	4580	11562	688	8,13	
	Gericinó	Out. 2017	668	2250	807	20	1518	4710	3807	6,8	8,05
		Mar. 2018	651	2383	852	11	1576	2457	4479	9,2	7,8
		Jul. 2018	586	2213	798	15	1540	3457	4218	5,7	8,01
		Nov. 2018	688	1850	647	18	866	2638	1830	7,6	8,41
Abr. 2019		589	1913	612	12	1380	2560	4927	3,1	8,19	
Pós arraste NAT	Seropédica	Fev. 2017	1985	4556	2939	-	0,21	-	9857	-	-
		Nov. 2017	1941	4063	1373	-	0,27	-	10966	-	-
		Jun. 2018	1891	4265	1612	-	0,24	-	12320	-	-
		Ago. 2018	1998	4386	1541	-	0,21	-	12647	-	-
		Fev. 2019	1283	2610	1015	-	0,3	-	8492	-	-
	Mar. 2020	1937	3559	1284	-	0,26	-	11394	-	-	
	Gericinó	Out. 2017	606	1920	513	-	0,22	-	3450	-	-
		Mar. 2018	604	1981	608	-	0,19	-	4267	-	-
		Jul. 2018	541	1915	614	-	0,21	-	4021	-	-
		Nov. 2018	631	1624	412	-	0,25	-	1662	-	-
Abr. 2019		558	1758	450	-	0,24	-	4581	-	-	
Pós arraste alcalinidade	Seropédica	Fev. 2017	2015	5320	1866	-	1896	-	-	-	-
		Nov. 2017	1998	4505	1752	-	2058	-	-	-	-
		Jun. 2018	1978	4985	1873	-	1596	-	-	-	-
		Ago. 2018	1983	5070	1749	-	1552	-	-	-	-
		Fev. 2019	1320	3019	1226	-	2290	-	-	-	-
	Mar. 2020	1957	4042	1612	-	1140	-	-	-	-	
	Gericinó	Out. 2017	634	1947	708	-	1380	-	-	-	-
		Mar. 2018	621	2160	826	-	1363	-	-	-	-
		Jul. 2018	530	1972	657	-	1218	-	-	-	-
		Nov. 2018	665	1625	617	-	788	-	-	-	-
Abr. 2019		558	1722	583	-	1207	-	-	-	-	

**ANEXO C – RESULTADOS E INFORMAÇÕES DAS ANÁLISES REALIZADAS
EM AMOSTRAS BRUTAS DOS ESTUDOS DE VALIDAÇÃO**

Amostra	Estudo	Aterro	Data da coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
VAL1	Alfaia, 2019	Gericinó	Out. 2015	572	2113	413	19,27
VAL2	Alfaia, 2019	Gericinó	Abr. 2017	544	1657	505	18,62
VAL3	Alfaia, 2019	Gericinó	Ago. 2017	560	1460	460	24,7
VAL4	Alfaia, 2019	Gericinó	Out. 2018	650	2653	711	26,8
VAL5	Almeida, 2018	Seropédica	Nov. 2017	1466	4522	2154	26,7
VAL6	Pereira, 2013	Gramacho	2012	2093,3	3009	1375	-
VAL7	Pereira, 2013	Gramacho	2012	2268,3	2882	1486	-
VAL8	Pereira, 2013	Gramacho	2012	2436,6	2978,6	1347	-
VAL9	Pereira, 2013	Gramacho	2012	2521,6	2829,3	1002	-
VAL10	Pereira, 2013	Gramacho	2012	2286,6	2922,3	829,1	-
VAL11	Leite, 2016	AS – Altinho/PE	NC	1957	7890,01	2886	-
VAL12	Leite, 2016	AC – Muribeca/PE	NC	512	1225,49	702	-
VAL13	Almeida et al., 2021	Seropédica	2019	2987	9010	-	-
VAL14	Moravia, 2010	CTRS - Belo Horizonte/MG	2009	646	2354	-	-
VAL 15	Lima, 2017	Seropédica	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5
VAL 16	Lima, 2017	Seropédica	Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9
VAL 17	Lima, 2017	Seropédica	Jan. 2015	2947	3680	1410	30
VAL 18	Lima, 2017	Seropédica	Jun. 2015	3243	4051	1555	33
VAL 19	Lima, 2017	Seropédica	Nov. 2015	3342	4178	1601	37
VAL 20	Lima, 2017	Seropédica	Jan. 2016	3053	3816	1464	31
VAL 21	Lima, 2017	Gericinó	Ago. 2013	618	1515	555	11,79
VAL 22	Lima, 2017	Gericinó	Fev. 2014	836	2063	783	14,05
VAL 23	Lima, 2017	Gericinó	Set. 2014	885	2131	816	18,8
VAL 24	Lima, 2017	Gericinó	Abr. 2015	838	2263	871	13,71
VAL 25	Lima, 2017	Gericinó	Set. 2015	738	1715	671	11,83
VAL 26	Lima, 2017	Gericinó	Jan. 2016	701	970	377	5,09
VAL 27	Costa, 2021	Seropédica	Fev. 2017	2037	4546	2089	33
VAL 28	Costa, 2021	Seropédica	Nov. 2017	2012	4787	1822	37
VAL 29	Costa, 2021	Seropédica	Jun. 2018	2056	5133	1861	33
VAL 30	Costa, 2021	Seropédica	Ago. 2018	2191	5275	1987	35
VAL 31	Costa, 2021	Seropédica	Fev. 2019	1329	3267	1156	25
VAL 32	Costa, 2021	Seropédica	Mar. 2020	1983	4261	1552	26
VAL 33	Costa, 2021	Gericinó	Out. 2017	668	2250	807	20
VAL 34	Costa, 2021	Gericinó	Mar. 2018	651	2383	852	11
VAL 35	Costa, 2021	Gericinó	Jul. 2018	586	2213	798	15
VAL 36	Costa, 2021	Gericinó	Nov. 2018	688	1850	647	18
VAL 37	Costa, 2021	Gericinó	Abr. 2019	589	1913	612	12

*NC: Dado não consta no estudo, AS: Aterro sanitário, AC: Aterro controlado, CTRS: Centro de tratamento de resíduos sólidos

**ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021) E LIMA (2017) – (Continua)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Abr. 2019	589	1913	612	12
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Abr. 2019	558	1722	583	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Abr. 2019	558	1758	450	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Ago. 2018	2191	5275	1987	35
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Ago. 2018	1983	5070	1749	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Ago. 2018	1998	4386	1541	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2017	2037	4546	2089	33
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2017	2015	5320	1866	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2017	1985	4556	2939	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2019	1329	3267	1156	25
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2019	1320	3019	1226	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2019	1283	2610	1015	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Jul. 2018	586	2213	798	15
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Jul. 2018	2056	5133	1861	33
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Jul. 2018	530	1972	657	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Jul. 2018	1978	4985	1873	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Jul. 2018	541	1915	614	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Jul. 2018	1891	4265	1612	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Mar. 2018	651	2383	852	11
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Mar. 2018	621	2160	826	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Mar. 2018	604	1981	608	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Mar. 2020	1983	4261	1552	26
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Mar. 2020	1957	4042	1612	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Mar. 2020	1937	3559	1284	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Nov. 2017	2012	4787	1822	37
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Nov. 2017	1998	4505	1752	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Nov. 2017	1941	4063	1373	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Nov. 2018	688	1850	647	18
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Nov. 2018	665	1625	617	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Nov. 2018	631	1624	412	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Out. 2017	668	2250	807	20
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Out. 2017	634	1947	708	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Out. 2017	606	1920	513	
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag./L	Abr. 2015	279	1018	383	3,56
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag./L	Abr. 2015	201	837	304	2,6
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag./L	Abr. 2015	122	543	235	1,91
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Abr. 2015	838	2263	871	13,71
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag./L	Ago. 2013	204	619	222	2,82
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Ago. 2013	148	506	172	2,01
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Ago. 2013	93	305	122	1,7
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Ago. 2013	618	1515	555	11,79
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Ago. 2014	2111	2554	989	19,94
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Ago. 2014	1801	2145	758	15,56
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Ago. 2014	1408	1757	675	12,88
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Ago. 2014	1238	1370	611	10,36
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Ago. 2014	957	1155	436	7,18
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Ago. 2014	760	1089	401	6,04
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Fev. 2014	1513	1884	727	15,74
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Fev. 2014	1288	1526	570	12,22
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Fev. 2014	981	1150	501	9,87
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	276	907	321	3,65

**ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021) E LIMA (2017) – (Continua)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	829	896	462	7,75
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	200	743	250	2,66
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	655	766	354	5,17
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	126	475	180	1,94
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	511	645	299	4,46
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Fev. 2014	836	2063	783	14,05
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jan. 2014	593	1012	609	7,04
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jan. 2014	430	877	467	4,93
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jan. 2014	266	708	324	3,99
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jan. 2014	1481	3375	1297	23,46
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2015	2210	2686	1088	22,07
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2015	1886	2281	915	17,09
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2015	1473	1848	739	13,37
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2015	1296	1410	687	10,77
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2015	1001	1180	545	8,01
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2015	795	1100	460	6,62
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2015	2947	3680	1410	30
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2016	2259	2872	1100	22,44
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2016	1953	2415	983	18,35
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2016	1526	225	768	15,1
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	231	378	143	0,82
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	1343	1703	699	11,45
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	163	301	109	0,82
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	1038	1381	594	8,25
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	100	175	80	0,74
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	823	1308	493	6,95
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Jan. 2016	701	970	377	5,09
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2016	3053	3816	1464	31
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jul. 2014	524	746	455	5,4
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jul. 2014	380	639	341	3,6
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jul. 2014	235	533	238	2,8
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jul. 2014	1310	2665	1035	20,03
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jun. 2015	2399	2935	1150	23,74
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jun. 2015	2107	2358	947	18,71
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jun. 2015	1636	1943	799	14,69
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jun. 2015	1492	1579	718	11,89
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jun. 2015	1167	1336	598	9,09
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jun. 2015	940	1166	463	7,15
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jun. 2015	3243	4051	1555	33
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Mar. 2015	462	519	328	3,51
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Mar. 2015	336	439	279	2,25
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Mar. 2015	208	379	180	1,69
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Mar. 2015	1156	1998	782	14,05
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Nov. 2015	2473	3027	1248	26,66
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Nov. 2015	2172	2508	977	20,09
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Nov. 2015	1704	2111	826	17,11
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	403	450	277	1,71
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	1537	1713	775	13,31
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	295	396	201	1,11
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	1203	1388	602	10,14
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	182	342	145	0,83

**ANEXO D – RECORTE 1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021) E LIMA (2017) – (Conclusão)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	969	1199	491	8,21
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Nov. 2015	1007	1801	693	6,98
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Nov. 2015	3342	4178	1601	37
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Out. 2012	561	982	592	6,55
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Out. 2012	408	839	447	4,53
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Out. 2012	251	679	315	3,69
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Out. 2012	1403	3303	1261	23,11
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Set. 2013	474	884	509	5,25
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Set. 2013	345	762	387	3,5
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Set. 2013	214	610	260	2,72
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Set. 2013	1184	3049	1132	19,48
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2014	295	937	359	5,26
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2014	213	767	285	3,95
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2014	134	490	220	2,52
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2014	885	2131	816	18,8
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2015	247	703	268	2,83
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2015	175	566	208	2,01
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2015	106	343	154	1,65
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2015	738	1715	671	11,83

**ANEXO E – RECORTE 2.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Mar. 2020	1983	4261	1552	26
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Mar. 2020	1937	3559	1284	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Mar. 2020	1957	4042	1612	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2019	1329	3267	1156	25
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2019	1283	2610	1015	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2019	1320	3019	1226	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Abr. 2019	589	1913	612	12
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Abr. 2019	558	1758	450	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Abr. 2019	558	1722	583	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Nov. 2018	688	1850	647	18
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Nov. 2018	631	1624	412	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Nov. 2018	665	1625	617	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Ago. 2018	2191	5275	1987	35
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Ago. 2018	1998	4386	1541	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Ago. 2018	1983	5070	1749	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Jun. 2018	2056	5133	1861	33
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Jun. 2018	1891	4265	1612	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Jun. 2018	1978	4985	1873	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Jul. 2018	586	2213	798	15
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Jul. 2018	541	1915	614	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Jul. 2018	530	1972	657	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Nov. 2017	2012	4787	1822	37
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Nov. 2017	1941	4063	1373	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Nov. 2017	1998	4505	1752	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Mar. 2018	651	2383	852	11
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Mar. 2018	604	1981	608	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Mar. 2018	621	2160	826	
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Out. 2017	668	2250	807	20
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Out. 2017	606	1920	513	
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Out. 2017	634	1947	708	
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2017	2037	4546	2089	33
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2017	1985	4556	2939	
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2017	2015	5320	1866	

**ANEXO F – RECORTE 2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA
(2017) – (Continua)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Ago. 2013	618	1515	555	11,79
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Fev. 2014	836	2063	783	14,05
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2014	885	2131	816	18,8
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Abr. 2015	838	2263	871	13,71
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2015	738	1715	671	11,83
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Jan. 2016	701	970	377	5,09
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Ago. 2013	204	619	222	2,82
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	276	907	321	3,65
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2014	295	937	359	5,26
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Abr. 2015	279	1018	383	3,56
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2015	247	703	268	2,83
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	231	378	143	0,82
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Ago. 2013	148	506	172	2,01
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	200	743	250	2,66
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2014	213	767	285	3,95
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Abr. 2015	201	837	304	2,6
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2015	175	566	208	2,01
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	163	301	109	0,82
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Ago. 2013	93	305	122	1,7
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	126	475	180	1,94
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2014	134	490	220	2,52
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Abr. 2015	122	543	235	1,91
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2015	106	343	154	1,65
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	100	175	80	0,74
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Out. 2012	1403	3303	1261	23,11
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Set. 2013	1184	3049	1132	19,48
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jan. 2014	1481	3375	1297	23,46
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jul. 2014	1310	2665	1035	20,03
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Mar. 2015	1156	1998	782	14,05
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Nov. 2015	1007	1801	693	6,98
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Out. 2012	561	982	592	6,55
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Set. 2013	474	884	509	5,25
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jan. 2014	593	1012	609	7,04
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jul. 2014	524	746	455	5,4
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Mar. 2015	462	519	328	3,51
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	403	450	277	1,71
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Out. 2012	408	839	447	4,53
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Set. 2013	345	762	387	3,5
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jan. 2014	430	877	467	4,93
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jul. 2014	380	639	341	3,6
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Mar. 2015	336	439	279	2,25
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	295	396	201	1,11
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Out. 2012	251	679	315	3,69
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Set. 2013	214	610	260	2,72
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jan. 2014	266	708	324	3,99
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jul. 2014	235	533	238	2,8
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Mar. 2015	208	379	180	1,69
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	182	342	145	0,83
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2015	2947	3680	1410	30
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jun. 2015	3243	4051	1555	33

**ANEXO F – RECORTE 2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA
(2017) – (Conclusão)**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Nov. 2015	3342	4178	1601	37
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2016	3053	3816	1464	31
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Fev. 2014	1513	1884	727	15,74
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Ago. 2014	2111	2554	989	19,94
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2015	2210	2686	1088	22,07
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jun. 2015	2399	2935	1150	23,74
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Nov. 2015	2473	3027	1248	26,66
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2016	2259	2872	1100	22,44
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Fev. 2014	1288	1526	570	12,22
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Ago. 2014	1801	2145	758	15,56
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2015	1886	2281	915	17,09
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jun. 2015	2107	2358	947	18,71
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Nov. 2015	2172	2508	977	20,09
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2016	1953	2415	983	18,35
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Fev. 2014	981	1150	501	9,87
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Ago. 2014	1408	1757	675	12,88
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2015	1473	1848	739	13,37
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jun. 2015	1636	1943	799	14,69
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Nov. 2015	1704	2111	826	17,11
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2016	1526	225	768	15,1
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	829	896	462	7,75
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Ago. 2014	1238	1370	611	10,36
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2015	1296	1410	687	10,77
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jun. 2015	1492	1579	718	11,89
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	1537	1713	775	13,31
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	1343	1703	699	11,45
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	655	766	354	5,17
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Ago. 2014	957	1155	436	7,18
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2015	1001	1180	545	8,01
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jun. 2015	1167	1336	598	9,09
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	1203	1388	602	10,14
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	1038	1381	594	8,25
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	511	645	299	4,46
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Ago. 2014	760	1089	401	6,04
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2015	795	1100	460	6,62
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jun. 2015	940	1166	463	7,15
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	969	1199	491	8,21
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	823	1308	493	6,95

**ANEXO G – RECORTE 3.1.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2017	2037	4546	2089	33
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Nov. 2017	2012	4787	1822	37
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Jul. 2018	2056	5133	1861	33
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Ago. 2018	2191	5275	1987	35
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2019	1329	3267	1156	25
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Mar. 2020	1983	4261	1552	26
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2017	1985	4556	2939	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Nov. 2017	1941	4063	1373	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Jul. 2018	1891	4265	1612	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Ago. 2018	1998	4386	1541	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Fev. 2019	1283	2610	1015	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste NAT	Mar. 2020	1937	3559	1284	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2017	2015	5320	1866	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Nov. 2017	1998	4505	1752	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Jul. 2018	1978	4985	1873	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Ago. 2018	1983	5070	1749	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Fev. 2019	1320	3019	1226	-
Costa, 2021	Seropédica	Pós arraste Alc.	Mar. 2020	1957	4042	1612	-

**ANEXO H – RECORTE 3.1.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA
(2021) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GERICINÓ**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Out. 2017	668	2250	807	20
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Mar. 2018	651	2383	852	11
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Jul. 2018	586	2213	798	15
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Nov. 2018	688	1850	647	18
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Abr. 2019	589	1913	612	12
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Out. 2017	606	1920	513	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Mar. 2018	604	1981	608	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Jul. 2018	541	1915	614	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Nov. 2018	631	1624	412	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste NAT	Abr. 2019	558	1758	450	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Out. 2017	634	1947	708	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Mar. 2018	621	2160	826	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Jul. 2018	530	1972	657	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Nov. 2018	665	1625	617	-
Costa, 2021	Gericinó	Pós arraste Alc.	Abr. 2019	558	1722	583	-

**ANEXO I – RECORTE 3.2.1 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA
(2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2015	2947	3680	1410	30
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jun. 2015	3243	4051	1555	33
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Nov. 2015	3342	4178	1601	37
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2016	3053	3816	1464	31
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Fev. 2014	1513	1884	727	15,74
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Ago. 2014	2111	2554	989	19,94
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2015	2210	2686	1088	22,07
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jun. 2015	2399	2935	1150	23,74
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Nov. 2015	2473	3027	1248	26,66
Lima, 2017	Seropédica	500 mg coag. /L	Jan. 2016	2259	2872	1100	22,44
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Fev. 2014	1288	1526	570	12,22
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Ago. 2014	1801	2145	758	15,56
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2015	1886	2281	915	17,09
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jun. 2015	2107	2358	947	18,71
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Nov. 2015	2172	2508	977	20,09
Lima, 2017	Seropédica	1000 mg coag. /L	Jan. 2016	1953	2415	983	18,35
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Fev. 2014	981	1150	501	9,87
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Ago. 2014	1408	1757	675	12,88
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2015	1473	1848	739	13,37
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jun. 2015	1636	1943	799	14,69
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Nov. 2015	1704	2111	826	17,11
Lima, 2017	Seropédica	1500 mg coag. /L	Jan. 2016	1526	225	768	15,1
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	829	896	462	7,75
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Ago. 2014	1238	1370	611	10,36
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2015	1296	1410	687	10,77
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jun. 2015	1492	1579	718	11,89
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	1537	1713	775	13,31
Lima, 2017	Seropédica	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	1343	1703	699	11,45
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	655	766	354	5,17
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Ago. 2014	957	1155	436	7,18
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2015	1001	1180	545	8,01
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jun. 2015	1167	1336	598	9,09
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	1203	1388	602	10,14
Lima, 2017	Seropédica	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	1038	1381	594	8,25
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	511	645	299	4,46
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Ago. 2014	760	1089	401	6,04
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2015	795	1100	460	6,62
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jun. 2015	940	1166	463	7,15
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	969	1199	491	8,21
Lima, 2017	Seropédica	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	823	1308	493	6,95

**ANEXO J – RECORTE 3.2.2 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA
(2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GERICINÓ**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Ago. 2013	618	1515	555	11,79
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Fev. 2014	836	2063	783	14,05
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2014	885	2131	816	18,8
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Abr. 2015	838	2263	871	13,71
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2015	738	1715	671	11,83
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Jan. 2016	701	970	377	5,09
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Ago. 2013	204	619	222	2,82
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Fev. 2014	276	907	321	3,65
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2014	295	937	359	5,26
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Abr. 2015	279	1018	383	3,56
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Set. 2015	247	703	268	2,83
Lima, 2017	Gericinó	2000 mg coag. /L	Jan. 2016	231	378	143	0,82
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Ago. 2013	148	506	172	2,01
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Fev. 2014	200	743	250	2,66
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2014	213	767	285	3,95
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Abr. 2015	201	837	304	2,6
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Set. 2015	175	566	208	2,01
Lima, 2017	Gericinó	2500 mg coag. /L	Jan. 2016	163	301	109	0,82
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Ago. 2013	93	305	122	1,7
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Fev. 2014	126	475	180	1,94
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2014	134	490	220	2,52
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Abr. 2015	122	543	235	1,91
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Set. 2015	106	343	154	1,65
Lima, 2017	Gericinó	3000 mg coag. /L	Jan. 2016	100	175	80	0,74

**ANEXO K – RECORTE 3.2.3 - TODAS AS ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA
(2017) COM AMOSTRAS DO ATERRO DE GRAMACHO**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Out. 2012	1403	3303	1261	23,11
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Set. 2013	1184	3049	1132	19,48
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jan. 2014	1481	3375	1297	23,46
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jul. 2014	1310	2665	1035	20,03
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Mar. 2015	1156	1998	782	14,05
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Nov. 2015	1007	1801	693	6,98
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Out. 2012	561	982	592	6,55
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Set. 2013	474	884	509	5,25
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jan. 2014	593	1012	609	7,04
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Jul. 2014	524	746	455	5,4
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Mar. 2015	462	519	328	3,51
Lima, 2017	Gramacho	2000 mg coag. /L	Nov. 2015	403	450	277	1,71
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Out. 2012	408	839	447	4,53
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Set. 2013	345	762	387	3,5
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jan. 2014	430	877	467	4,93
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Jul. 2014	380	639	341	3,6
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Mar. 2015	336	439	279	2,25
Lima, 2017	Gramacho	2500 mg coag. /L	Nov. 2015	295	396	201	1,11
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Out. 2012	251	679	315	3,69
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Set. 2013	214	610	260	2,72
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jan. 2014	266	708	324	3,99
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Jul. 2014	235	533	238	2,8
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Mar. 2015	208	379	180	1,69
Lima, 2017	Gramacho	3000 mg coag. /L	Nov. 2015	182	342	145	0,83

**ANEXO L – RECORTE 4.1.1 - ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021)
COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2017	2037	4546	2089	33
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Nov. 2017	2012	4787	1822	37
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Jul. 2018	2056	5133	1861	33
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Ago. 2018	2191	5275	1987	35
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Fev. 2019	1329	3267	1156	25
Costa, 2021	Seropédica	Bruto	Mar. 2020	1983	4261	1552	26

**ANEXO M – RECORTE 4.1.2 - ANÁLISES REALIZADAS POR COSTA (2021)
COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GERICINÓ**

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Out. 2017	668	2250	807	20
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Mar. 2018	651	2383	852	11
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Jul. 2018	586	2213	798	15
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Nov. 2018	688	1850	647	18
Costa, 2021	Gericinó	Bruto	Abr. 2019	589	1913	612	12

ANEXO N – RECORTE 4.2.1 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE SEROPÉDICA

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Fev. 2014	2045	2556	983	23,5
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Ago. 2014	2815	3515	1351	27,9
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2015	2947	3680	1410	30
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jun. 2015	3243	4051	1555	33
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Nov. 2015	3342	4178	1601	37
Lima, 2017	Seropédica	Bruto	Jan. 2016	3053	3816	1464	31

ANEXO O – RECORTE 4.2.2 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GERICINÓ

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Ago. 2013	618	1515	555	11,79
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Fev. 2014	836	2063	783	14,05
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2014	885	2131	816	18,8
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Abr. 2015	838	2263	871	13,71
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Set. 2015	738	1715	671	11,83
Lima, 2017	Gericinó	Bruto	Jan. 2016	701	970	377	5,09

ANEXO P – RECORTE 4.2.3 - ANÁLISES REALIZADAS POR LIMA (2017) COM AMOSTRAS BRUTAS DO ATERRO DE GRAMACHO

Estudo	Aterro	Situação da amostra	Data de coleta	SH (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)	ABS 254 nm
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Out. 2012	1403	3303	1261	23,11
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Set. 2013	1184	3049	1132	19,48
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jan. 2014	1481	3375	1297	23,46
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Jul. 2014	1310	2665	1035	20,03
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Mar. 2015	1156	1998	782	14,05
Lima, 2017	Gramacho	Bruto	Nov. 2015	1007	1801	693	6,98