



Universidade Federal  
de Campina Grande



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E  
GESTÃO DOS RECURSOS NATURAIS

**GIBRAN SARMENTO DE ALMEIDA**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS DE SAÚDE EM HOSPITAL  
UNIVERSITÁRIO: INTERFACE COM A PANDEMIA DA COVID-19**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2022**

**GIBRAN SARMENTO DE ALMEIDA**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS DE SAÚDE EM HOSPITAL  
UNIVERSITÁRIO: INTERFACE COM A PANDEMIA DA COVID-19**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais – PPGEGRN/CTRN da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais.

**Área de concentração:** Meio Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento.

**Orientadora:** Dra. Viviane Farias Silva

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2022**

A447a Almeida, Gibran Sarmiento de.  
Análise do ciclo de vida dos resíduos de saúde em hospital universitário: interface com a pandemia da COVID-19 / Gibran Sarmiento de Almeida. – Campina Grande, 2022.  
107 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.  
“Orientação: Profa. Dra. Viviane Farias Silva”.

1. Resíduos de Serviços de Saúde. 2. Impactos Ambientais. 3. Meio Ambiente. 4. Políticas de Gerenciamento. 5. Análise do Ciclo de Vida (ACV). 6. Sociedade e Desenvolvimento. 7. Pandemia da COVID-19.  
I. Silva, Viviane Farias. II. Título.

CDU 628.4.026(043)

**GIBRAN SARMENTO DE ALMEIDA**

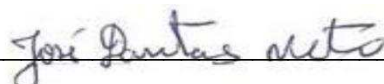
**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS DE SAÚDE EM HOSPITAL  
UNIVERSITÁRIO: INTERFACE COM A PANDEMIA DA COVID-19**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais – PPGEGRN/CTRN da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais. Área de concentração: Meio Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento.

Aprovado em: 30 de março de 2022



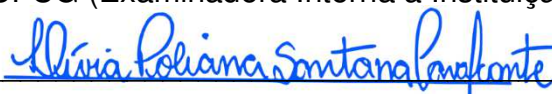
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Viviane Farias Silva  
UFCG (Orientadora – Presidente)



Prof. Dr. José Dantas Neto  
UFCG (Examinador Interno à Instituição)



Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias  
UFCG (Examinadora Interna à Instituição)



Prof<sup>ª</sup>. Dra. Livia Poliana Santana Cavalcante  
UEPB (Examinadora Externa à Instituição)



Prof<sup>ª</sup>. Dra. Kalyne Sonale Arruda de Brito  
UNIFAP (Examinadora Externa à Instituição)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho ao meu pai Horácio de Almeida Lima (*in memoriam*), com todo o meu amor e gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo incentivo financeiro à pesquisa com a ajuda da bolsa de estudo.

A minha orientadora professora e vice-coordenadora do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais Dra. Viviane Farias Silva pela dedicação aos seus alunos, disponibilidade em ajudar, preciosa orientação e seu otimismo mediante as dificuldades de se fazer pesquisa científica nesse país.

A minha mãe Maria José Sarmiento de Almeida que mesmo diante de uma perda irreparável, o falecimento de meu pai, suportou as dificuldades com muita luta para continuar a jornada da vida.

A minha linda esposa Camila dos Santos Pereira que pacientemente foi compreensível nos momentos difíceis e sempre aconselhando os melhores caminhos a serem trilhados.

Ao meu irmão Horácio de Almeida Lima Filho que foi meu advogado vitorioso nas conquistas judiciais.

A minha irmã Pryscilla Telênia pelas discussões políticas e as brigas “saudáveis” entre a família na defesa intransigente de seu candidato partidário. Sempre aprendemos muito nos debates, mesmo que seu candidato não tenha boa reputação.

Ao meu irmão Capitão Engenheiro da Marinha do Brasil Wallace Sarmiento de Almeida Lima pela inspiração de conquistar seus sonhos e sua dedicação ao trabalho, além de sua grande humildade.

Aos meus colegas da Universidade Federal de Campina Grande Hélio e Zuleide que foram fundamentais para conclusão dessa pesquisa.

Ao professor Dr. José Dantas que permitiu meu ingresso no doutorado da PPGRN por meio de sua carta de aceitação para possível orientação.

A professora Dra. Vera Lúcia que sempre se dispôs a contribuir no aperfeiçoamento dessa pesquisa.

A todos os amigos que ajudaram direto ou indiretamente para a conclusão desse importante trabalho.

Ao meu pai Horácio de Almeida Lima que me enche os olhos de lágrimas ao mencionar seu nome.

A Deus pelo dom da vida.

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu: há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de colher o que se plantou.”*

*Eclesiastes 3:1-2*

## RESUMO

Todo ano são produzidos 1,4 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no mundo. No Brasil, separando apenas os resíduos de serviços de saúde (RSS), aproximadamente, 28% das cidades brasileiras realizam a destinação inadequada. Conseqüentemente, o aumento dos RSS trouxe impactos significativos no meio ambiente e na saúde pública. O presente estudo utilizou como ferramenta de gerenciamento de RSS a Análise do Ciclo de Vida (ACV) em um hospital de grande porte situado na cidade de Campina Grande-PB no período de 2017 a 2020, antes e durante a pandemia de COVID-19. A pesquisa também mostra os impactos ambientais gerados pelos RSS no hospital e setores por meio de fluxogramas, desde a geração até a destinação final. Foi criado o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) no período de 2017 a 2020. Contudo, a ACV serviu como base metodológica para a revisão de literatura, além da utilização de software Open LCA e método de classificação de impactos CML -IA 2001 por categorias. A pesquisa também analisou o processo de gerenciamento do Hospital Universitário Alcides Carneiro (HUAC) e a destinação desses RSS para o aterro sanitário, tratamento especial e reciclagem. Os impactos ambientais produzidos foram: ecotoxicidade aquática e terrestre, toxicidade humana; eutrofização; acidificação; oxidação fotoquímica; destruição da camada de ozônio; aquecimento global; depleção abiótica. Em comparações anuais, somente para a acidificação houve aumento de 228,6% em 2017; 150,5% em 2018; 192,42% em 2019 e 184,5% em 2020 de emissão de poluente. Em relação à eutrofização, o tratamento especial foi mais desfavorável no ano 2019 com 771,97 kg de emissão. Em todos os cenários, a reciclagem foi o processo mais favoráveis na mitigação de impactos ao meio ambiente. Apenas em 2018 teve um acréscimo de 44,6% em relação ao ano de 2017 na produção de RSS. Em comparação ao ano da pandemia de COVID-19 (2020), os períodos de 2018 e 2019 foram de exacerbada geração de resíduos e conseqüentemente maiores impactos ambientais como potencial de aquecimento global ou mudança climática, variados tipos de ecotoxicidade e toxicidade humana. Dessa maneira, conclui-se que a ACV é uma ferramenta essencial na medição de desempenho ambiental dos RSS.

**Palavras-chaves:** Resíduos de serviços de saúde, Impactos ambientais, Políticas de gerenciamento, ACV.



## **ABSTRACT**

Every year 1.4 billion tons of solid waste are produced in the world. In Brazil, separating only waste from health services (RSS), approximately 28% of Brazilian cities carry out inadequate disposal. Consequently, the increase in RSS has brought significant impacts on the environment and public health. The present study used the Life Cycle Analysis (LCA) as a RSS management tool in a large hospital located in the city of Campina Grande-PB from 2017 to 2020, before and during the COVID-19 pandemic. The research also shows the environmental impacts generated by the RSS in the hospital and sectors through flowcharts, from generation to final disposal. The Life Cycle Inventory (LCI) was created in the period from 2017 to 2020. However, the LCA served as a methodological basis for the literature review, in addition to the use of Open LCA software and the CML -IA 2001 impact classification method by categories. The research also analyzed the management process of the Hospital Universitário Alcides Carneiro (HUAC) and the destination of these RSS for the sanitary landfill, special treatment and recycling. The environmental impacts produced were: aquatic and terrestrial ecotoxicity, human toxicity; eutrophication; acidification; photochemical oxidation; destruction of the ozone layer; global warming; abiotic depletion. In annual comparisons, only for acidification there was an increase of 228.6% in 2017; 150.5% in 2018; 192.42% in 2019 and 184.5% in 2020 of pollutant emissions. Regarding eutrophication, the special treatment was more unfavorable in 2019 with 771.97 kg of emission. In all scenarios, recycling was the most favorable process in mitigating environmental impacts. In 2018 alone, there was an increase of 44.6% in relation to 2017 in the production of RSS. Compared to the year of the COVID-19 pandemic (2020), the periods of 2018 and 2019 were of exacerbated waste generation and consequently greater environmental impacts such as global warming potential or climate change, various types of ecotoxicity and human toxicity. In this way, it is concluded that the LCA is an essential tool in measuring the environmental performance of RSS.

**Keywords:** Health care waste, Environmental impacts, Management policies, LCA

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama: Fluxograma para coleta de RSS - 2021 .....	28
Figura 2 - Localização Geográfica do Município de Campina Grande, Paraíba .....	40
Figura 3 - Localização geográficas do Hospital Universitário Alcides Carneiro.....	41
Figura 4 - Fronteira do sistema de ACV abordado nessa pesquisa.....	44
Figura 5 - Trajetória dos veículos do HUAC ao ponto final.....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade total de resíduos de serviços de saúde gerados no HUAC, por ano em kg, Campina Grande-PB .....	46
Gráfico 2 - Total de resíduos infectante/perfurocortante por ano em kg no HUAC (A) e respectivo gráfico Box-plot (B) .....	48
Gráfico 3 - Total de resíduos comum (Grupo D) por ano em kg no HUAC, Campina Grande-PB.....	50
Gráfico 4 - Total de resíduos recicláveis por ano em kg no HUAC, Campina Grande-PB.....	51
Gráfico 5 - Porcentual dos materiais recicláveis dos últimos três anos (2018 a 2020) pela empresa Cotramare no HUAC, Campina Grande-PB.....	54
Gráfico 6 - Quantidade de RSS do ano de 2020 dos grupos A, B e E produzidos por setor hospitalar do HUAC, Campina Grande-PB.....	55
Gráfico 7 - Potencial de acidificação por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB .....	66
Gráfico 8 - Potencial de eutrofização por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB .....	68
Gráfico 9 - Potencial de aquecimento global ou mudança climática causada por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	69
Gráfico 10 - Potencial de Toxicidade humana por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	70
Gráfico 11 - Potencial de ecotoxicidade aquática de água doce por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	72
Gráfico 12 - Potencial de ecotoxicidade de sedimentos de água doce por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	73
Gráfico 13 - Potencial de ecotoxicidade marinha por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	74
Gráfico 14 - Potencial de ecotoxicidade de sedimento marinho por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	74

Gráfico 15 - Potencial de ecotoxicidade terrestre por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	75
Gráfico 16 - Potencial de depleção da camada de ozônio por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	76
Gráfico 17 - Potencial de oxidação fotoquímica por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB.....	77
Gráfico 18 - Análise dos impactos ambientais provenientes do aterro sanitário .....	79
Gráfico 19 - Porcentagem dos impactos ambientais no aterro .....	80
Gráfico 20 - Análise dos impactos ambientais provenientes do tratamento especial realizado na empresa Stericycle .....	81
Gráfico 21 - Porcentagem dos impactos ambientais no tratamento especial.....	82
Gráfico 22 - Análise dos impactos ambientais provenientes da reciclagem realizada na cooperativa Cotramare.....	83
Gráfico 23 - Porcentagem dos impactos ambientais na reciclagem .....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos RSS .....	22
Quadro 2 - Riscos à saúde e impactos ambientais dos RSS.....	29
Quadro 3 - Exemplo de Termos .....	37
Quadro 4 - Classificação dos impactos ambientais que serão avaliados pelo ACV..	38
Quadro 5 - Classificação dos impactos ambientais que serão avaliados pelo ACV..	45
Quadro 6 - Composição dos resíduos para o ano de 2020 no HUAC, Campina Grande-PB.....	56
Quadro 7 - Especialidades e Setor de Imagenologia no HUAC, Campina Grande-PB .....	58
Quadro 8 - Laboratório Clínico e Patologia no HUAC, Campina Grande-PB.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de RSS em estabelecimentos hospitalares por região .....	21
Tabela 2 - Resultado da ANOVA para a geração de RSS no HUAC, Campina Grande-PB.....	52
Tabela 3 - Quantitativo de RSS em Kg do grupo D e empresas de coleta de 2017 a 2020 no HUAC, Campina Grande-PB .....	53
Tabela 4 - Dados gerais do Inventário dos RSS do HUAC de 2017 a 2020 .....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AVC	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONASS	Conselho Nacional de Secretários da Saúde
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
EBSERH	Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
HUAC	Hospital Universitário Alcides Carneiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
LCM	Life Cycle Management
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-americana da Saúde
PGRSS	Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SESUMA	Secretaria Municipal de Serviços Urbanos e Meio Ambiente
SETAC	Society of Environment Toxicology and Chemistry
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNEP	United Nations Environment Programme
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
Kg	Quilograma

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosfato (Ortofosfato)
CFC	Clorofluorcarboneto
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Etino (Acetileno)
1,4-DB	1,4 Dimetil-Benzeno
MJ	Megajoules
Sb	Antimônio (Estíbio)
Eq	Equivalente



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral .....	19
2.2 Objetivos Específicos .....	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 Resíduos de Serviço de Saúde .....	20
3.2 Políticas para o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos de Saúde (RSS) ..	23
3.3 Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde .....	25
3.4 Impactos Ambientais gerados pelos Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) .....	29
3.5 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) .....	31
3.5.1 A História da ACV .....	31
3.5.2 Importância e Regulamentação.....	32
3.5.3 Etapas da ACV.....	34
3.5.4 Fronteiras do Sistema .....	35
3.5.5 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) .....	36
3.5.6 Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV) .....	37
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.1 Natureza do estudo.....	39
4.2 Caracterização da área de estudo .....	39
4.1.2 A unidade de saúde e sua localização espacial .....	40
4.2 Coleta de dados .....	41
4.3 Instrumentos para coletas de dados.....	42
4.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV) .....	43
4.5 Fronteiras do Sistema .....	43
4.6 Análise dos Dados .....	45

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Quantidade e tipos de resíduos de serviços gerados no HUAC .....	46
5.2 Composição dos resíduos por setor hospitalar.....	56
5.3 Inventário do ciclo de vida (ICV).....	61
5.3.1 Consumo de diesel e distância percorrida.....	61
5.3.2 Inventário geral .....	64
5.4 Avaliação dos impactos de ciclo de vida (AICV).....	65
5.4.1 Potencial de acidificação .....	65
5.4.2 Potencial de eutrofização .....	67
5.4.3 Potencial de aquecimento global.....	68
5.4.4 Potencial de toxicidade humana .....	70
5.4.5 Potencial de ecotoxicidade.....	72
5.4.6 Potencial de depleção da camada de ozônio .....	75
5.4.7 Potencial de oxidação fotoquímica.....	77
5.4.8 Avaliação dos impactos para cada destinação .....	78
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
REFERÊNCIAS .....	87
ANEXOS.....	102

## 1 INTRODUÇÃO

No final do ano de 2019 foram divulgados nos meios de comunicação e imprensa os primeiros casos de COVID-19 na China. Os primeiros casos no Brasil foram registrados no início do ano de 2020. Entretanto, nesse mesmo período, com alta taxa de contágio, o coronavírus havia se espalhado em todos os continentes do mundo. No final desse mesmo ano, o sistema de saúde brasileiro apresentava indícios de colapso nas várias capitais do país.

O cenário na época era de congestionamento de pacientes com COVID-19 e superlotações nos serviços de saúde e ocupações dos leitos hospitalares, principalmente nas alas de tratamento intensivo. As crescentes taxas de mortalidade registravam recordes diários. Medidas restritivas e protocolos de segurança foram estabelecidas pelos estados e municípios para conter a pandemia da doença no Brasil que chegou a ultrapassar 4 mil mortes em 24 horas no mês de abril de 2021 (CONASS, 2021).

Os cuidados com a higienização tiveram que ser triplicados e a utilização de Equipamentos de Proteção Individual – EPI, como máscaras, luvas, tocas, entre outros, esses utensílios tiveram que ser constantemente utilizados rigorosamente por todos os profissionais que atuam em unidades hospitalares, assim como os pacientes em todos os ambientes públicos.

Com o aumento na demanda de insumos para o tratamento de pacientes, o país passa, até o presente momento da realização da pesquisa, por um período atípico em que ultrapassa sua capacidade suporte quando comparado a qualquer ano anterior da pandemia. Dessa maneira, há uma relação diretamente proporcional entre as superlotações dos leitos hospitalares e a produção de Resíduos de Serviços de Saúde, abreviado para RSS. A produção excedente desses RSS também foi associada ao agravamento de impactos ambientais nunca presenciado em períodos ou anos anteriores à pandemia de COVID-19.

Com relação aos RSS e outros tipos, a previsão da Organização das Nações Unidas (ONU) para o ano de 2050, no atual ritmo de crescimento, é de que sua produção terá acréscimo de 03 vezes mais rápida em relação a população. Para os 7 bilhões de seres humanos no mundo existem anualmente a produção de 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos, com uma estimativa de aproximadamente 1,2 kg/dia per capita. Todavia, praticamente a metade desse total é gerada por menos de 30

países mais industrializados do mundo. A previsão delimitada pelas pesquisas da ONU é para daqui a 10 anos serão 2,2 bilhões de toneladas anuais, ou seja, para a metade deste século, caso o ritmo atual seja mantido, haverá 9 bilhões de habitantes e 4 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano (ONU, 2018).

O crescimento acelerado e desordenado das cidades brasileiras associado ao consumo, em larga escala, de produtos industrializados e descartáveis, tem causado um aumento expressivo na quantidade de resíduos. Esses resíduos são classificados conforme suas categorias de impacto. A Organização Mundial da Saúde (OMS), que tem como objetivo promover a saúde, estabelece que os resíduos dos serviços de saúde compreendem aqueles gerados por diversas atividades hospitalares, centros de saúde, farmácias e laboratórios. Nesses locais evidencia-se a geração de resíduos patogênicos, produtos químicos, farmacêuticos e quimioterápicos, bem como materiais radioativos (CHARTIER et al., 2014; KWIKIRIZA et al., 2019).

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 306/04 e nº 22/2018 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a resolução nº 358/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as normas brasileiras determinam que os estabelecimentos que geram resíduos de serviços de saúde (RSS) devem realizar o tratamento de alguns tipos. Contudo, cerca de 28% das cidades brasileiras realizam a destinação incorreta dos RSS (ABRELPE, 2018; SNIS, 2019).

Nos processos de gerenciamento de resíduo hospitalar o resíduo perigoso necessita de cuidados especiais por ser potencialmente poluidor, passando por mais etapas antes de sua disposição final. Porém, ambos, perigosos ou não, podem causar impactos diretos ou indiretos, desde infecção ou acidente pessoal, a contaminação de solo, águas residuárias superficiais ou ar, e assim, afetar negativamente a biota e abiota de forma aguda ou crônica. (CHAERUL et al., 2008; CHARTIER et al., 2014; KWIKIRIZA et al., 2019). Evidencia-se que analisar os impactos ambientais ocasionados pela geração destes resíduos é significativo, já que pode ser identificado o setor que mais produz e dessa maneira propor alternativa para reduzir ou mitigar os danos ambientais.

Neste contexto, a importância da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) deve-se à análise do impacto ambiental como uma ferramenta que permite avaliar o potencial associado ao produto ou atividade durante seu ciclo de vida, como a geração de resíduos de serviços de saúde. Essa técnica também permite identificar os estágios do ciclo de vida dos resíduos, como nos serviços de saúde, que têm contribuição

significativa para os impactos ambientais. Empregando a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias para produtos, processos e tratamento adequado nesses serviços. Relatórios ambientais sobre os resíduos podem-se basear em estudos de ACV (COLTRO, 2007; PNUMA, 2012; DAI-AI-PRA et al., 2018).

Assim o uso da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) contribui para analisar o gerenciamento dos resíduos desde sua geração, incluindo todas as fases, como segregação e transporte, até sua destinação final, auxiliando na tomada de decisão dos gestores, sobre qual estratégia deverá ser tomada para um gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde sustentável e medidas setoriais.

Neste sentido, o intuito desta pesquisa foi realizar um estudo para verificar os impactos que essa pandemia ocasionou no que se refere a produção de RSS, assim, foram comparados a produção de resíduos dos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020 para analisar danos ambientais com possíveis acréscimos na produção de RSS, principalmente no ano de 2020.

No presente momento existem pesquisas no Brasil que associam o ACV à gestão de resíduos urbanos em vários municípios do país. Entretanto, não foram encontrados estudos significativos que fizessem a relação da ACV como ferramenta na gestão de resíduos nos serviços de saúde. Além do mais, há uma necessidade de abordar especificamente esse tema para aprofundá-lo e ampliá-lo para novos setores. Esta pesquisa foi realizada para que no futuro o ACV torne-se uma prática comum na gestão dos resíduos sólidos nos serviços de saúde dentro de vários municípios da Região Nordeste e até mesmo do país.

Observando esse contexto, a ACV aplicada como uma ferramenta no gerenciamento dos RSS, trará resultados positivos para a unidade de saúde, como redução nos custos de tratamento e processamento do RSS e diagnóstico de mitigação dos impactos ambientais gerados na instituição.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos ambientais decorrentes do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em um hospital universitário, por meio do ciclo de vida.

### 2.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar os resíduos sólidos gerados no hospital e analisar a cadeia de geração, descarte, armazenamento e disposição final dos resíduos gerados no serviço de saúde;
- II. Classificar os resíduos conforme os grupos: Biológicos, químicos, radioativos, comuns e perfurocortantes;
- III. Quantificar os impactos ambientais ocasionados pela geração dos resíduos de serviço de saúde do HUAC;
- IV. Comparar os impactos ambientais no período de pandemia de Covid 19 (2020) com anos anteriores: 2017, 2018 e 2019.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Resíduos de Serviço de Saúde

Chartier et al. (2014) e Kwikiriza et al. (2019) afirmam que aproximadamente 85% dos resíduos hospitalares não causam riscos à saúde, podendo ser comparados a resíduos urbanos, entretanto, os outros 15% são classificados como perigosos, com riscos à saúde e causam impactos graves ao meio ambiente, por serem considerados resíduos infectantes.

Os resíduos hospitalares ou Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) têm como definição todo aquele gerado por unidades de saúde, laboratórios, clínicas, postos de unidade básica ou qualquer procedimento médico domiciliar e ambulatorial. Também estão incluídos os hemocentros, casas mortuárias, centros de autópsia e clínicas veterinárias (FERREIRA, 1995; FERREIRA, 2020; WHO, 2015). Para a OMS existem seis tipos de resíduos de saúde considerados perigosos, classificados em perfurocortantes, infecciosos, patológicos, fármacos ou citotóxicos, químicos e radioativos (CHARTIER et al., 2014; WHO, 2015).

O Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) registrava até 2017, 37 tipologias de estabelecimentos de saúde, 5.086 hospitais gerais e 953 hospitais especializados de um total de quase 300 mil estabelecimentos de saúde (CNES, 2017).

Conforme o CNES (2017), a distribuição de unidades de saúde da região Sudeste possui o maior número de estabelecimentos cadastrados, dessa maneira possui um maior potencial de geração de RSS, enquanto a região Norte é que demonstra a menor quantidade de estabelecimentos de saúde.

Para facilitar a comparação de estimativa dos quantitativos de geração, foi considerado o valor médio obtido a partir da faixa indicada pela Organização Pan-americana da Saúde (OPAS, 1997) que é entre 1,0 e 4,5 kg/leito/dia. Calcula-se dessa forma uma geração média de 2,75 kg/leito/dia. Para esse estudo da CNES por região do país, foi realizado a análise de dados relativos ao mês de abril de 2017, Tabela 1. De acordo com a produção de resíduos para esse ano, a região Sudeste gerou 210.890,89 toneladas no ano, seguido da região Nordeste com 127.107,87 toneladas e a região Sul com 82.112,77 toneladas. A geração foi proporcional a quantidade de leitos em estabelecimentos hospitalares de cada região.

Tabela 1 - Geração de RSS em estabelecimentos hospitalares por região

Região	Nº de leitos	RSS gerados por leito (kg/leito/dia)	Geração total de RSS (kg/dia)	Geração total de RSS (t/ano)
Norte	34.955	2,75	96.126,25	35.086,08
Nordeste	126.633	2,75	348.240,75	127.107,87
Centro-Oeste	41.436	2,75	113.949,00	41.591,39
Sudeste	210.103	2,75	577.783,25	210.890,89
Sul	81.806	2,75	224.966,50	82.112,77
Brasil	494.933	2,75	1.361.065,75	496.789,00

Fonte: CNES (2017); OPAS (1997)

Conforme o panorama da ABRELPE (2018) e SNIS (2019), em torno de 4.518 municípios brasileiros possuem serviços de coleta, tratamento e disposição final de RSS, resultando num montante de aproximadamente, 256.941 toneladas de resíduos para o ano de 2017, o equivalente a 1,2 kg por habitante/ano. Ainda de acordo com o SNIS (2019), somando a quantidade de RSS com os resíduos urbanos no ano de 2019, apenas 38,7% dos municípios brasileiros possuem coleta seletiva para esses resíduos. Estima-se que seja produzido um total 65,1 milhões de toneladas, misturando os resíduos sólidos domiciliares, públicos e da saúde, representando 0,99 kg por habitante/dia. A estimativa da disposição final no solo é que 48,1 milhões de toneladas vão para os 621 aterros sanitários (SNIS, 2021). Para os 1.114 lixões no país são destinados 8,3 milhões de toneladas contendo todo tipo de resíduos sólidos. Representado 12% ou 7,6 milhões de toneladas vão para 580 aterros controlados espalhados pelo país (SNIS, 2021).

A resolução do CONAMA de nº 358/05, Quadro 1, dispõe que os RSS são divididos nas categorias: Grupo A (resíduos biológicos); Grupo B (resíduos químicos), Grupo C (rejeitos radioativos); Grupo D (resíduos comuns) e Grupo E (resíduos perfurocortante). Entretanto, para os resíduos não infectantes devem ser utilizados sacos plásticos de qualquer cor, exceto branca. Para os infectantes são utilizados sacos plásticos de cor branca, e os químicos devem ser acondicionados em embalagens compatíveis com sua natureza, identificados com nome, simbologia, volume e data (VOLKEN, 2016).



Quadro 1 - Classificação dos RSS

I Grupo A	Resíduos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culturas e estoques de microrganismos, sangue;</li> <li>- Cadáveres de animais;</li> <li>- Peças anatômicas (membros) do ser humano;</li> <li>- Secreções humanas como urina e fezes;</li> <li>- Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos.</li> </ul>
II Grupo B	Resíduos químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtos hormonais e antibióticos;</li> <li>- Resíduos de saneantes, desinfetantes, reagentes;</li> <li>- Efluentes de processadores de imagem;</li> <li>- Efluentes dos equipamentos automatizados de clínicas;</li> <li>- Tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos.</li> </ul>
III Grupo C	Rejeitos radioativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material radioativo que contenham radionuclídeos;</li> </ul>
IV Grupo D	Resíduos comuns ou domiciliares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Papel de uso sanitário;</li> <li>- Sobras de alimentos e do preparo de alimentos;</li> <li>- Resto alimentar de refeitório;</li> <li>- Resíduos provenientes das áreas administrativas;</li> <li>- Resíduos de varrição, flores, podas e jardins;</li> <li>- Resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde.</li> </ul>
V Grupo E	Resíduos perfurocortante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas;</li> <li>- Tubos capilares;</li> <li>- Micropipetas;</li> <li>- Lâminas e lamínulas e outros similares.</li> </ul>

Fonte: Resolução CONAMA nº 358/05

No gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde é importante que os resíduos considerados perigosos além das precauções especiais, devido possuir elevado potencial poluidor, sejam manejados e destinados dentro dos padrões estabelecidos pelas normativas, podendo ocasionar impactos ambientais diretos e indiretos, abrangendo desde os acidentes com os profissionais de saúde e daqueles que entram em contato com os RSS e contaminação de solo, corpos hídricos e ar, contribuindo de forma nociva a natureza (CAFURE et al., 2015; CHARTIER et al., 2014; KWIKIRIZA et al., 2019).

Em uma avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos de um hospital no município em Minas Gerais, Oliveira et al. (2020) constataram que são gerados

resíduos dos grupos A, B, D e E. Realizando uma média anual de junho de 2018 a junho de 2019 a quantidade de resíduos mostra que 202,3 kg/dia são do grupo D; 63,7 kg/dia são do grupo A; seguido de 10,5 kg/dia do grupo E e apenas 3,6 kg/dia para o grupo B; Ou seja, os resíduos comuns representaram 72% do total de RSS produzidos no hospital em um intervalo de um ano, enquanto os resíduos biológicos representaram 23% do total, seguindo de 4% de perfurocortante e 1% de resíduos químicos.

Outro levantamento quantitativo dos resíduos gerados por um hospital de um município do Estado do Amazonas em 2016, verificou-se que 45% desses resíduos pertenciam à classe dos perigosos, necessitando de tratamento especial. Depois da elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Saúde (PGRSS), essa porcentagem reduziu-se para 38%. Desse total, 29% eram infectantes. Esses resultados condizem com a literatura proposta por Ferber (2011), que constatou que 30% dos resíduos em unidades de saúde foram considerados infectantes e 70% classificados como resíduos comuns. Nesse mesmo hospital ainda com a elaboração de um PGRSS, houve diminuição considerável dos resíduos infectantes (grupo A), aumento dos resíduos comuns (Grupo D) e constância proporcional para os resíduos perfurocortantes (Grupo E) (SOUZA et al., 2020).

É interessante salientar que nos levantamentos bibliográficos referentes aos RSS não foram encontrados separação da quantidade gerada por setor/ala hospitalar. Os trabalhos encontrados no presente momento faziam referência apenas as unidades de saúde como um todo.

### 3.2 Políticas para o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos de Saúde (RSS)

Inicialmente, a principal escolha como opção sustentável dentro do gerenciamento de RSS é a redução na geração. Conforme Vaughn (2009), há diversas possibilidades nesse contexto, outra medida complementar é o tratamento adequado desses RSS.

Existe uma lei para tratar os resíduos produzido na sociedade, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), também conhecida como Lei nº 12.305/10. Ademais, há respaldo normativo para organizar e regular a forma com que o país processa seus resíduos. Ainda segundo a lei, resíduos são materiais ou substâncias, objetos e até bens descartados que devem ser tratados para sua reutilização,

reciclagem ou reuso. Para a ABRALPE (2010, 2011, 2018), apenas 58% tem destinação adequada, isso significa que o total de quase 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos tiveram destinação ilegal, números que sugerem o distanciamento deste serviço público para com as PNRS. Quanto à terminologia a ser utilizada na componente resíduos sólidos urbanos, o presente documento utilizou as definições registradas na lei, destacando-se os conceitos delimitados para resíduos e rejeitos. Consideram-se rejeitos como grupo de resíduos sólidos que não possuem possibilidade de tratamento ou recuperação, seja por questões tecnológicas ou viabilidade econômica, restando somente sua disposição adequada no ambiente.

No Brasil, em relação aos resíduos urbanos e hospitalares, no ano de 1987 foi criado a ABNT NBR 10157, esta norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, construção e operação de aterros de resíduos perigosos como os resíduos sólidos hospitalares. Para os aterros não perigosos em 1997 foi criada a ABNT NBR 13896. Segundo a NBR 10004 (2004), resíduos sólidos são classificados como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, derivados das ações antrópicas oriundas da agricultura, residências, comércios, serviços de varrição e hospitalar, logo concluiu-se que os resíduos hospitalares são classificados como resíduos sólidos. Esses têm uma tratativa específica e demandam ser gerenciados.

As políticas e leis de gerenciamento dos RSS são relativamente antigas. O tratamento e a disposição final dos RSS estão presentes na resolução do CONAMA nº 358/05, para o regulamento técnico de gerenciamento de serviços de saúde é abordado na RDC ANVISA nº 306/04. Em 2003, o regulamento técnico foi apresentado pela ANVISA. No ano de 2004, sofreu modificações para estar em alinhamento com a RDC CONAMA, criando a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) ANVISA no 306/04 (BRASIL, 2004).

Os princípios necessários como a redução da quantidade de resíduos de alto impacto ambiental, para a saúde e biossegurança, estão na resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que responsabiliza os serviços de saúde pelo gerenciamento dos RSS, desde a fabricação até a destinação final (BRASIL, 2004).

A ANVISA em sua resolução menciona que é dever da vigilância sanitária dos municípios, estados e distrito federal orientar, divulgar e fiscalizar o gerenciamento dos RSS, adequando as normas conforme as especificidades regionais (BRASIL, 2004). A lei é clara em afirmar que todo gerador deve possuir um plano de

gerenciamento de resíduos associados com as normas relativas à coleta, transporte e disposição final, promovendo a capacitação dos profissionais envolvidos nesse gerenciamento (BRASIL, 2004).

Para a resolução do CONAMA de nº 358/05 apresenta-se a necessidade de incentivar a mitigação da produção dos RSS, por meio da substituição de materiais facilmente recicláveis e alternativas de menor impacto ambiental. A resolução prioriza métodos preventivos para redução desses impactos e danos à saúde pública. O artigo 4º do parágrafo 1º da RDC CONAMA nº 358/05 determina quais serviços serão prioritários no licenciamento ambiental definindo a competência aos órgãos ambientais dos municípios, estados e Distrito Federal (BRASIL, 2005).

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA,1981) age no combate a degradação ambiental, tendo como princípios bases a proteção dos ecossistemas e o equilíbrio ecológico. Mesmo com modificação a PNMA observará os princípios e diretrizes da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, a qual determina ao poluidor que expuser prejuízo humano, fauna ou flora, penas previstas na lei, variando desde multas ou suspensão do serviço.

A RDC nº 222/2018, CONAMA nº358 e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (12.305/2010), são algumas normas legais que devem ser seguidas para o gerenciamento adequado dos resíduos de serviço de saúde, sendo dispostos as boas práticas a serem executadas. Os locais que geram os RSS de acordo com estas normativas devem definir um plano de gerenciamento, detalhando desde a segregação até a disposição final, com o mínimo de danos à saúde e ao ambiente, como relatam Gomes et al. (2015).

### 3.3 Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde

Para Oliveira (2020), qualquer unidade ou serviço de saúde tem a responsabilidade de elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS). Esse plano deve conter todas as etapas e processamento dos resíduos sólidos de saúde em conformidade com as normas locais vigentes. Iniciando-se pela coleta, segregação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final. A separação, umas das mais importantes etapas do gerenciamento, deve obedecer às classificações e características dos resíduos. O acondicionamento consiste em colocar os resíduos em locais apropriados levando em

consideração as propriedades dos materiais e as condições ambientais presentes como temperatura, umidade, intensidade luminosa, uma vez que alguns materiais podem ser inflamáveis, voláteis ou de rápida degradação com os resíduos biológicos. Outros fatores como o espaço ocupado, peso e forma dos resíduos também devem ser observados. O transporte deve ser realizado por caminhão baú para que os resíduos não caiam pelo caminho. O tratamento consiste em processos físicos como separação de fases, quando houver, tratamento térmico, processos químicos e biológicos (biogás). No tratamento final pode ser realizado a compostagem, incineração e aterro sanitário (SCHNEIDER *et al.*, 2001).

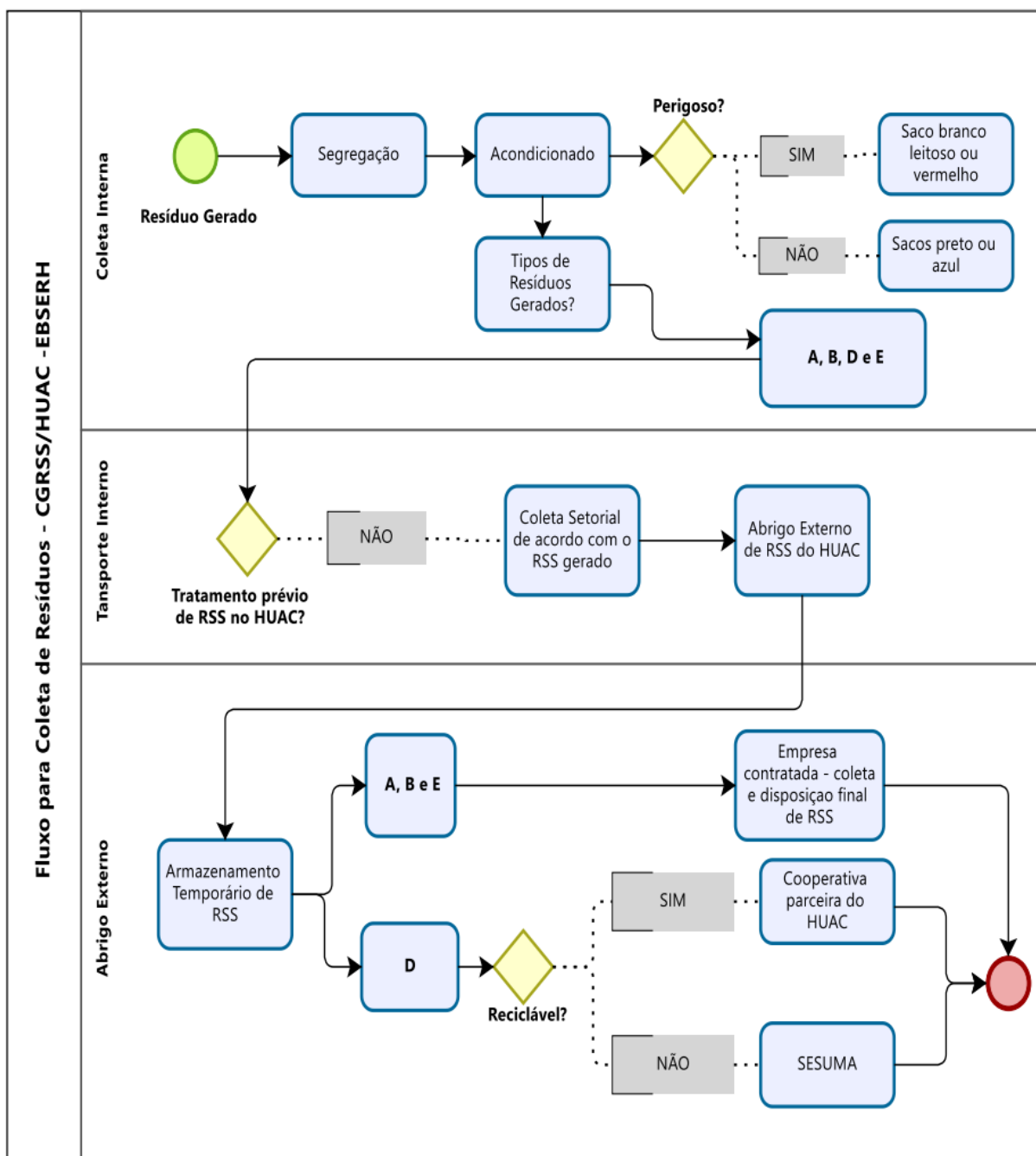
O plano de gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde compreende em um conjunto de procedimentos colocados em prática a partir de parâmetros técnico-científicos em que o objetivo primordial é mitigar a geração de resíduos e propiciar aos resíduos produzidos um destino seguro, priorizando à saúde pública e os recursos naturais (RIO, 2006).

Para Costa e Fonseca (2009), as etapas do gerenciamento têm como finalidade evitar impactos ao meio ambiente, logo devem ser realizadas com base em uma percepção ambiental bem estruturada de forma sistêmica. Essas etapas são interdependentes e se realizadas com sucesso, o processo terá êxito e as alterações ambientais poderão ser controladas ou inexistirem. Conforme, Brum e Modolo (2019) relatam que todo o sistema de gerenciamento é fundamental, se em alguma fase houver falhas, como na segregação, acarretará em produção de cerca de 70% de resíduos infectantes nos ambientes de saúde, aumentando os custos com a incineração. Para os trabalhos de Reis e colaboradores (2020), toda instituição deve implementar técnicas de condutas seguras de segregação correta, manuseio, armazenamento, transporte, tratamento e na disposição final dos resíduos. Ainda abordam os tipos de tratamento mais adequados e suas vantagens e desvantagens como: incineração por pirólise, autoclave, microondas, radiação ionizante, desativação eletrotérmica. O trabalho também classifica o tipo de acondicionamento desses resíduos em grupos.

Para unidades de saúde em Minas Gérias que possuem um PGRSS, a separação dos resíduos nos hospitais é realizada em cada setor por meio de coletores diferenciados. Inicialmente, a separação é realizada pelos próprios funcionários de saúde conforme as categorias. Em seguida, os resíduos são levados para a pesagem, onde passam por uma nova triagem e depois acondicionados. A empresa responsável

pelo transporte leva os resíduos para o tratamento e processamento (OLIVEIRA, 2020). As etapas de gerenciamento dos RSS (Figura 1) seguidas nessa pesquisa foram amparadas na RDC Nº 222/2018 no qual todo gerador de RSS deve criar seu Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde observando a legislação para cada etapa do processamento, respectivamente: geração, identificação, armazenamentos, segregação, coletas internas, externa e a destinação final. As etapas podem ser resumidas na Figura 1, diagrama do fluxograma.

Figura 1 - Diagrama: Fluxograma para coleta de RSS - 2021



Fonte: SILVEIRA, 2021.

Um estudo realizado por Oliveira (2020), constatou que após análise dos pontos negativos, a segregação dos resíduos gerados na instituição era desorganizada, ou seja, o descarte incorreto ocorre nos setores críticos e no refeitório. Houve mistura do resíduo contaminado com o resíduo comum, resultando na contaminação de resíduos que poderiam ser reciclados, aumento com isso a quantidade produzida e os gastos da instituição.

### 3.4 Impactos Ambientais gerados pelos Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS)

A classificação dos RSS obedece às suas características físico-químicas peculiares, essas podem causar impactos à saúde e ao meio ambiente devido a presença de substâncias nocivas. Também se recorre a fonte geradora desses resíduos, identificando os constituintes conforme a matéria-prima, os insumos que os originaram, fundamentado na ABNT NBR 12808 (Resíduos de serviço de saúde). Os resíduos são classificados em perigosos e não perigosos. A periculosidade depende de suas propriedades físico-químicas ou infectocontagiosas, dependente da forma de armazenamento, transporte e descarte (ABNT, 2016). Os riscos à saúde e impactos ambientais dos RSS são simplificados no Quadro 2.

Quadro 2 - Riscos à saúde e impactos ambientais dos RSS

NATUREZA	RISCO BIOLÓGICO/ FÍSICO-QUÍMICO
Classe I - Perigosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inflamabilidade;</li> <li>- Corrosividade;</li> <li>- Reatividade;</li> <li>- Patogenicidade;</li> <li>- Toxicidade.</li> </ul>
Classe II - Não perigosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não inertes;</li> <li>- Inertes.</li> </ul>

Fonte: ABNT NBR 10004

Conforme a ABNT NBR 10004/2004, para a classificação dos RSS da Classe I - Perigosos, são definidos pela: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. Para os resíduos Classe II – Não perigosos, se classificam: inertes e não inertes. Muitos desses impactos são consequências do tratamento inadequado desses resíduos hospitalares. Um estudo realizado por Conceição e colaboradores (2020) mostra a importância da capacitação dos profissionais de saúde na realização da segregação dos resíduos hospitalares. Esse treinamento para os profissionais da saúde poderia evitar acidentes como a contaminação do meio ambiente e como consequência a transmissão de doenças, seja por materiais perfurocortantes ou agentes químicos que contaminam o solo e lençóis freáticos. Ou ainda pela



incineração dos RSS, que apesar de pouco utilizada no Brasil, resulta em riscos à saúde devido a liberação de substâncias tóxicas, como partículas, gases, metais pesados, compostos orgânicos, dioxinas e furanos emitidos para a atmosfera (WHO, 2007). Seja a contaminação direta da população próxima à locais de incineração por meio de inalação do ar contaminado ou indiretamente pela água e alimentos contaminados (FRANCHINI et al., 2004). Vários estudos apontam que a exposição a esses agentes pode provocar o aumento do risco de alguns tipos de câncer, como aborto, baixo peso ao nascer e anomalias congênitas (VIEL et al., 2008; ELLIOTT, 1996).

Um estudo realizado pela Universidade do Rio Grande do Sul em 2020, analisou o ciclo de carbono, nitrogênio e fósforo liberados por diversos resíduos sólidos, além dos impactos ambientais na liberação e formação de gases em aterros sanitários (LOHMANN, 2020). Para estudos que abordam impactos ambientais segundo a ABNT NBR 10007 relacionados sobre os riscos biológicos como infecções ou resistência de microrganismos patogênicos à antibióticos presentes nos RSS, proteínas virais, ácido desoxirribonucléico (ADN) ou ácido ribonucléico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais, pode-se destacar os autores: Fekadu et al. (2015); Decraene et al. (2018); Perini et al. (2018); Paulshus et al. (2019); Porto et al. (2020).

Em relação aos impactos causados por intoxicação ou contaminação por produtos químicos, fármacos ou quimioterápicos como bioacumuladores, compostos hormonais ou agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico, associados a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo, destacam-se os estudos dos autores e colegas: Ferchichi e Dhaouadi (2016); Borowski et al. (2015); Bojanowska-Czajka et al. (2009). Para a contaminação de efluentes por RSS devido incineração e gases gerados destacam-se os trabalhos de: Adama et al. (2016); Younesi et al. (2010); Kristanto e Rosana (2017). Para a geração de gás sulfeto de hidrogênio responsável por aumento em doenças respiratórias e câncer de pulmão em comunidades próximas de aterros de RSS tem-se o trabalho de Mataloni et al. (2016).

### 3.5 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

#### 3.5.1 A História da ACV

A busca da eficiência energética de tecnologias e serviços possibilitou a elaboração de ferramentas para fundamentar esse conceito evoluído para uma metodologia complexa chamada ACV (HORNE et al., 2009).

Executado pelo *Midwest Research Institute* (MRI) e financiado pela Companhia Coca-Cola, o conceito de ACV inicia na prática com um estudo sobre embalagens. O interesse se baseava na utilização do material usado nas embalagens do produto (HUNT e FRANKLIN, 1996). Os pesquisadores Robert Hunte e William Franklin, membros da MRI, foram chamados para verificar alternativas de matérias para embalagens referente ao consumo energético e aos impactos ambientais. Sendo assim, deveriam analisar os fluxos de matérias e energia, iniciando-se desde a obtenção da matéria prima à disposição final dos resíduos. Em 1972, esse estudo foi denominado de *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Segundo Baumann e Tillman (2004), outro estudo encomendado pela empresa de embalagens – TetraPak – buscando oferecer ao mercado um modelo de garrafa a base de PVC, solicitou a consultoria do engenheiro Gustav Sundström para analisar os impactos referentes ao aumento na emissão do ácido clorídrico na atmosfera causados pela incineração de garrafas de PVC, tornando-se pioneiro. Nesse contexto foram realizados outros estudos norte-americanos sobre a obtenção da matéria prima bruta até o descarte final, consagrando os conceitos da ACV. Com a concorrência de produtos similares, as empresas criaram propagandas com base nessas pesquisas para atrair consumidores com consciência ecológica. Na década de 80, Baumann e Tillman (2004), narram o aparecimento da “segunda onda” que favoreceu a ACV voltada à gestão de resíduos que se tornou um potencial ferramenta na tomada de decisões no gerenciamento de resíduos sólidos, capaz de orientar em estratégias ambientais.

### 3.5.2 Importância e Regulamentação

Uma maneira de medir e quantificar os impactos ambientais das atividades produtivas no serviço de saúde desde a extração da matéria prima até a disposição final dos rejeitos é a ACV dos produtos (INMETRO, 2017). Apenas na década de 90 o termo Avaliação de Ciclo de Vida foi proposto pelos integrantes de um workshop da Society of Environment Toxicology and Chemistry (SETAC) ou Sociedade de Meio Ambiente, Toxicologia e Química nos EUA, estado de Vermont. Entre as principais bases da metodologia de ACV está a SETAC, a European Platform for the European Commission (2008) e a Iniciativa de Avaliação de Ciclo de Vida do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2012). O ACV é uma escolha para avaliar a tomada de decisões em investimentos tecnológicos internos que visa minimizar os gastos, impactos e prioriza a reciclagem dos produtos (BARBOZA; RIBEIRO et al., 2011). Sua metodologia está voltada para a gestão da sustentabilidade.

Conforme Finkbeiner et al. (2011), 56 artigos foram apresentados na conferência LCM 2011 em Berlim, explanando o conceito do ACV. Os autores Finkbeiner (2011), Baumann e Tillman (2004), assim como Christensen et al. (2007) ampliaram o conceito de ACV para além do foco tradicional e desenvolveram um conceito mais complexo. A ACV é regimentada pela ISO 14000. No Brasil, a NBR ISO 14.040 define as diretrizes gerais, além da análise do inventário (ABNT, 2014). O ciclo de vida que analisa os impactos ambientais é abordado pela NBR ISO 14.1044 (ABNT, 2014). Pode-se ainda destacar a ISO/TR 14.047 e suas aplicações (ISO, 2012). A apresentação dos dados é estabelecida pela ISO/TR 14.048 (ISO, 2002). Os objetivos são especificados pela ISO/TR 14.049 (ISO, 2012b). Todas complementadas pela legislação internacional.

Para ABNT NBR ISO 14040 (2009) aborda sobre a ACV como a compilação e avaliação das entradas e saídas de materiais e dos impactos ambientais de um sistema produtivo por meio de seu ciclo de vida. Também apresenta o fluxograma (flowchart) ou diagrama de fluxo das atividades e processos da ACV. A exemplo do ciclo de vida de uma garrafa pet que pode ser demonstrada de forma simplificada nos eventos abaixo, na sequência:

*I. Produção da matéria prima; II. Transporte; III. Fabricação de embalagem; IV. Distribuição; V. Uso; VI. Transporte; VII. Tratamento dos resíduos.*

Em relação a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) ou *Life Cycle Management* (LCM) é um sistema que tem como base o gerenciamento de materiais que visam minimizar impactos ambientais e socioeconômicos relacionados ao produto em seu ciclo de vida. Essa gestão relaciona o ciclo de vida com a sustentabilidade operacional de empresas que objetiva, dessa forma, criar suportes para políticas integradas (UNEP, 2007).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada aos RSS desempenha função de diagnosticar os impactos ambientais relacionados à gestão (BOVEA et al., 2010). Esse sistema tem como objetivo auxiliar na gestão de políticas públicas para mitigação de impactos ambientais e na saúde, conforme estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). O ACV é a melhor forma de auxiliar na tomada de decisão em relação à escolha de produtos sustentáveis (TURCONI et al., 2013).

Segundo Dai-Pra et al. (2018) a ACV é uma ferramenta importante para meio ambiente e para utilização em pesquisas sobre resíduos sólidos, devido analisar a melhor forma de disposição final que ocasione menores impactos ambientais, além da possibilidade de geração de energia.

Devido a quantidade ainda pouco expressiva de estudos sobre a avaliação do ciclo de vida em relação aos resíduos sólidos e principalmente de resíduos de serviços de saúde, no Brasil destaca-se a pesquisa realizada por Liikanen et al. (2018) em relação aos procedimentos a serem utilizados, na qual evidenciou-se que na cidade de São Paulo-SP é necessário buscar novas alternativas sustentáveis na disposição final dos resíduos, sendo considerado o aterramento a pior estratégia analisada.

Em seu estudo, Mengue et al. (2015) aplicaram a ACV na gestão de resíduos sólidos e consideraram desde o momento da geração até a disposição final em um município do Rio Grande do Sul. A pesquisa avaliou a quantidade de resíduos produzidos por ano e os impactos gerados pelas emissões atmosféricas, o consumo de energia e materiais. Foram estabelecidos quatro cenários:

- a) As etapas de coleta, transporte e destinação final de RSU para o aterro considerado inadequado para a disposição;
- b) Considerou etapas de coleta, transporte e destinação final em aterro com 90% da coleta lixiviada, 70% de eficiência no tratamento e captura de 90% dos gases gerados sem aproveitamento energético;
- c) Considerou as etapas anteriores mais a triagem dos RSU passíveis de reciclagem;
- d) Todas as etapas anteriores mais o acréscimo da compostagem de 50% da matéria orgânica do total dos RSU coletados.

Ainda no estudo de Mengue et al. (2015), com ACV realizada, considerou-se um horizonte temporal de 100 anos e adotaram-se os seguintes indicadores de impacto ambiental para avaliação dos quatro cenários:

- i. Indicador de “Uso de Energia” (GJ/ano);
- ii. Indicador de “Resíduo Sólido Final” (t/ano);
- iii. Potencial de Aquecimento Global (kg CO<sub>2</sub> eq./ano);
- iv. Potencial de Acidificação (kg SO<sub>2</sub> eq./ano);
- v. Potencial de Eutrofização (kg PO<sub>4</sub> eq./ano);
- vi. Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (kg CFC-11 eq./ano).

### 3.5.3 Etapas da ACV

Para Coltro et al., (2007) o estudo de ACV é dividido em quatro partes: a primeira trata-se da definição do objetivo e escopo em que são identificados e definidos a finalidade do estudo relacionando decisões importantes sobre as fronteiras, às unidades funcionais, os métodos de alocação e classificação de impactos utilizados. A próxima etapa é a da análise do inventário, em que são coletadas as informações sobre o sistema do produto, as entradas e as saídas relevantes para o sistema. Para a terceira etapa, analisa-se a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), em que os dados e as informações obtidas na Análise de Inventário são relacionados a impactos ambientais específicos como mudança climática, toxicidade humana e outros. Isso para que a análise desses impactos potenciais possa ser avaliada. Na última etapa, a de interpretação dos dados, os resultados coletados nas etapas de análise de inventário e de avaliação de impacto são quantificados e interpretados de acordo com a prévia definição dos objetivos do estudo (COLTRO, 2007).

Conforme Reichert e Mendes (2014), a Avaliação de Impactos de Ciclos de Vida (AICV) pode ser definida nos seguintes passos:

- a) Seleção das Categorias de Impacto: etapa que define os indicadores relevantes às categorias e modelos para quantificar as diferentes entradas e emissões em cada categoria específica de impactos;
- b) Classificação: categorizar os impactos do inventário;
- c) Caracterização: transformar em indicador comum e avaliar a significância relativa de cada fator relacionado ao impacto geral do sistema. Alguns elementos opcionais

podem ser calculados como a normalização, tendo um valor de referência para comparação com o indicador da categoria seja o número total de entradas e saídas global, nacional ou regional (COLTRO, 2007).

#### 3.5.4 Fronteiras do Sistema

A instauração das fronteiras do estudo é realizada no início da fase de definição do objetivo e planejamento. Entretanto, a fronteira final do sistema é estabelecida efetivamente apenas quando informações suficientes foram coletadas durante a análise do inventário. Por isso, se alguma parte do ciclo de vida do produto não foi estudada esta exclusão deve ser abordada no relatório. Preferencialmente, deve-se descrever o sistema técnico com um fluxograma que possui todos os processos elementares incluídos no estudo (COLTRO et al., 2007).

Os limites estabelecidos para o estudo são definidos pelas fronteiras do sistema e todas as etapas elementares no processamento do produto. Um estudo realizado por Coltro et al., (2007), classifica essas fronteiras como:

- Fronteiras de sistemas naturais: é a fronteiras entre o sistema técnico e o meio ambiente, especificando o início ao fim do sistema.
- Fronteiras geográficas: delimitação da área do sistema estudado;
- Fronteiras dentro do sistema de produção: determinam as atividades do ciclo de vida do produto estudado.
- Fronteiras temporais: perspectiva do tempo do estudo.
- Fronteiras técnica que gera outros produtos: estabelece o ciclo de vida de outros produtos, o processo produtivo forma diversos produtos, impactos ambientais devem ser distribuídos entre vários coprodutos.

Pode-se citar como exemplo de fronteira do sistema um estudo que pretende analisar a ACV de embalagens utilizadas na indústria alimentícia para embalar e acondicionar os variados líquidos que serão comercializados, uma vez que as embalagens garantem a qualidade do produto para os consumidores. A unidade funcional determinada para o estudo poderia ser a disponibilização em quantidade/litros de bebidas aos consumidores (SILVA et al., 2006). Conforme a ISO 14040 nessa etapa há necessidade de determinar a dimensão do estudo, apresentando a delimitação da ACV (início e fim do estudo), largura da ACV ou

quantidade de sistemas e profundidade ou detalhamento do estudo sem fugir do objetivo. De acordo com Santos (2002), para facilitar a interpretação dos resultados da ACV o sistema precisa ser delimitado por meio de contornos separados de outros sistemas adjacentes para que não haja interferência na interpretação da análise dos resultados e nos impactos ambientais (MIETTINEN e HAMALAINEN, 1997).

Os estudos realizados no Brasil apenas associam o ACV aos resíduos sólidos urbanos, mas não existem estudos sobre ACV que relacionassem aos resíduos sólidos nos serviços de saúde seja na região Nordeste ou no país.

### 3.5.5 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A análise do inventário do ciclo de vida está relacionada com o recolhimento dos dados e cálculos que possui como objetivo quantificar as entradas e saídas dos limites do sistema do produto. Esses dados contribuirão para a base de avaliação do impacto do ciclo de vida, além dos impactos causados na atmosfera, corpos hídricos e no solo, relacionado ao sistema do produto (ABNT, 2014).

Nessa fase da ACV são reconhecidas as entradas e saídas de cada unidade de processo de maneira que avalie as mais significativas para a organização dos dados (COSTA, 2007). A análise de inventário precisa conter a preparação da coleta de dados, os dados e sua validação. De acordo com o estudo, a preparação para a coleta pode definir os dados primários e secundários, o preparo das planilhas e o treinamento dos participantes envolvidos (PASSUELO, 2007).

Os dados poderão ser qualitativos e quantitativos para cada unidade de processo que esteja dentro das fronteiras estabelecidas (ABNT, 2001).

Para Chehebe (1997), a coleta dos dados pode ser feita por meio de envio de questionário às empresas ou instituições envolvidas no estudo. Ademais, para que esses questionários sejam objetivos e claros, além da coleta das informações seja satisfatória, algumas medidas devem ser tomadas como:

1. Descrição detalhada de cada unidade de processo e a lista das categorias de dados associados a cada uma delas;
2. Capacitação dos técnicos locais sobre a necessidade de se documentar os casos especiais e irregularidades ou outros itens ligados com os dados fornecidos;
3. Criação de um glossário que explique as unidades de medidas utilizadas;

4. Fluxogramas específicos que mostrem todas as unidades de processo, incluindo as inter-relações existentes entre elas, podendo conter os limites estabelecidos do estudo;
5. Descrição das técnicas utilizadas para a coleta ou cálculo dos dados para cada categoria para que os técnicos entendam a importância das informações prestadas.

Em seguida, os dados coletados são organizados considerando as cargas ambientais na unidade funcional. Desta maneira, o produto do inventário do ciclo de vida é uma tabela que contém os volumes consumidos de energia, materiais e quantidades de poluentes ao meio ambiente (PEREIRA, 2008).

### 3.5.6 Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV)

A AICV demonstra a forma como o fluxo de entradas e saídas do sistema estudado impacta o ambiente delimitado e tem como finalidade avaliar a significância ambiental dos resultados do inventário por meio de modelos e fatores de caracterização contidos em seus métodos. Os possíveis impactos são associados aos resultados obtidos no ICV (ANDRADE, 2014).

As categorias de impactos ambientais estão ligadas a utilização dos recursos, impactos na saúde humana e ecológicas. Pode-se observar subcategorias de impactos como aquecimento global, eutrofização, acidificação, destruição da camada de ozônio, toxicidade, consumo de recursos a base de Al, Fe, Cu, petróleo, gás natural, água e outros (ANDRADE, 2014).

A NBR ISO 14044:2009 apresenta categorias de impactos e seus exemplos de acordo com a Quadro 3:

Quadro 3 - Exemplo de Termos

TERMO	EXEMPLO
Categoria de impacto	Mudança climática.
Resultados do ICV	Quantidade de gás de efeito estufa por unidade funcional.
Modelo de caracterização	Modelo de linha de base para 100 anos do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas – IPCC.
Indicador de categoria	Forçamento radioativo infravermelho (W/m <sup>2</sup> ).



TERMO	EXEMPLO
Fator de caracterização	Potencial de aquecimento global para cada gás de efeito estufa (kg CO <sub>2</sub> – equivalentes/kg gás).
Resultado do indicador de categoria	Kg de CO <sub>2</sub> - equivalentes por unidade funcional.
Pontos finais da categoria	Recifes de coral, florestas, plantações.
Relevância ambiental	O forçamento radioativo infravermelho representa os efeitos potenciais sobre o clima, dependendo da adsorção cumulativa de calor para atmosfera causada por emissões e da distribuição da absorção de calor ao longo do tempo.

Fonte: ABNT (2009B)

Desenvolvidos pela AICV, os modelos de caracterização ambiental são organizados em metodologias de impactos ambientais, relacionam ICV de cada categoria de impacto ao indicador da categoria. O Quadro 4 apresenta a classificação desses impactos que serão avaliados:

Quadro 4 - Classificação dos impactos ambientais que serão avaliados pelo ACV

IMPACTO AMBIENTAL	UNIDADE
Aquecimento Global	kg CO <sub>2</sub> eq
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC <sup>-11</sup> eq
Oxidação Fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> eq
Toxicidade Humana	kg 1,4- DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4- DB eq
Ecotoxicidade Aquática de água doce	kg 1,4- DB eq
Depleção abiótica (Combustíveis fósseis)	MJ
Depleção abiótica (Minerais)	Kg Sb eq

Fonte: Guinne (2001).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

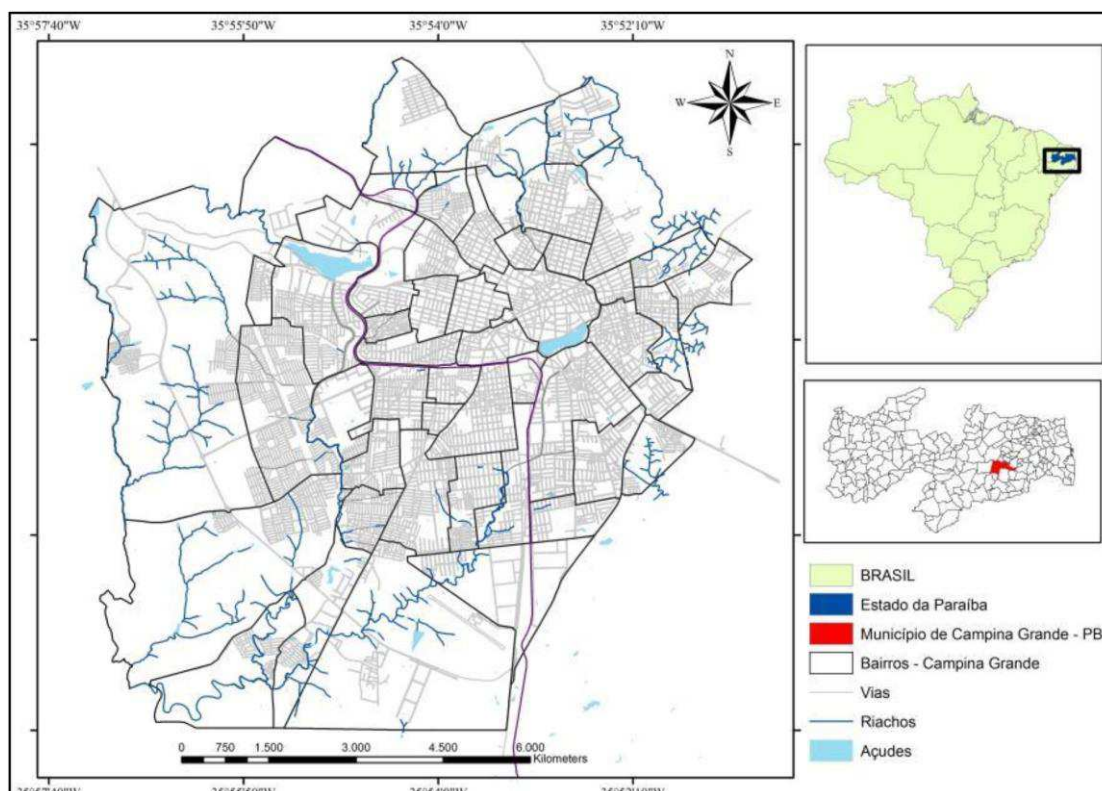
### 4.1 Natureza do estudo

A pesquisa realizada trata-se de um estudo longitudinal, retrospectivo com análise dos anos de 2017 a 2020 e uma abordagem quantitativa de dados coletados do inventário e armazenados em arquivos da própria instituição repassados para bancos de dados.

### 4.2 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado num Hospital Universitário (HU) situado no município de Campina Grande-PB, com área de 593,026 Km<sup>2</sup>, com uma população estimada para o ano de 2021 de 413.830 mil habitantes, conforme o IBGE (2021), cerca de 84,1% de esgotamento sanitário é considerado adequado, aproximadamente 82,5% das vias públicas são arborizadas e 19,4% das vias públicas são urbanizadas. Campina Grande está localizada na mesorregião do Agreste Paraibano, nas seguintes coordenadas geográficas, 07°13'50" S e 35°52'52" O e o clima é classificado como semiárido (IBGE, 2018), (Figura 2).

Figura 2 - Localização Geográfica do Município de Campina Grande, Paraíba

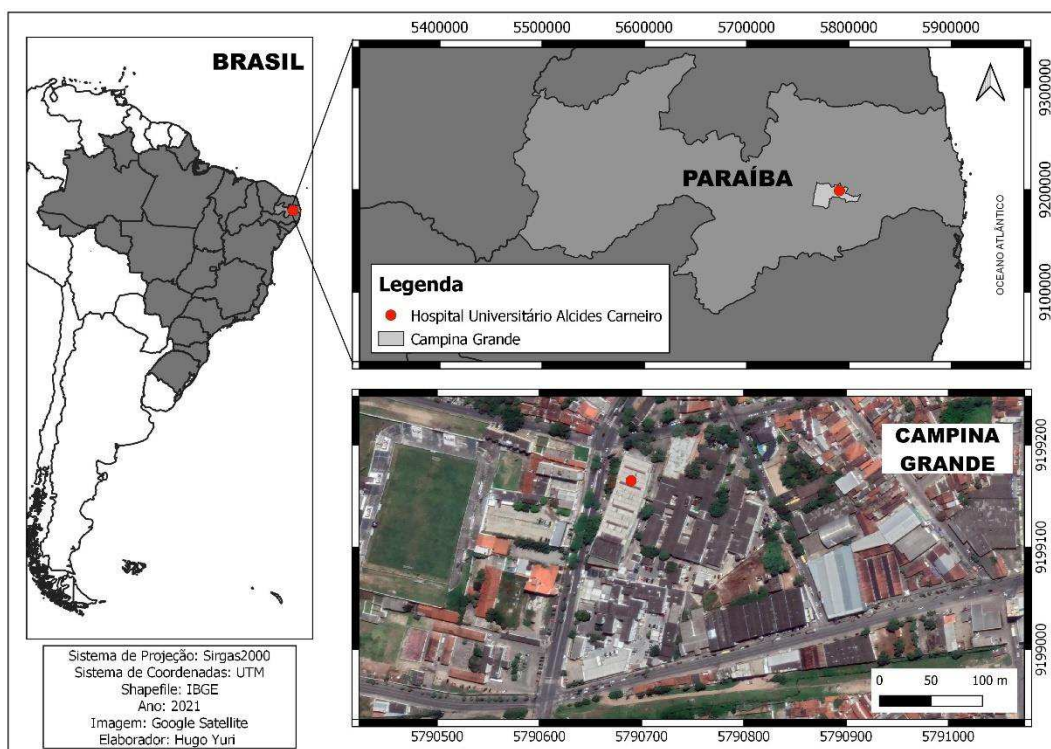


Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2021).

#### 4.1.2 A unidade de saúde e sua localização espacial

O Hospital Universitário Alcides Carneiro (HUAC) localizado nas coordenadas  $7^{\circ}13'39,7358''$  S e  $35^{\circ}53'32,25026''$  O foi inaugurado em 1950, (Figura 3). No ano de 2002, a instituição passou a integrar a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), criada por meio da Lei nº 10.419/02. Atualmente, é gerido pela Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH). Seu atendimento é inteiramente realizado pelo Sistema Único de Saúde (SUS), possuindo um total 160 leitos e atende a mais de 40 especialidades médicas. No geral, realiza-se consultas, exames laboratoriais, cirurgias e internações (BRASIL, 2020).

Figura 3 - Localização geográfica do Hospital Universitário Alcides Carneiro



Fonte: Autores (2022).

## 4.2 Coleta de dados

Por meio de parceria firmada com a direção do HUAC foi possível coletar dados quantitativos referente a geração de RSS nessa unidade hospitalar por um período de quatro anos (2017 – 2020), conforme autorização em ANEXO.

O processo de triagem dentro do serviço de saúde está fundamentado nas referências normativas da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Todo o material de RSS passou por um processo de análise gravimétrica em que foram pesados no setor de armazenamento do HUAC, posteriormente, separado e calculado em quantidade percentual de materiais básicos que os compõem, como matéria orgânica, vidros, plásticos, metais, madeira, papel e outros. Também foi analisado o gerenciamento da reciclagem pela empresa responsável pelo procedimento, os dias da coleta, assim como os gastos financeiros com os funcionários ou cooperativas, transporte, distância percorrida até o processamento e outras informações específicas que fazem a diferença nos custos da reciclagem e logística reversa, considerando o tipo de veículo utilizado e seu consumo médio por km rodados.

Para a estimativa de emissões dos veículos, foram calculados CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, de acordo com as equações que constam no Centro Clima (2021) que foram inseridas no banco de dados de saída do inventário. Os dados sobre os fatores de emissão dos veículos foram obtidos do Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CENTRO CLIMA, 2021).

Foi estimado a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, no aterro sanitário de Campina Grande-PB, com base na pesquisa realizada por Moreira (2018) sobre as emissões em célula de aterro sanitário de Campina Grande.

No HUAC, a coleta dos Infectantes (Grupo A) ocorreu junto dos perfurocortantes (Grupo E). No Grupo D ou resíduo comum houve a necessidade de separação devido a existência de duas empresas coletoras para diferentes tipos de resíduos, a SESUMA que destinava os resíduos comuns e a COTRAMARE que processava os recicláveis.

#### 4.3 Instrumentos para coletas de dados

O processo de inventário tem como função primordial fazer o levantamento, a apuração detalhada no processamento de RSS desde as condições de separação, classificação, acondicionamento, transporte e destinação final. O banco de dados utilizado foi o Ecoinvent v 3.7, última versão atualizada pelo OpenLCA nexus, registro da licença: N<sup>o</sup> 244329, para usuário com fim educacional e banco de dados Ecoinvent v.3.7 em um país não pertencente à OCDE.

Em seguida foi realizado a elaboração do inventário de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde do hospital Alcides Carneiro. Foram coletados os seguintes dados:

I. Dados de entrada:

- a) A quantificação e classificação dos resíduos de serviços de saúde gerados em todos os setores do hospital;
- b) Quantificação de materiais gerados que são direcionados ao setor de reciclagem, coleta comum e coleta especial;
- c) O percentual de eficiência para os materiais coletados, de acordo com Rigamontti et al. (2009), em que: papel/papelão é de 97,5%, plástico é 80%, metal e vidro é 90% e 100% para a borracha;

d) Quantificação do consumo de combustível utilizado na coleta seletiva, para disposição final no aterro sanitário de Campina Grande-PB e para os outros tipos de tratamento final.

II. Dados de saída:

a) CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e os impactos ocasionados contabilizados pelo OpenLCA, através da análise do ciclo de vida.

#### 4.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

O processo dos resíduos sólidos de saúde seguirá a norma ISO 14040/2009 e ISO 14044/2009 para aplicação da ACV. A unidade funcional para a Análise do Ciclo de Vida será de toneladas/ano, conforme Di Maria e Micale (2015) e Tavares (2013), mas pode-se recorrer a convenções de períodos mais curtos: mês, semana e dia.

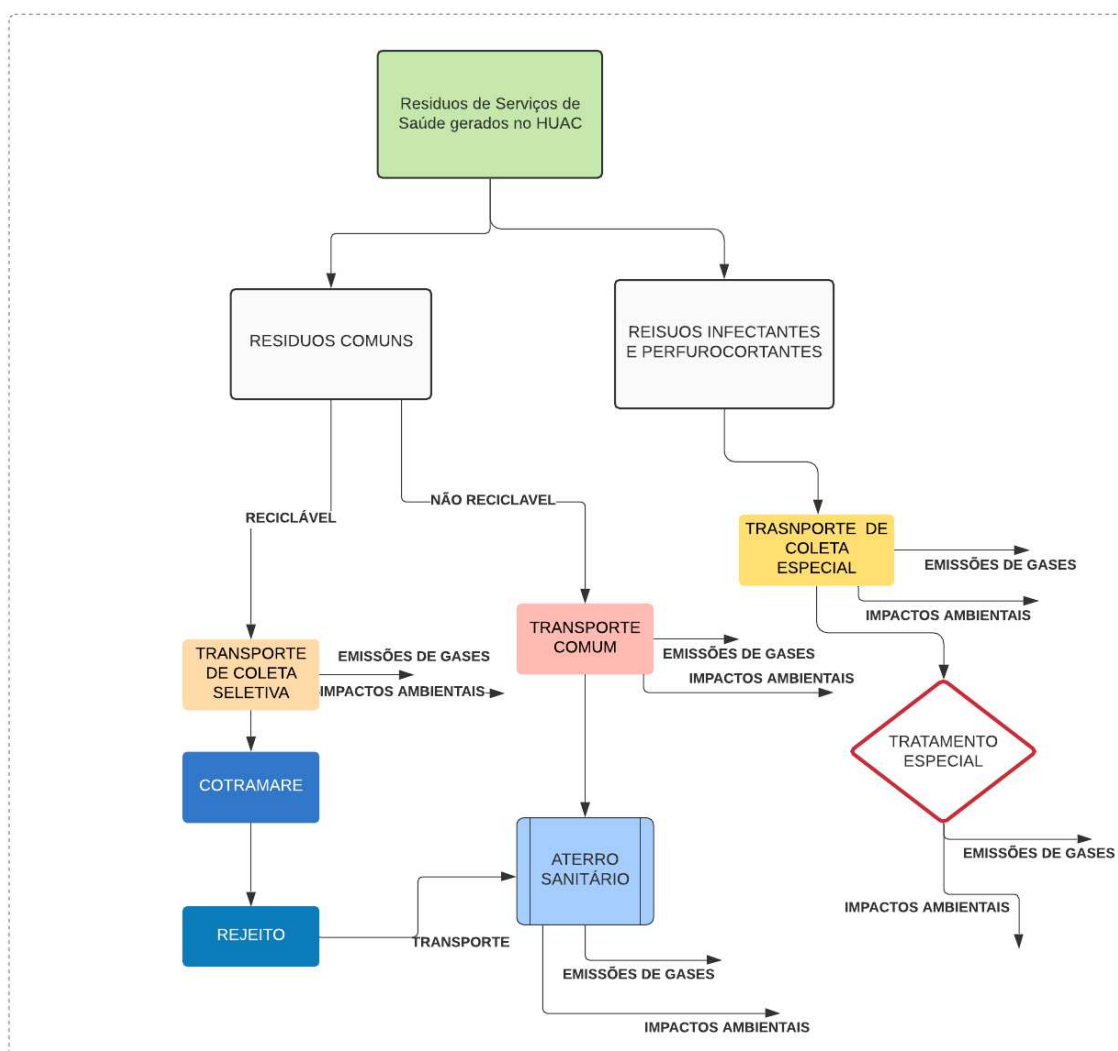
O limite do sistema de ACV será desde a geração dos resíduos até sua destinação final. No setor administrativo do HU, na gestão hospitalar de insumos médicos são arquivados e digitalizados a quantidade de materiais estocados e utilizados, assim como os resíduos produzidos semanalmente. Para realizar o ciclo de vida, foi necessário recorrer ao gerenciamento desses resíduos na instituição. Para isso, consultou-se o inventário do setor de arquivos, onde se analisará todo o sistema de gerenciamento da unidade de saúde ou as fronteiras do sistema, como as etapas de estocagem, utilização, descarte, reciclagem e destino final dos RSS no aterro sanitário ou na incineração. Assim, criou-se uma planilha com informações acerca de todo resíduo sólido produzido no hospital, separado por setor, classificado, pesado e identificado até sua destinação final, como também analisado o custo da destinação final, seja pelo hospital ou para o município, no caso dos resíduos comuns.

#### 4.5 Fronteiras do Sistema

A origem do sistema foi delimitada inicialmente na geração de resíduos no hospitalar do HUAC, Figura 4. Logo após o recolhimento desses resíduos por alas, funcionários da limpeza armazenam cada resíduo específico em bombonas plásticas nomeadas e classificados nos grupos A e E (infectante/perfurocortante), grupo D (resíduo comum) e recicláveis, passam por pesagens diárias e estocados. Após a geração, armazenamento, separação e pesagem, os resíduos entram no sistema de

gestão por três vias diferentes: a) o recolhimento, em três dias da semana, dos infectantes/perfurocortantes (tratamento especial) pela empresa privada denominada Stericycle localizada no Recife-PE; b) coleta comum diária transportados pelos caminhões da empresa Sesuma contratada pela prefeitura; c) coleta de recicláveis, em três dias da semana, por meio da cooperativa de trabalhadores de materiais recicláveis Contramare localizada em Campina Grande-PB. Foram consideradas como unidades de processo final a indústria de tratamento especial, a cooperativa de catadores (reciclagem) e o aterro sanitário que atende ao município de Campina Grande. Em síntese, são separadas três opções de trajetória: triagem – tratamento especial, triagem – cooperativa de reciclagem e coleta comum - aterro sanitário.

Figura 4 - Fronteira do sistema de ACV abordado nessa pesquisa.



Fonte: Autores (2022).

#### 4.6 Análise dos Dados

Após a coleta dos dados, esses foram tabulados em uma planilha do Excel. Os dados foram analisados de acordo com a sua categoria (Infectante/Perfurocortante, Comum e Reciclável) e no período analisado. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA) utilizando teste fator duplo sem repetição. Com os resultados obtidos pode-se verificar se as diferenças encontradas foram significativas através da comparação dos valores calculados e tabelados por meio do teste de Fisher (F), a um nível de 95% de confiança. Para uma análise exploratória de variáveis quantitativas e os tipos de resíduos gerados no HUAC foi realizado gráficos Box-plot.

Para analisar os dados obtidos do inventário, foi utilizado o software Open LCA 1.10.2 versão 2020, registro da licença: nº 244329. Esse software foi escolhido por ser gratuito e por estar sendo aplicado em diversas pesquisas na quantificação dos impactos ambientais em diversas áreas, os dados de entrada são preenchidos no software e o programa calcula esses impactos ambientais como relata Neves (2016). Os impactos ambientais foram analisados em três cenários: Aterro sanitário, tratamento especial e reciclagem. A classificação dos impactos ambientais obedecerá ao método CML-IA 2001 (GUINEE, 2001) que agrupa os impactos de acordo com o Quadro 5. Utilizou-se as categorias de impactos conforme a ISO 14.040/2009 que foram selecionadas devido sua importância ambiental e reconhecimento internacional. No próprio software é realizada classificação e a quantidade de unidades liberadas de cada RSS.

Quadro 5 - Classificação dos impactos ambientais que serão avaliados pelo ACV

IMPACTOS AMBIENTAIS	UNIDADE
Aquecimento Global	kg CO <sub>2</sub> eq
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC <sup>-11</sup> eq
Oxidação Fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> eq
Toxicidade Humana	kg 1,4- DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4- DB eq
Ecotoxicidade Aquática de água doce	kg 1,4- DB eq
Depleção abiótica (Combustíveis fósseis)	MJ



Depleção abiótica (Minerais)	Kg Sb eq
------------------------------	----------

Fonte: Guinne (2001).

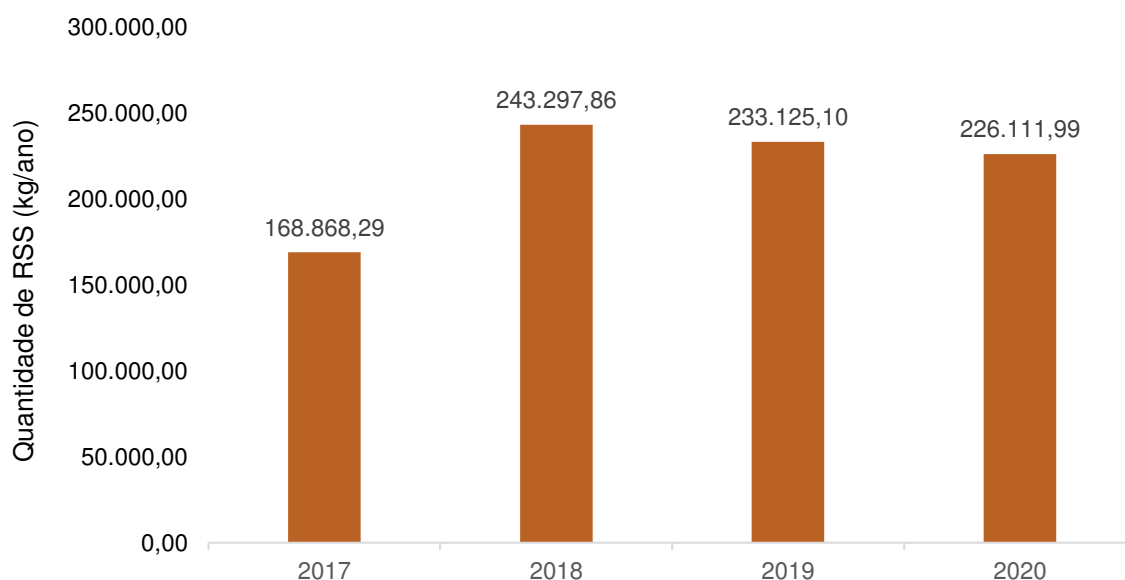
A abordagem utilizada foi a direcionada a problemas (*midpoint*) por meio do método CML-IA 2001.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Quantidade e tipos de resíduos de serviços gerados no HUAC

Os anos analisados comparativamente para os RSS no HUAC foram dos 2017 a 2020. No Gráfico 1, observa-se uma síntese de toda a produção nesses períodos destacados.

Gráfico 1 – Quantidade total de resíduos de serviços de saúde gerados no HUAC, por ano em kg, Campina Grande-PB



Fonte: os autores; HUAC (2022).

O ano de 2018 foi o que teve maior quantitativo de RSS produzidos no HUAC, com acréscimo de 44,6% em relação ao ano de 2017, nesse período foi quando iniciou-se o gerenciamento de todos RSS. No ano de 2019 ocorreu diminuição de 4,18%, crédito este podendo estar associado ao desenvolvimento institucional das

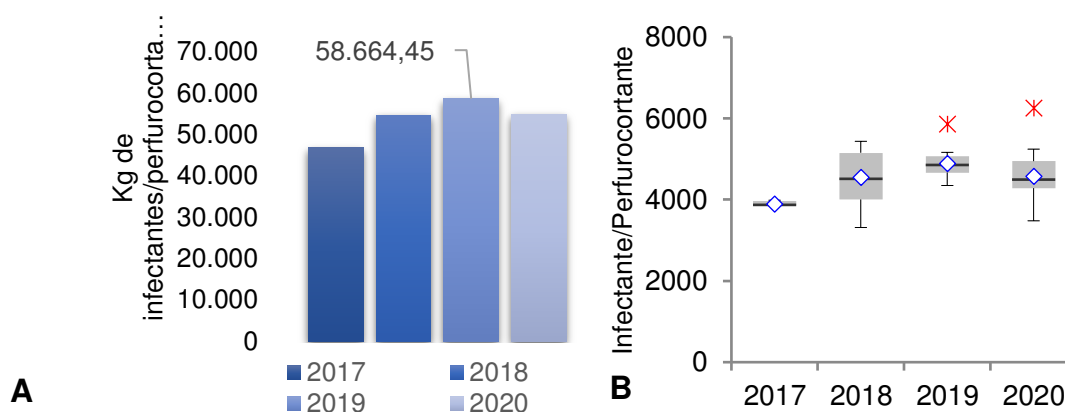
ferramentas de controle visando aperfeiçoar os processos de gestão dos RSS em todo âmbito hospitalar; no ano de 2020 houve redução desse percentual para 7,06% em relação ao gerado em 2018. Por isso, é perceptível para o ano de 2020, período da COVID-19, que não houve aumento significativo na produção geral desses resíduos em comparação aos anteriores. Uma provável explicação seria que o HUAC venha se aperfeiçoando na otimização do gerenciamento dos seus RSS ao longo desse tempo, assim como para que houvesse atendimento para pacientes acometidos pela COVID-19, pois, foram interrompidos os atendimentos de outras especialidades, inclusive todas as cirurgias agendadas.

De acordo com o relatório de desempenho de 2018 do HUAC, houve avanços na assistência hospitalar/ambulatorial. A partir de março de 2018, começaram a ser admitidos os profissionais aprovados no concurso realizado pela EBSE RH em 29 de janeiro de 2017. Até o final de dezembro, foram contratados para a assistência aos pacientes um total de 306 profissionais. Essa ampliação de especialidades resultou em aumento significativo no tocante à produção de RSS nesse ano em questão, devido principalmente a elevação dos procedimentos médico-assistenciais realizados em todo o hospital, totalizando 243.297,86 kg de RSS.

As produções no intervalo de quatro anos do total de resíduos nos serviços de saúde foram de acordo com as proporções: 19% (2017); 28% (2018); 27% (2019); e 26% (2020). O Gráfico 1 constata o ano de 2018 como o período de maior participação na produção geral de RSS. Todavia, outra explicação para o aumento na porcentagem total se deve a implementação nos instrumentos de coleta, atendimentos nas alas hospitalares.

De acordo com o Gráfico 2, a maior produção dos resíduos infectantes/perfurocortantes foi superior a 58 mil kg no ano de 2019, com acréscimo de 25,4% em relação ao ano de 2017. No ano de 2020 houve diminuição desse tipo de resíduos em 6,32% comparando com o ano de 2019, podendo estar relacionado ao tipo de atendimento priorizado, devido aos casos de COVID-19. As produções de resíduos infectantes/ perfurocortantes em relação ao total dos RSS foram nas seguintes proporções: 22% (2017); 25% (2018); 27% (2019); e 26% (2020). Dessa maneira o ano de 2019 teve maior geração desses resíduos, o que pode estar relacionado com falhas no manejo durante o processo de segregação/ acondicionamento devido a educação permanente deficitária e/ou PGRSS implantado parcialmente na instituição, elevando os custos para o tratamento dos resíduos.

Gráfico 2 - Total de resíduos infectante/perfurocortante por ano em kg no HUAC (A) e respectivo gráfico Box-plot (B)



Fonte: os autores; HUAC (2022).

No ano de 2018 e 2019, foi produzida quantidade significativa de resíduos infectantes/perfurocortantes (56.651 kg e 58.664 kg, respectivamente), Gráfico 2, mas ao comparar com o quantitativo total de RSS gerados que foram elevados (Gráfico 1), constata-se que a porcentagem de infectantes/perfurocortantes foi em 2018 de 23,28% e 2019 foi de 25,16% em relação ao total de RSS para os mesmos anos. Enquanto que no ano de 2020 a porcentagem foi de 24% de resíduos infectantes/perfurocortantes em relação ao total de RSS para o mesmo ano, sendo esta proporção maior que a do ano de 2017 e 2018, o que pode estar relacionada a pandemia de COVID-19. Com isso, observa-se a importância da classificação adequada para destinação correta dos resíduos.

De acordo com Nogueira, Aligleri e Sampaio (2020), o COVID-19 é considerado como agente biológico, com elevado potencial de transmissão individual e risco mediano para comunidade, assim todos os resíduos infectantes gerados provenientes de pacientes com suspeita de infecção pela COVID-19, são considerados resíduos A1, ou seja, é um resíduo perigoso e que podem contaminar qualquer pessoa que entre em contato com o resíduo, assim devem ser encaminhados para tratamento adequado.

Os dados no Gráfico 2B correspondem aos totais mensais para cada ano analisado. A partir desse, observa-se que no ano de 2017 os dados não tiveram variabilidade, tanto no primeiro quartil que corresponde a 25% dos dados, como no terceiro quartil que corresponde a 75% dos dados, sendo simétrico em torno da

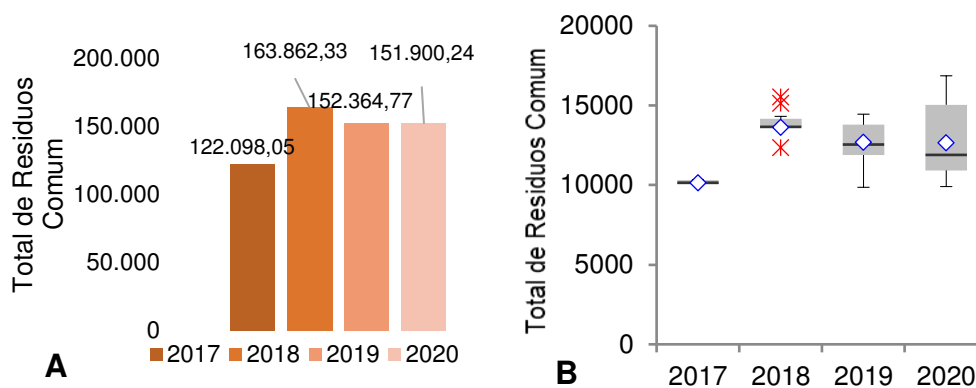
mediana. No ano de 2018, o primeiro quartil teve pouca variabilidade em torno da mediana, ao contrário dos dados do terceiro quartil, com uma variabilidade em relação ao valor da mediana. O valor mínimo está bem abaixo do primeiro quartil. Para 2019, os dados do primeiro quartil apresentaram uma ligeira variabilidade em torno da mediana, o valor mínimo também se encontra um pouco abaixo do primeiro quartil. Nesse ano um outlier é identificado acima do terceiro quartil. Já no ano de 2020, os dados do terceiro quartil tiveram uma alta variabilidade em torno da mediana, valor mínimo bem abaixo do primeiro quartil e um outlier também é identificado. Esses outliers significam dados atípicos no conjunto de dados observados.

Conforme Titto; Savino e Townend (2021), a quantidade total dos resíduos infectantes (Grupo A), químicos (Grupo B), radioativos (Grupo C) e perfurocortantes (Grupo E) devem compreender entre 10 e 25% dos resíduos produzidos por serviços de saúde, nesse contexto do presente estudo, apenas o ano de 2018 e 2020, estão dentro desta faixa, sendo necessário ainda redução da geração desses resíduos.

Resultados divergentes foram obtidos por Andrade, Ricardo e Orozco (2020) em sua pesquisa sobre a uma caracterização dos resíduos em unidade hospitalar em Rondônia, os quais constataram que 20% dos RSS total são do grupo de infectantes e perfurocortantes, sugerindo que seja realizado capacitação de pessoal para uma eficiente segregação dos RSS.

Para os grupos de resíduo comum, o ano 2018 teve a produção de RSS elevada com cerca de 164 mil kg (Gráfico 3), o que pode ser resultado da quantidade de atendimentos realizados nessa época, pois houve ampliação nos tipos de especialidades à disposição da população e assim maior geração de RSS. Houve diminuição de quase 7% nos anos de 2019 e 2020, comparados com o ano de 2018. A menor produção desses resíduos ocorreu no ano de 2017, conforme o Plano Diretor Estratégico (PDE) do HUAC. Uma análise situacional mostrou que nesse ano existiram diversas medidas de melhoramento organizacional no hospital como capacitação das equipes para o novo modelo de gestão, definição de metas quantitativas e qualitativas das três gerências do HUAC, definição de indicadores que contribuíram para o alcance de metas estabelecidas entre as equipes dentro da instituição (PDE, 2021).

Gráfico 3 - Total de resíduos comum (Grupo D) por ano em kg no HUAC, Campina Grande-PB



Fonte: os autores; HUAC (2022).

Os resíduos comuns observados no ano de 2017 até 2020, foram superiores a 60% da quantidade total dos RSS do Hospital; 2017 não havia separação de materiais recicláveis e obteve-se uma geração de 72% de resíduos comuns. A partir do ano de 2018, iniciou a prática de separação e assim resultou em 67,35% de resíduos do Grupo D, enquanto para 2019 e 2020, foram 65,35% e 67,18%, respectivamente.

No Gráfico 3B, observa-se que os dados do ano de 2017 não tiveram variabilidade, tanto no primeiro quartil, como no terceiro quartil. No ano de 2018, o terceiro quartil correspondeu a 75% dos dados, que tiveram uma maior variabilidade em torno da mediana, com a presença de outliers. Para o ano de 2019, os dados do terceiro quartil apresentaram uma maior variabilidade em torno da mediana. E o valor mínimo está muito abaixo do primeiro quartil que representa os 25% dos dados. Já no ano de 2020, os dados do terceiro quartil, tiveram uma alta variabilidade em torno da mediana e o valor máximo se encontra bem acima do terceiro quartil.

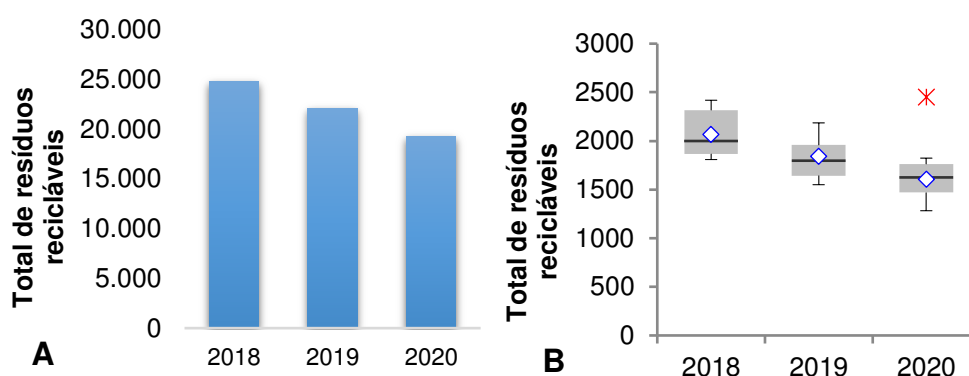
Para uma coleta realizada por Titto, Savino e Townend (2021) a obtenção de uma quantidade de 32,9% de resíduos comuns (Grupo D), em um hospital, os autores demonstram falhas no processo de segregação da instituição; diferentemente do presente trabalho, em que todos os anos a quantidade de resíduos do grupo D, foram superiores a 60%, evidenciando-se que dessa proporção o material reciclável também está inserido, e que para os anos de 2018 a 2020, sua proporção em relação aos resíduos comuns foi de 15,12% (2018), 14,5% (2019) e 12,68% (2020), salientando que estes materiais são direcionados para empresa de recicladores.

Resultados superiores foram obtidos por Andrade, Ricardo e Orozco (2020) ao realizar uma caracterização dos resíduos em unidade hospitalar em Rondônia constatando que a produção de resíduos comuns foi de 80% do total dos RSS,

afirmando a importância da segregação adequada para não haver misturas de resíduos e aumento de custos para a destinação correta.

No ano de 2017 não havia separação nem quantificação dos resíduos recicláveis por isso não consta tais informações no Gráfico 4A. A partir do ano de 2018, com quantidade significativa de resíduos recicláveis, foram direcionados para a associação de catadores aproximadamente 24 mil kg, sendo perceptível que houve diminuição desses resíduos ao passar dos anos, com menor valor constatado no ano de 2020, conforme o gráfico abaixo.

Gráfico 4 - Total de resíduos recicláveis por ano em kg no HUAC, Campina Grande-PB



Fonte: os autores; HUAC (2022).

Os dados observados no Gráfico 4B no ano de 2018 se constata uma maior variabilidade no terceiro quartil e o valor mínimo está bem próximo do primeiro quartil e o máximo um pouco distante do terceiro quartil. No ano de 2019, os dados do primeiro quartil, tiveram uma ligeira variabilidade em torno da mediana e o valor máximo se apresenta distante do terceiro quartil. Para o ano de 2020, os dados do primeiro quartil apresentaram uma variabilidade em torno da mediana e o valor mínimo se apresentou muito abaixo do primeiro quartil.

Foram realizadas a análise de variância (ANOVA) e a significância de regressão, a 95% de confiança, utilizando-se o teste de Fisher (F) conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado da ANOVA para a geração de RSS no HUAC, Campina Grande-PB.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b>
Tipo de resíduo	9,58E+10	3	3,19E+10	141,1654	3,862548
Ano	2,36E+09	3	7,87E+08	3,478426	3,862548
Erro	2,04E+09	9	2,26E+08		
Total	1E+11	15			

SQ – Soma quadrática; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio

A partir dos resultados obtidos pela ANOVA, Tabela 2, verifica-se que não houve diferença estatística significativa em relação aos anos avaliados, uma vez que o  $F_{\text{tabelado}}$  foi maior que o  $F_{\text{calculado}}$ . No que se refere ao tipo de resíduo, constatou-se que existe diferença significativa, visto que  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que o  $F_{\text{tabelado}}$ . Anualmente não foi observado elevação na quantidade de RSS gerados durante a pandemia no ano de 2020, que pode estar relacionado a redução de outras modalidades de atendimento e apenas ficou focado no atendimento de pacientes de COVID-19. A fiscalização e o Plano de Gerenciamento dos RSS são executados por uma comissão que vem trabalhando para tornar eficaz o gerenciamento e melhorar os indicadores desse processo.

Apesar de alguns serviços de saúde quantificarem seus resíduos pela estimativa fundamentada no total de leitos ativos e pacientes, os autores Kagonji e Manyele (2011), Ogbonna, Chindah e Ubani (2012) apontam que essa maneira de quantificação pode apresentar problemas. Um estudo realizado por Mathur et al. (2011), também aborda que a quantidade de resíduos coletados com referência ao número de leitos e pacientes são susceptíveis a inconstâncias. Por isso, a escolha adequada para o método de quantificação consiste na pesagem e gravimetria.

A quantidade de RSS do grupo D ou resíduo comum, separada por empresa, está detalhada na Tabela 3. A empresa COTRAMARE recebe os recicláveis, enquanto a SESUMA, através de empresa contratada pela prefeitura, destina os resíduos não recicláveis para o aterro sanitário da cidade de Campina Grande-PB. O próprio hospital já realiza a quantificação dos resíduos orgânicos, para serem destinados a compostagem, porém mesmo quantificando esses ainda são direcionados para a SESUMA.

Tabela 3 - Quantitativo de RSS em Kg do grupo D e empresas de coleta de 2017 a 2020 no HUAC, Campina Grande-PB

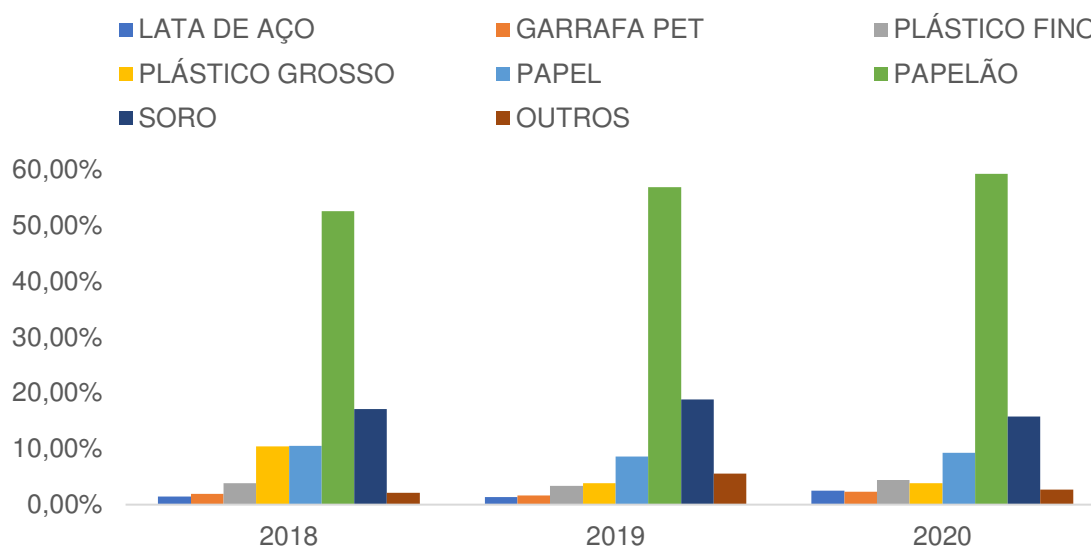
<b>Empresa de coleta</b>	<b>Tipos de resíduos</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
COTRAMARE	Lata de aço	384,25	340,85	292,88	478,05
	Garrafa pet	353,07	461,76	364,32	439,25
	Plástico fino	676,93	908,40	759,27	842,16
	Plástico grosso	591,38	2.452,75	866,91	735,73
	Papel	1.434,81	2.474,71	1.927,70	1.785,03
	Papelão	9.171,59	12.334,78	12.712,68	11.410,24
	Soro	2.441,91	4.011,62	4.208,25	3.037,95
	Outros	423,75	491,88	1234,22	527,19
	Rejeitos	4.584,02	6.151,92	9.994,92	5.702,91
	<b>Total</b>	<b>20.061,71</b>	<b>29.628,67</b>	<b>32.361,15</b>	<b>24.958,51</b>
<b>SESUMA</b>	<b>Não reciclável</b>	<b>98.626,29</b>	<b>136.960,92</b>	<b>127.350,96</b>	<b>126.962,81</b>

Fonte: os autores; HUAC (2022).

Observa-se que os resíduos recicláveis coletados pela cooperativa de catadores, Cotramare, obtidos no HUAC, contém uma quantidade significativa de papelão em comparação ao restante de recicláveis em todos os anos. O papelão é aproximadamente 60% do total dos recicláveis, seguido do soro hospitalar, (Gráfico 5). Conforme mencionado anteriormente, o aumento do quadro efetivo de funcionários e a ampliação de especialidades justificam o aumento da produção dos RSS a partir do ano de 2018.



Gráfico 5 - Percentual dos materiais recicláveis dos últimos três anos (2018 a 2020) pela empresa Cotramare no HUAC, Campina Grande-PB



Fonte: os autores; HUAC (2022).

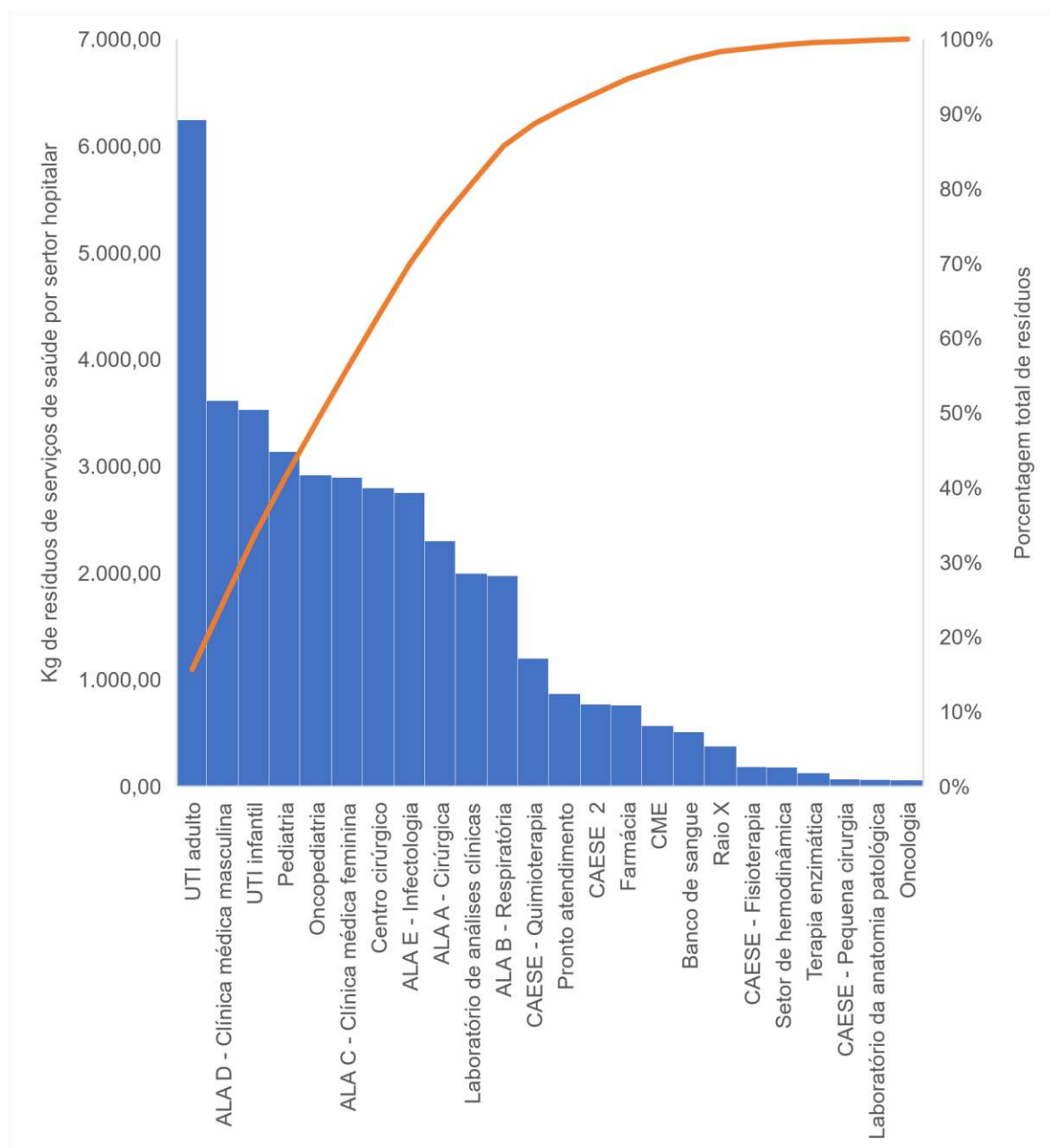
Em sua pesquisa, Nazari et al. (2020), observaram que aproximadamente 60% dos resíduos de infectantes pertenciam ao Grupo D, dessa maneira, não há resíduos recicláveis para esse caso, porque o grupo se encontra misturado com os potencialmente infectantes.

Para Alves et al. (2014), em um estudo nas unidades básicas de saúde de Goiás, relataram que apenas 5,71 kg, ou seja, 34,1% dos resíduos classificados como infectantes realmente eram considerados desse grupo, sendo constatado que isso ocorria devido a erros na segregação. Nesse mesmo estudo, ao analisar os resíduos comuns gerados observaram que 63% poderiam ser encaminhados para reciclagem. Todavia, essa quantidade foi segregada junto com os resíduos considerados infecciosos, aumentando a produção de resíduos considerados do Grupo A, elevando os custos financeiros e ambientais. Os problemas na segregação afetam todos os demais processos de gerenciamento e pode ser ocasionado pela ausência de conhecimento sobre os procedimentos necessários e/ou suas particularidades para o gerenciamento, assim como a falta de PGRSS implantado em sua totalidade e de uma melhor sincronia que proporcione a ampliação e otimização das ações da comissão, responsável pelo monitoramento do gerenciamento na instituição.

No ano de 2020, foi realizada a quantificação dos RSS e classificação dos resíduos nos seguintes grupos: grupos A – biológico, grupo B – químico e grupo E – perfurocortantes, por setor hospitalar, conforme pode ser visualizado no Gráfico 6.

A UTI adulto foi o setor que mais produziu resíduos, 6.242,64 kg. Em contrapartida, o setor de pequenas cirurgias do CAESE produziu 65,26 kg durante todo o ano, Gráfico 6. A unidade de tratamento intensivo possui constante rotatividade, tanto de pacientes como de funcionários que se alternam em plantões de forma ininterrupta durante as 24 horas. Assim, a utilização de insumos, seja produtos de limpeza, soros, ataduras, medicamentos e outros são significativos, e por isso se destaca ao se comparar aos demais setores nosocomiais.

Gráfico 6 - Quantidade de RSS do ano de 2020 dos grupos A, B e E produzidos por setor hospitalar do HUAC, Campina Grande-PB



Fonte: os autores; HUAC (2022).

Um trabalho de Moraes (2013) também avaliou o gerenciamento dos resíduos de saúde no Hospital Universitário Alcides Carneiro em Campina Grande – PB e para esse período de 2013 o HUAC gerou cerca de 3.824kg/mês de resíduos dos Grupos A, B e E ou 32,5%. Contudo, nesta pesquisa para o período de 2013 se produziu 7.943 kg/mês de resíduos do Grupo D ou 67,5%, totalizando em torno de 11.767 kg/mês de RSS, ou seja, houve aumento no quantitativo desse tipo de resíduos no HUAC quando comparado aos dados atuais.

## 5.2 Composição dos resíduos por setor hospitalar

Nesse inventário organizou-se, de maneira específica, os tipos de RSS produzidos por cada setor do hospital. No Quadro 6 está a classificação dos resíduos produzidos pelos setores do Pronto Atendimento, Bloco Cirúrgico, Central de Materiais, Hospital Diagnóstico e Unidade Ginecologia/Saúde da Mulher, detalhados qualitativamente para os grupos A, B, D e E.

Quadro 6 - Composição dos resíduos para o ano de 2020 no HUAC, Campina Grande-PB

GRUPO A1	SETORES
1. Resíduos sólidos contendo sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Pronto socorro adulto e infantil, UTI adulto, UTI neonatal/pediátrica, hemodinâmica, pediatria, clínica médica, clínica cirúrgica, bloco cirúrgico, central de material e hospital-diagnóstico.
2. Bolsas transfusionais contendo sangue com volume superior a 50 ml.	Todas as unidades acima, exceto central de material.
3. Sobras de amostras de laboratório contendo sangue e líquido corpóreo na forma livre.	Todas as unidades acima, exceto central de material.
GRUPO A3	SETORES
1. Membros humanos (Peças anatômicas).	Bloco Cirúrgico e Patologia.
GRUPO A4	SETORES
1. Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde que não contenham sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Pronto socorro adulto e infantil, UTI adulto, UTI neonatal/pediátrica, hemodinâmica, pediatria, clínica médica, clínica cirúrgica, bloco cirúrgico, central de material e hospital-diagnóstico.
2. Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores com presença ou ausência de sangue.	Todas as unidades assistenciais.

3. Sobras de amostras de laboratório contendo sangue e líquido corpóreo na forma livre.	Todas as unidades, exceto central de material.
4. Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão	Todas as unidades, exceto central de material.
5. Resíduos provenientes de cirurgia plástica e peças anatômicas (órgãos e tecidos) quando não enviados para estudo anatomopatológico.	Bloco Cirúrgico.
6. Os filtros de ar e gases aspirados de área contaminada ou não, membrana filtrante de equipamentos médico-hospitalar e de pesquisa	Todas as unidades.
<b>GRUPO B</b>	<b>SETORES</b>
1. Produtos hormonais, antimicrobianos, imunossupressores, imunomoduladores, digitálicos, antirretrovirais e medicamentos controlados pela portaria do Ministério da Saúde (MS) 344/98.	Todas as unidades, exceto central de material.
2. Resíduos de citostáticos e antineoplásicos.	Pediatria, oncologia pediátrica, alas, ambulatório, unidades de terapia intensiva e unidade de oncologia.
3. Recipientes contaminados por resíduos químicos líquidos (recipientes de ortoformaldeído).	Unidade de Hemodinâmica (Endoscópico).
4. Resíduos contendo metais pesados (termômetro) em processo de substituição.	Todas as unidades.
5. Lâmpada fluorescente e cartucho/tonner de impressora.	Todas as unidades.
6. Pilhas e baterias alcalinas.	Todas as unidades, exceto central de material.
<b>GRUPO D</b>	<b>SETORES</b>
1. Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente.	Todas as unidades.
2. Resíduos provenientes das áreas administrativas.	Todas as unidades.
3. Fraldas, absorventes higiênicos, peças descartáveis, resto alimentar de pacientes, material utilizados em antissepsia, equipo de soro e outros similares, classificados anteriormente como A1.	Todas as unidades exceto central de material.
4. Sobras de alimentos.	Todas as unidades

GRUPO E	SETORES
1. Resíduos perfurocortantes – agulha de sutura (inox), agulhas e vacuteiner, agulha descartável (gengival), agulha para irrigação, ampola de vidro, aparelho de tricotomia descartável/ lâmina de barbear, artigos de vidro, quebrados (com presença de material infectante), cateter intravenoso agulhado, dispositivo para infusão intravenosa.	Todas as unidades.

Fonte: os autores; HUAC (2022).

No setor de Imagenologia, Quadro 7, ocorre o acompanhamento de funcionários como médicos, dentistas, enfermeiras e técnicos juntos com os pacientes, nesses atendimentos se podem realizar simples procedimentos como aplicação de antibióticos, vacina, antirretrovirais ou medicamento em geral, coleta intravenosa, aferição da pressão e temperatura, consultas odontológicas e exames radiológicos. Dentre esses atendimentos se destacam a produção de resíduos do grupo A, B, D e E.

Quadro 7 - Especialidades e Setor de Imagenologia no HUAC, Campina Grande-PB

GRUPO A1	SETORES
1. Resíduos sólidos contendo sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Especialidades, Centro de Reabilitação e Setor de Imagenologia.
2. Resíduos resultantes de atividades de vacinação com microrganismos vivos ou atenuados, ou frascos vencidos com conteúdo inutilizado, vazio ou com restos do produto.	SOST (Sanzonal).
GRUPO A4	SETORES
1. Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde que não contenham sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Todas as unidades.
GRUPO B	SETORES
1. Medicamentos antirretrovirais.	Ambulatório de Especialidades (farmácia satélite no CAESE) e ALA E.
2. Recipientes contaminados por resíduos químicos líquidos.	Setor de Diagnóstico por imagem.

3. Resíduos contendo metais pesados (termômetro e amálgama de consultório dentário).	Setores assistenciais e odontologia.
4. Efluentes de processadores e imagem de equipamentos automatizados utilizados em análise clínica e demais resíduos perigosos.	Hemodinâmica e Diagnóstico por Imagem (Odontologia).
5. Lâmpada fluorescente e cartucho de impressora.	Todas as unidades.
<b>GRUPO D</b>	<b>SETORES</b>
1. Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente.	Todas as unidades.
2. Resíduos provenientes das áreas administrativas.	Todas as unidades.
3. Papel, absorventes higiênicos, peças descartáveis.	Todas as unidades.
<b>GRUPO E</b>	<b>SETORES</b>
1. Resíduos perfurocortantes	Todas as unidades assistenciais.

Fonte: os autores; HUAC (2022).

No setor de farmácia os resíduos são pertencentes a agentes químicos (grupo B), comum (grupo D) e perfurocortantes (Grupo E). Produtos provenientes de área administrativa do hospital podem ser encontrados em todas as alas hospitalar, Quadro 8.

Quadro 8- Resíduos provenientes do setor de farmácia no HUAC, Campina Grande-PB

<b>GRUPO B</b>
1. Produtos hormonais, antimicrobianos, imunossupressores, imunomoduladores, digitálicos, antirretrovirais e medicamentos controlados pela portaria MS 344/98.
2. Resíduos de citostáticos e antineoplásicos.
3. Recipientes contaminados por resíduos químicos líquidos (recipientes de manipulação dos antineoplásicos).
4. Resíduos contendo metais pesados (termômetros).
5. Resíduos químicos líquidos (fenol).
6. Lâmpadas fluorescente e cartucho de impressora.
7. Pilhas e baterias alcalinas.
<b>GRUPO D</b>
1. Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente.

2. Resíduos provenientes das áreas administrativas.
3. Papel, absorventes higiênicos, peças descartáveis.
4. Sobras de alimentos.
GRUPO E
1. Resíduos perfurocortantes.

Fonte: os autores; HUAC (2022).

Os resíduos no laboratório clínico e patológico podem ser classificados nos grupos A, B, D e E. A climatização do ambiente exige produtos de condicionamento como ar condicionado, filtros de ar e outros para remoção de impurezas do meio. Os equipamentos médico-hospitalares que podem conter partes de resíduos mistos, ou seja, pertencentes tanto ao grupo A quanto D, poderiam ser separados caso houvesse demanda. Como se trata de um potencial agente infectante, um aparelho de alto grau de complexidade exige um processamento de equipes especializadas para fazer o manejo adequado de desmanche para cada grupos distintos. Sendo assim, mesmo o menor grau de risco à saúde não justificaria a separação sem o auxílio de empresas do próprio fabricante dos equipamentos médico-hospitalares, Quadro 9.

Quadro 8 - Laboratório Clínico e Patologia no HUAC, Campina Grande-PB

GRUPO A1	SETORES
1. Resíduos sólidos contendo sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Laboratório clínico. Laboratórios de pesquisa e patologia.
2. Sobras de amostras de laboratório contendo sangue e líquido corpóreo na forma livre.	Todas as unidades.
GRUPO A4	SETORES
1. Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde que não contenham sangue e líquidos corpóreos na forma livre.	Todas as unidades.
2. Sobras de amostras de laboratórios e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções.	Laboratório clínico.
3. Os filtros de ar e gases aspirados de área contaminada ou não, membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa.	Todas as unidades.
GRUPO B	SETORES
1. Recipientes contaminados por resíduos químicos líquidos.	Laboratório clínico e de patologia.

2. Efluentes de processadores de imagem de equipamentos automatizados utilizados em análise clínica e demais resíduos perigosos.	Laboratório clínico.
3. Reagentes para laboratório.	Laboratório clínico.
4. Resíduos químicos líquidos (formol, Ácido sulfúrico, ácido clorídrico, Xilol).	Laboratório de Patologia.
5. Resíduos químicos sólidos (Xilol).	Laboratório de Patologia.
6. Lâmpada fluorescente e cartucho/tonner de impressora.	Todas as unidades.
GRUPO D	SETORES
1. Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente.	Todas as unidades.
2. Resíduos provenientes das áreas administrativas.	Todas as unidades.
3. Sobras de alimentos.	Todas as unidades.
GRUPO E	SETORES
1. Resíduos perfurocortantes.	Todas as unidades.

Fonte: Autores (2022); HUAC (2022).

### 5.3 Inventário do ciclo de vida (ICV)

#### 5.3.1 Consumo de diesel e distância percorrida

Conforme os dados disponibilizados pelas empresas de coleta (Stericycle, Sesuma) e cooperativa de reciclagem (Cotramare), os caminhões utilizados no transporte são respectivamente, Volkswagen 4x2 com capacidade para transporte de 5 toneladas, Volkswagen Constelation 4x2 e caminhão Mercedes Benz. Os veículos coletam os resíduos três vezes (Stericycle e Cotramare) e cinco vezes (Sesuma) por semana. Para o aterro sanitário são utilizados maquinários pesados como trator de esteira e caminhão pipa com capacidade de 12 mil litros, ambos funcionando de segunda a sábado ou seis dias por semana. Os gastos de combustível dentro do aterro são estimativas fornecidas pela própria administradora. A distância e o consumo de combustível entre o hospital e os núcleos de coleta estão estimados na Tabela 3.



Tabela 3 - Consumo de diesel e distâncias entre o HUAC (H) a cada núcleo de coleta por mês

<b>HUAC – NÚCLEOS</b>	<b>KM TOTAL</b>	<b>LITROS/KM</b>	<b>TOTAL DE LITROS/MÊS</b>
<b>- HUAC /Stericycle</b> (Bairro do Passarinho, Recife, PE, ida e volta)	4.973,64	8,3	41.281,212
<b>- HUAC /Aterro Sanitário</b> (aterro sanitário de Catolé de Boa Vista, PB - 138)	967,82	5,0	4.839,1
<b>- HUAC / Cotramare</b> (Bairro do Monte Santo, Campina Grande, PB)	62,4	5,0	312

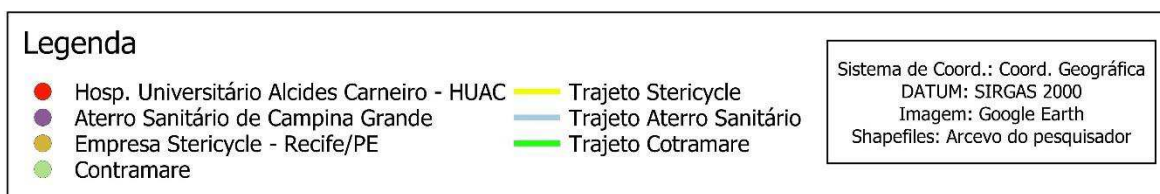
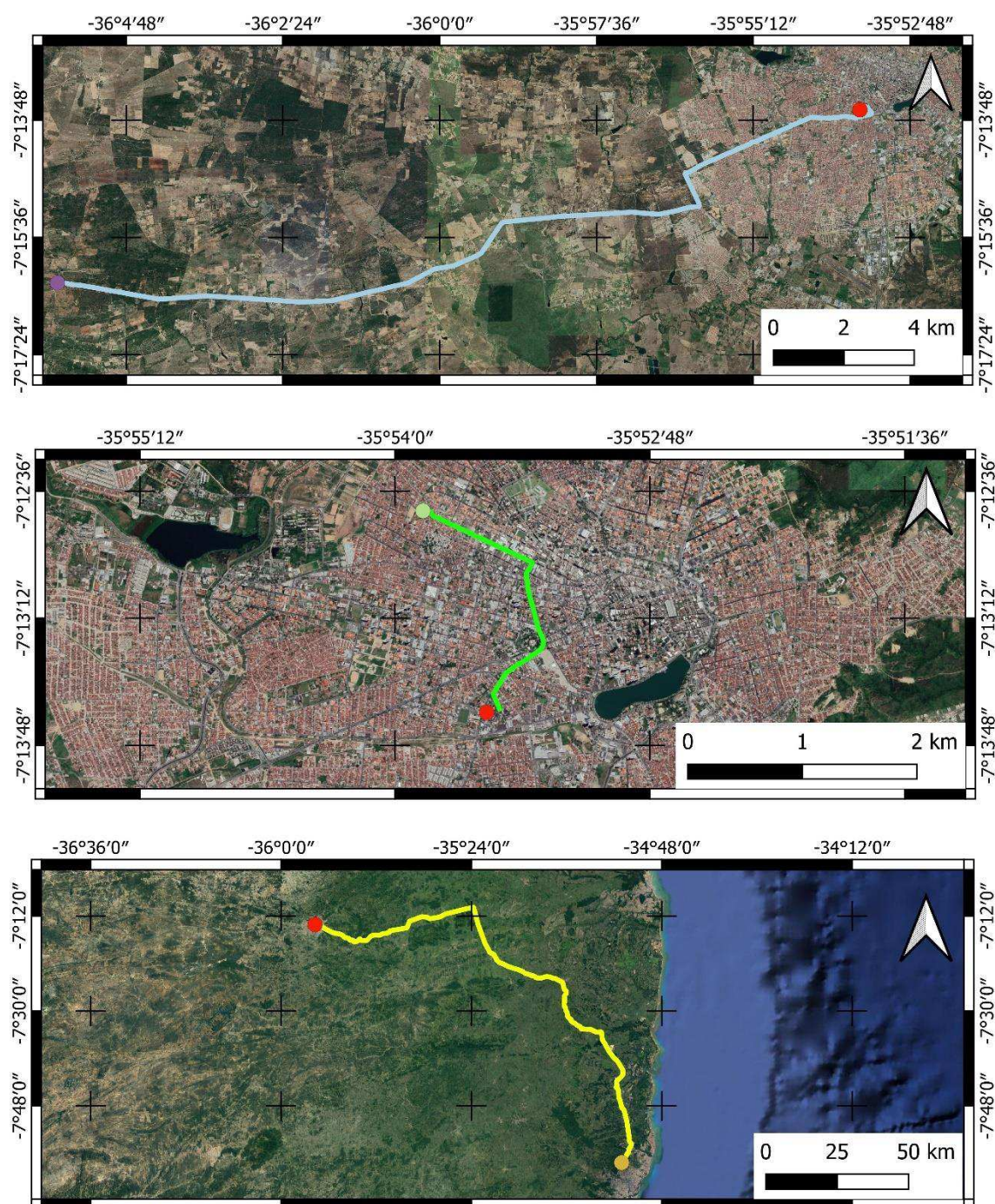
Fonte: Autores (2022).

Contudo, obtendo a trajetória de cada caminhão observada em imagens de satélite, calculou-se o percurso de ida e volta para cada empresa, o ponto de partida é o local de processamento dos resíduos até o HUAC e o retorno. A trajetória escolhida é a que apresenta o menor tempo para o retorno. A Figura 5 apresenta o deslocamento dos veículos de cada empresa. No primeiro deslocamento observa-se a trajetória dos veículos da Sesuma. Essa empresa transporta os resíduos do grupo D, não recicláveis, do HUAC para o aterro sanitário localizado no município de Catolé de Boa Vista na PB – 138. A menor trajetória foi de 22,4 km com tempo médio de 34 minutos em uma velocidade média de 80km/h, considerando ida e volta o total é de 44,6 km/viagem. Logo que ocorre o despejo, os veículos retornam ao município de Campina Grande – PB.

Ainda na Figura 5, para a cooperativa dos catadores localizada no próprio município de Campina Grande-PB, a melhor distância entre o hospital e a Cotramare foi de 2,6 km, totalizando 5,2 km, considerando ida e volta, com tempo médio de dez minutos.

Na última trajetória, o tempo médio de uma viagem do HUAC à empresa Stericycle é de, aproximadamente, 3 horas e 9 minutos para uma velocidade média de 80 km/h. A distância é de 191 km para a BR 230 e BR 101 até o local, sendo considerado a ida e volta, totalizando por cada viagem 382km.

Figura 5 - Trajetória dos veículos do HUAC ao ponto final



Fonte: Autores (2022).

### 5.3.2 Inventário geral

O consumo médio de água do setor de reciclagem foi de 1.170,3 L/t e o consumo médio de eletricidade foi de 10,02 kWh/t. Para o aterro sanitário não considerou consumo de água, apenas de eletricidade no valor de 0,041 (kWh/t) e consumo de diesel no valor de 0,010 L/t. Convertendo para o quantitativo de resíduos de serviço de saúde gerados anualmente, conforme observa-se na Tabela 6, baseado nos valores obtidos por Martins et al. (2017) ao analisar cinco galpões de coleta seletiva em João Pessoa-PB. Os demais dados de entrada foram obtidos e calculados através de monitoramento e acompanhamento do gerenciamento dos RSS do HUAC.

Tabela 4 - Dados gerais do Inventário dos RSS do HUAC de 2017 a 2020

<b>Dados de entrada</b>		<b>Quantidade (toneladas/ano)</b>			
	<b>Tipos de resíduos</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Aterro sanitário	GRUPO D -Não recicláveis	122,10	163,86	152,36	151,90
Infectantes/perfurocortante	Grupo A/E	46,77	54,65	58,66	54,96
Reciclável	Grupo D	-	24,78	22,10	19,26
<b>Transporte</b>		<b>Diesel (L/ano)</b>			
HUAC – Stericycle		495.374,544	495.374,544	495.374,544	495.374,544
HUAC – Aterro Sanitário		58.069,2	58.069,2	58.069,2	58.069,2
Aterro Sanitário de Campina Grande		1,221	1,638	1,523	1,519
HUAC – Contramare		6.249,6	6.249,6	6.249,6	6.249,6
<b>Consumo de água e energia</b>					
Consumo médio de água do setor de reciclagem (L/ano)		-	29000,03	178306,90	177768,57
Consumo de Energia do Aterro Sanitário ((Kwh/ano)		5,00	6,718	6,24	6,22
Energia do setor de reciclagem (Kwh/ano)		-	248,29	221,44	192,98
<b>Dados de saída*</b>		<b>Kg de CO<sub>2</sub></b>			
CO <sub>2</sub> dos veículos HUAC – Stericycle		1289,46	1289,46	1289,46	1289,46
CO <sub>2</sub> dos veículos HUAC – Aterro Sanitário		151,15	151,15	151,15	151,15
CO <sub>2</sub> dos veículos no Aterro Sanitário		3,17	4,26	3,96	3,95
CO <sub>2</sub> dos veículos HUAC – Contramare			16,27	16,27	16,27
		<b>Kg de CH<sub>4</sub></b>			
CH <sub>4</sub> dos veículos HUAC – Stericycle		3581,02	3581,02	3581,02	3581,02

CH <sub>4</sub> dos veículos HUAC – Aterro Sanitário	696,83	696,83	696,83	696,83
CH <sub>4</sub> dos veículos HUAC – Contramare		74,99	74,99	74,99
			<b>Kg de N<sub>2</sub>O</b>	
N <sub>2</sub> O dos veículos HUAC – Stericycle	1790,5	1790,5	1790,5	1790,5
N <sub>2</sub> O dos veículos HUAC – Aterro Sanitário	348,4	348,4	348,4	348,4
N <sub>2</sub> O dos veículos HUAC – Contramare		37,49	37,49	37,49
			<b>Kg de CO<sub>2</sub></b>	
CO <sub>2</sub> da célula no Aterro Sanitário**	2367,7	3177,49	2954,49	2945,57
			<b>Kg de CH<sub>4</sub></b>	
CH <sub>4</sub> da célula no Aterro Sanitário**	20368,14	27190,88	25415,97	25339,23

Fonte: Autores (2022). \* Dados estimados obtidos de Centro Clima (2021) \*\* Dados estimados obtidos de Moreira (2018).

## 5.4 Avaliação dos impactos de ciclo de vida (AICV)

Na avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), a apuração do inventário (ICV) foi assimilada em categorias de impactos ambientais. Habitualmente, as provas de ICV não são suficientes para a tomada de decisões pela dificuldade de interpretação isolada desses impactos. Portanto, a conversão dos resultados do ICV em potenciais impactos ambientais é um passo importante para direcionar a tomada de decisões.

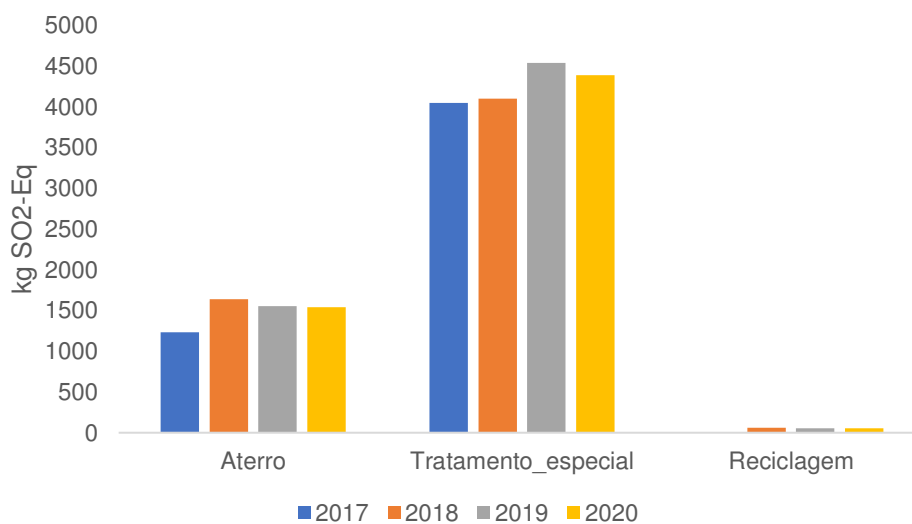
### 5.4.1 Potencial de acidificação

A emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre na atmosfera, aquíferos e solo está diretamente relacionadas ao potencial de acidificação desses ambientes. De acordo com o autor Chehebe (2002), essas emissões provocam impactos na flora e fauna, isso decorrente da diminuição do pH da água, solo e alterações do meio. No Gráfico 8, observa-se o potencial de acidificação, por meio da liberação de kg de SO<sub>2</sub> equivalente analisado no aterro sanitário, no tratamento especial realizado pela empresa Stericycle e na reciclagem na cooperativa Cotramare. A liberação de kg SO<sub>2</sub> equivalente foi maior no tratamento especial, principalmente durante o ano de 2019 com valor de 4537,96 kg SO<sub>2</sub>, provavelmente devido a distância para a realização desse tratamento.

Ao comparar o tratamento especial com aterro sanitário se pode notar que houve aumento de emissão desse poluente ao meio ambiente no ano de 2017 de 228,6%, de 150,5% em 2018, 192,42% em 2019 e 184,5% em 2020. O ano de 2017

para a destinação final aterro sanitário foi o que resultou em menor impacto; o setor de reciclagem em todos os anos avaliados contribuiu, porém de forma pouco significativa, destacando a importância da reciclagem que auxilia na diminuição nas demandas das outras formas de destinação final (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Potencial de acidificação por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

Em estudo realizado por Martins et al. (2020) avaliando ACV dos resíduos sólidos gerados no município de Campina Grande, considerando como destinação final o aterro, coleta especial e reciclagem, constataram que para cada uma tonelada de resíduos enviados ao aterro foi produzido cerca de 140 kg SO<sub>2</sub> equivalente e para a reciclagem foi de 20 kg SO<sub>2</sub> eq., enquanto nessa pesquisa para uma tonelada a média em todos os anos foram inferiores a 10,08 Kg SO<sub>2</sub> eq/t para o aterro e para a reciclagem foram obtidos valores menores que 2,4 Kg SO<sub>2</sub> eq/t.

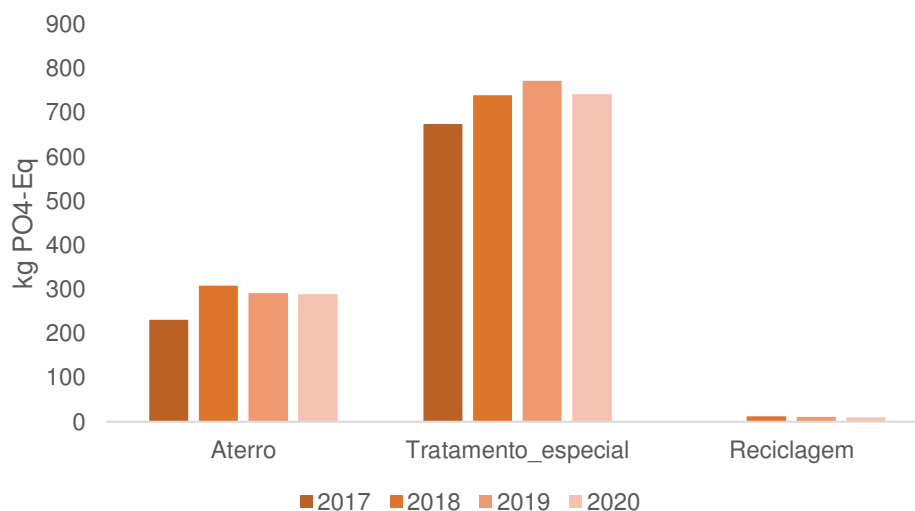
Estudando a ACV do cenário atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi-RS, Mersoni e Reichert (2017) obtiveram para a categoria acidificação, valor de 1921,49 kg SO<sub>2</sub> Eq/ano, sendo superior a todos os anos analisados para o aterro sanitário, do presente estudo e para o setor de reciclagem estes autores obtiveram dados negativos, ou seja, na etapa de reciclagem há contribuição ambiental, já que os resíduos estão deixando de ser dispostos em aterro sanitário e material volta a cadeia produtiva reduzindo o consumo de recursos naturais.

#### 5.4.2 Potencial de eutrofização

A eutrofização é um processo caracterizado pelo aumento de nutrientes nos corpos d'água o que pode acarretar no crescimento de algas de outras plantas aquáticas. A eutrofização representa um impacto ambiental que prejudica a biodiversidade aquática e a saúde humana, resultando em prejuízos do meio ambiente e econômicos. As alterações na biodiversidade e concentração de oxigênio nos ecossistemas aquáticos decorrente ao elevado aumento de nutrientes como fósforo e nitrogênio que formam agregados leves são exemplos de indicadores para o potencial de eutrofização (SMITH, 2006; HOWARTH, 2008; BOBBINK *et al.*, 2010). Os dados correspondentes ao potencial de eutrofização produzido pelos RSS, conforme a destinação final, no período de 2017 a 2020, podem ser visualizados no Gráfico 8. A quantidade de 1kg de NOx equivalente é a unidade de referência para esse indicador.

Para os impactos ambientais relacionados à eutrofização, entende-se que praticamente não houve diferença na eutrofização entre os anos, mas entre as destinações e, até o momento, o tratamento especial vem contribuindo para a maior liberação de gases com impactos, possivelmente por conta dos tipos de resíduos que são tratados e da distância percorrida pelos veículos. A empresa Stericycle também foi mais desfavorável no ano 2019 com 771,97 kg de emissão. Já para o aterro, o ano 2018 possui o maior potencial de resíduos poluentes hídricos, em torno de 308 kg. Para a reciclagem que ocorre na cooperativa a liberação de compostos com potencial de eutrofização foi de apenas 12 kg para o ano de 2018, caindo em torno de 10 kg nos anos subsequentes, (Gráfico 8). No resíduo destinado à reciclagem o ano de 2017 não foi contabilizado. Entretanto, o que pode explicar a contribuição para a eutrofização é a quantidade de resíduos biológicos em decomposição do grupo A, B e E e a liberação de subprodutos do tratamento especial.

Gráfico 8 - Potencial de eutrofização por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



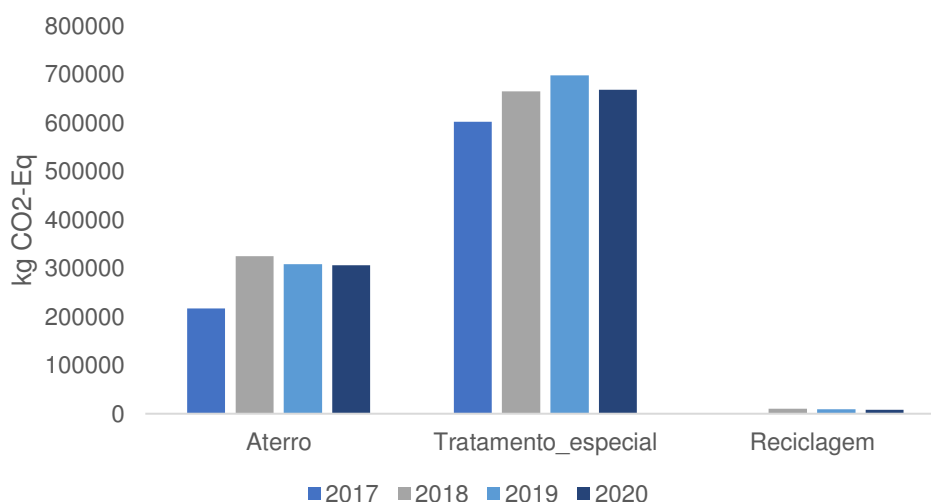
Fonte: Autores (2022).

Ao avaliar a categoria de eutrofização relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Garibaldi-RS, Mersoni e Reichert (2017) para a etapa aterro sanitário tiveram resultados de 428,57 kg PO<sub>4eq.</sub>/ano e para a etapa de coleta foi de 789,4 kg PO<sub>4eq.</sub>/ano, resultados inferiores foram obtidos nessa pesquisa referente a esta mesma etapa, considerando que na etapa de aterro está inserida a coleta, ou seja, o transporte dos resíduos até o aterro.

### 5.5.3 Potencial de aquecimento global

As mudanças climáticas relacionadas ao aumento nas quantidades de metano, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono como os principais e outros gases que interferem no aquecimento global, agem absorvendo radiação solar na atmosfera resultando em desequilíbrio ecológico (ANDREAE e CRUTZEN, 1997; LIOUSSE et al., 2004). Os agregados leves desses gases liberados pelos RSS, indicam o potencial de aquecimento global responsável por essas mudanças no clima e superfície terrestre. No presente estudo, somente foi estabelecido o gás CO<sub>2</sub> como o responsável direto no aquecimento global e estabelecendo a unidade de referência em kg de CO<sub>2</sub> equivalente. No Gráfico 9 se constata o resultado do potencial de aquecimento global para os três cenários e os anos de produção.

Gráfico 9 - Potencial de aquecimento global ou mudança climática causada por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

Para a análise do potencial de aquecimento global, o tratamento especial apresenta o cenário mais desfavorável para mudanças climáticas, com significativa liberação de CO<sub>2</sub>, numa média de 658.806 kg, seguido do aterro, média de 289.606 kg. A reciclagem possui um cenário com menor liberação de gás do efeito estufa em torno de 9.067 kg, isso se deve ao aproveitamento da matéria em processamento, (Gráfico 9).

A liberação de CO<sub>2</sub> também está associada com a queima de combustível fóssil como o diesel dos caminhões. A longa distância do HUAC até os núcleos de processamento determina o quanto de combustível será utilizado, conseqüentemente será liberando mais CO<sub>2</sub> para a atmosfera. As etapas mais relevantes em termos de emissão de CO<sub>2</sub> são do transporte de RSS realizado pelos caminhões das empresas. Somente no período de 2019 foi produzido quase 1.000.000 kg CO<sub>2</sub> equivalente, ou seja, foram produzidos 1.158.422 kg de CO<sub>2</sub> equivalente para o aterro nos quatro anos da pesquisa, 2.635.224 kg de CO<sub>2</sub> equivalente para o tratamento especial e aproximadamente 36.267 kg de CO<sub>2</sub> equivalente para a reciclagem.

Segundo Anqui Gao et al. (2017), para a categoria mudanças climáticas o aterro sanitário teve influência significativa, resultado divergente ao desta pesquisa quando se compara ao tratamento especial.

Resultados superiores foram obtidos por Mersoni e Reichert (2017) ao avaliarem as emissões na categoria de mudanças climáticas considerando o cenário

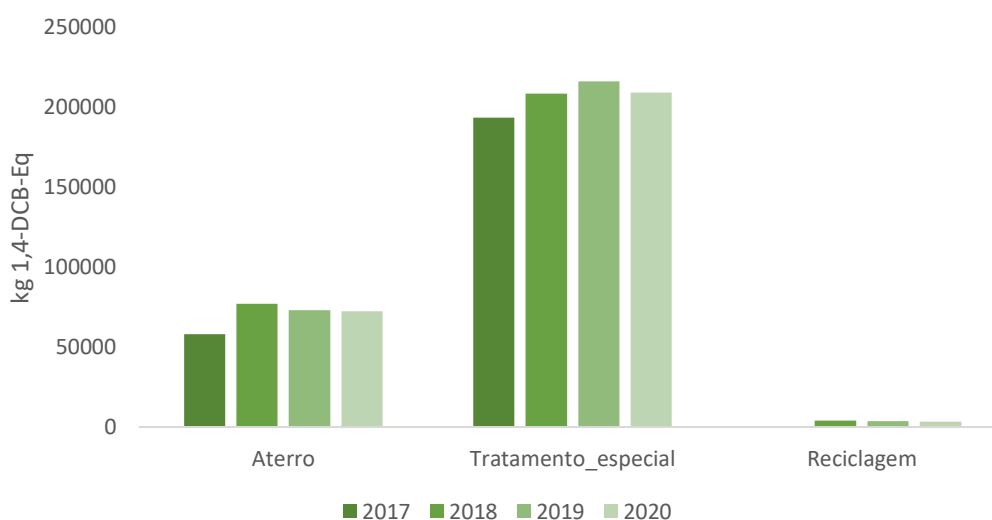


atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi-RS, abrangendo coleta seletiva, transporte, disposição final em aterro, para o aterro sanitário foram superiores a 3,7 milhões de kg CO<sub>2</sub>/ano. A coleta e a triagem somadas foram de aproximadamente 347 mil kg CO<sub>2</sub>/ano.

#### 5.4.4 Potencial de toxicidade humana

A relação desse indicador a agentes cancerígenos ou substâncias bioacumulativas, como óxidos de nitrogênio e enxofre, metais pesados e derivados do benzeno, causam toxicidade à saúde humana, liberados muitas vezes na combustão de veículos e indústria. Tais componentes podem causar doenças agudas e crônicas ao sistema respiratório da população exposta a esses poluentes (BAUMGARTEN et al., 2021). No Gráfico 10, observa-se o potencial de toxicidade humana na formação de agregados leves, tendo como unidade de referência o kg 1,4-diclorobenzeno (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>) equivalente.

Gráfico 10 - Potencial de Toxicidade humana por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

É possível observar uma significativa quantidade de queima de combustíveis fósil provenientes dos caminhões transportadores, totalizando, aproximadamente, 1.122.595 kg 1,4-DCB equivalente nos quatro anos avaliados. O óxido de nitrogênio é a principal substância de agregado leve para o potencial de toxicidade. Em uma

pesquisa, Pereira et al. (2017) mostra que a exposição aos derivados de NO<sub>x</sub> é fator de risco de alguns tipos de câncer, provoca doenças respiratórias e irritabilidade às vias aéreas superiores. Sendo assim, o controle de poluição atmosférica por meio de indicadores para estabelecer padrão de qualidade do ar pode ser medido pelos gases liberados do escapamento dos veículos.

Verifica-se para o potencial de toxicidade humana em cada núcleo de coleta (Gráfico 11), um padrão semelhante aos impactos causados pelas categorias anteriormente mencionadas, como o potencial de acidificação (Gráfico 7) e de eutrofização (Gráfico 8). Isso se deve ao fato da unidade básica para quantificar as emissões atmosféricas estar concentrada principalmente na quantidade de óleo diesel de cada processo de separação dos RSS.

No aterro, os valores para cada ano foi de: 2017 (58.017 kg 1,4 – DCB equivalente ou 23% das emissões de gases por ano), 2018 (77.060 kg 1,4 – DCB equivalente ou 27% das emissões do ano), 2019 (73.112 kg 1,4 – DCB equivalente ou 25% das emissões do ano) e 2020 (72.528 kg 1,4 – DCB equivalente ou 26% das emissões do ano). No entanto, o tratamento especial manteve os valores, respectivamente de: 2017 (193.328,5 kg 1,4 – DCB equivalente ou 77% das emissões do ano), 2018 (208.498 kg 1,4 – DCB equivalente ou 72% das emissões do ano), 2019 (216.218 kg 1,4 – DCB equivalente ou 74% das emissões no ano), 2020 (209.095 kg 1,4 – DCB equivalente ou 73% das emissões do ano). Para os dados da reciclagem, foram 2017 (sem coleta), 2018 (4.013 kg 1,4 – DCB equivalente ou 1% das emissões do ano), 2019 (3.591 kg 1,4 – DCB equivalente ou 1% das emissões do ano) e 2020 (3.454 kg 1,4 – DCB equivalente ou 1% das emissões do ano), Gráfico 10. Dessa forma, a reciclagem é o sistema que causa menor impacto ambiental.

É perceptível que a toxicidade humana possui impacto territorial tanto local quanto regional. Por isso, é relevante destacar sobre a manutenção periódica dos veículos em condições adequadas e o uso de filtros nos escapamentos com o intuito de mitigar a poluição atmosférica causada pela liberação dessas partículas nocivas à saúde, principalmente para populações expostas ao longo das trajetórias de transporte dos RSS.

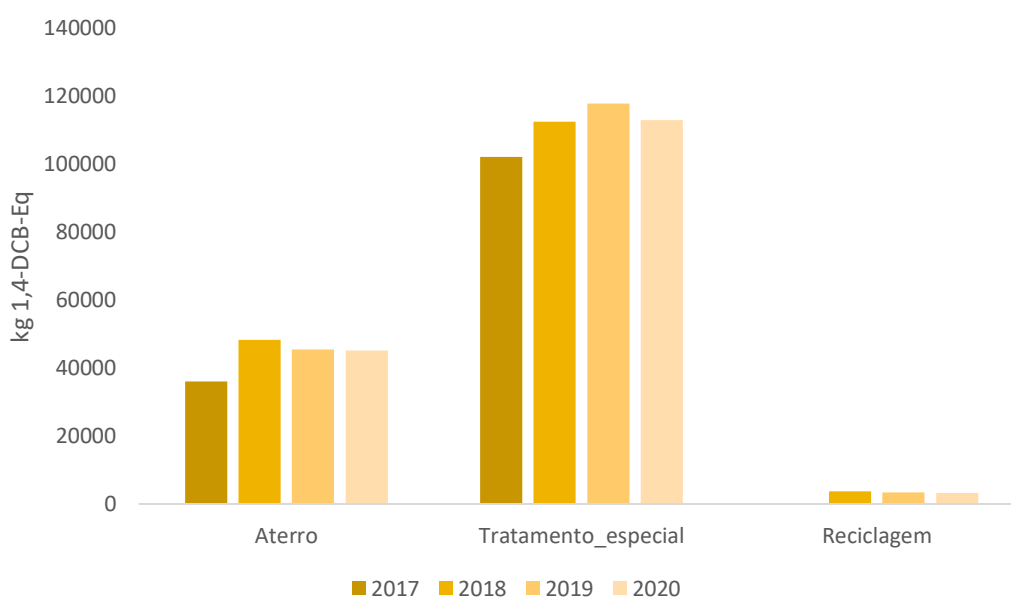
Os dados obtidos por Mersoni e Reichert (2017) para a categoria toxicidade humana na fase aterro foi de 14,3 mil Kg 1,4-diclorobenzeno (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>) equivalente ao ano ao avaliar o gerenciamento dos resíduos sólidos, este resultado foi inferior ao obtidos nesse estudo que obteve valores superiores a 28 mil kg/ano (Gráfico 10).

#### 5.4.5 Potencial de ecotoxicidade

A ecotoxicidade de água doce, marinha e terrestre possui características de referência para calcular a extensão dos impactos. A unidade de medida é kg 1,4-diclorobenzeno ( $C_6H_4Cl_2$ ) equivalente. A liberação de compostos tóxicos relativo à formação dos agregados de baixa densidade pode causar impactos em diferentes formas de vida terrestre e aquática. Vários compostos químicos podem provocar a ecotoxicidade, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e compostos orgânicos voláteis do tipo não-metano, além de metais pesados. A elevada concentração de substâncias tóxicas na água compromete a autodepuração, provocando impactos à fauna e flora presentes nos aquíferos. Dessa maneira, substâncias tóxicas tendem a causar danos também aos ecossistemas terrestres (SILVA et al., 2017). Os resultados dessa categoria estão apresentados conforme ecotoxicidade de água doce e sedimento; ecotoxicidade marinha e de sedimento; ecotoxicidade terrestre, respectivamente nos Gráficos 11, 12, 13, 14 e 15.

Os impactos da ecotoxicidade na água doce estão apresentados no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Potencial de ecotoxicidade aquática de água doce por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



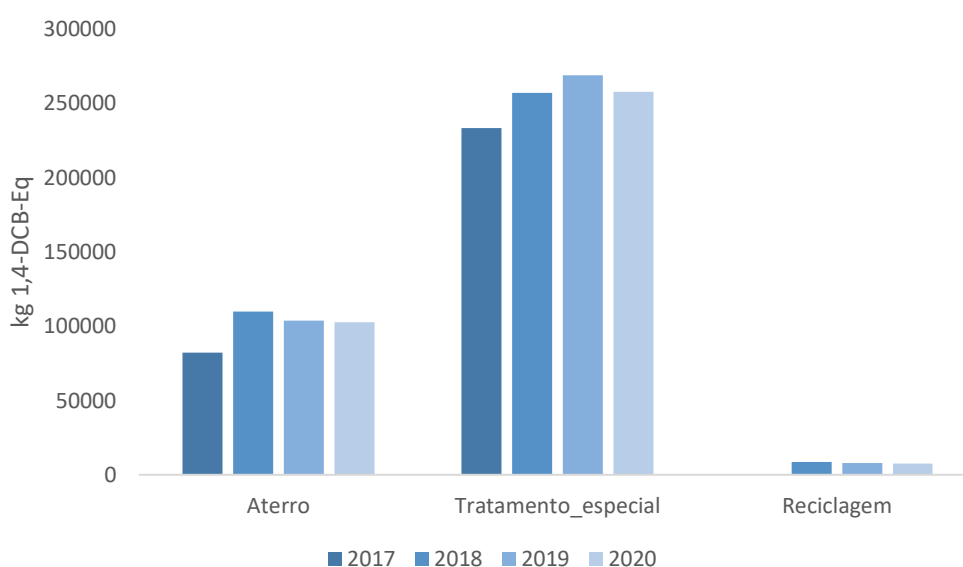
Fonte: Autores (2022).

Conforme Silva et al. (2017), a liberação de substâncias tóxicas referente a compostos nocivos na água e solo que provocam ecotoxicidade como

hidrocarbonetos policíclicos, compostos orgânicos voláteis, exceto metano, metais pesados que formam sedimentos. Essa elevada concentração pode impedir a autodepuração, provocando impactos negativos para os seres vivos presentes na água, assim como interferir nos ecossistemas terrestres.

A ecotoxicidade de sedimento de água doce no aterro, Gráfico 12, teve uma média nos quatro anos da pesquisa de 43.726 kg 1,4-DCB - equivalente, no tratamento especial foi de 111.352 kg 1,4-DCB – equivalente e na reciclagem foi de 3.459 kg 1,4-DCB – equivalente.

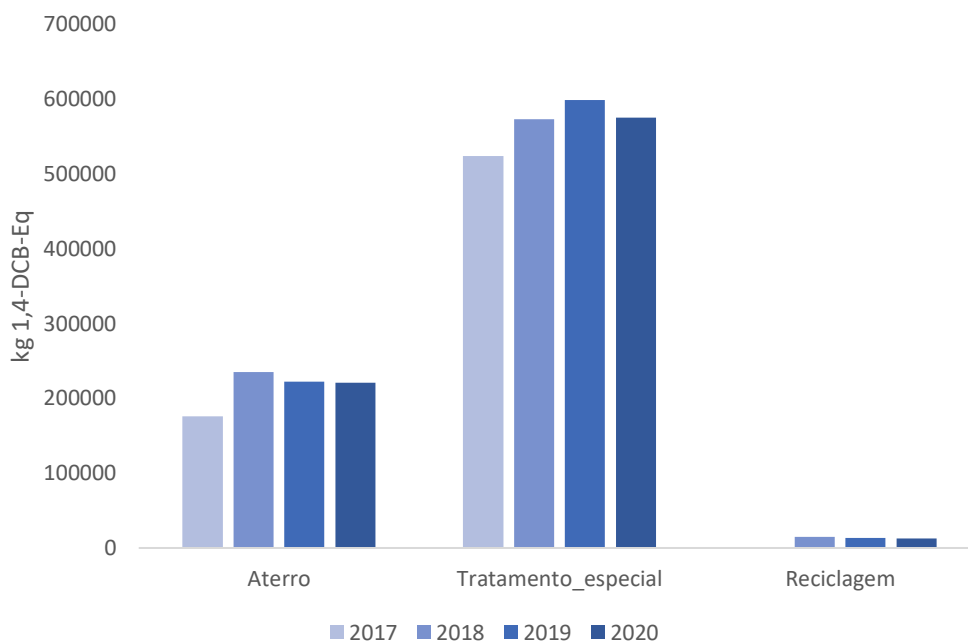
Gráfico 12 - Potencial de ecotoxicidade de sedimentos de água doce por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

De acordo com o Gráfico 13, a ecotoxicidade marinha média no aterro nos quatro anos da pesquisa foi de 213.699 kg 1,4-DCB – equivalente, no tratamento especial a média foi de 567.547 kg 1,4-DCB – equivalente e na reciclagem foi de 13.879 kg 1,4-DCB – equivalente.

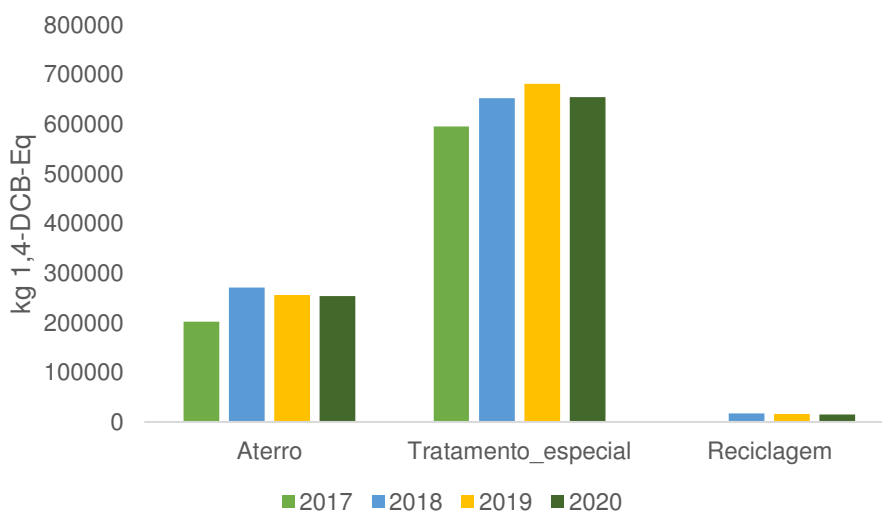
Gráfico 13 - Potencial de ecotoxicidade marinha por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

No Gráfico 14, observa-se que a ecotoxicidade de sedimento marinho a média foi: aterro (245217 kg 1,4-DCB – equivalente), tratamento especial (64.5413 kg 1,4-DCB – equivalente) e reciclagem (15.983 kg 1,4-DCB – equivalente).

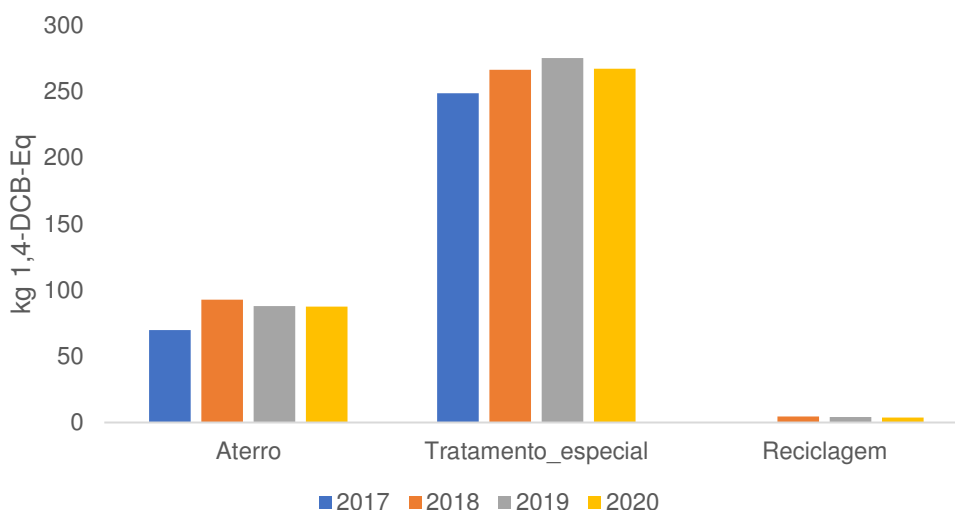
Gráfico 14 - Potencial de ecotoxicidade de sedimento marinho por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

O potencial de ecotoxicidade terrestre ainda no mesmo período de quatro anos foi verificado para o aterro com média de 84,42 kg 1,4-DCB – equivalente, para o tratamento especial, 264,19 kg 1,4-DCB – equivalente e para a reciclagem foi de 4,1 kg 1,4-DCB – equivalente, conforme constata-se no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Potencial de ecotoxicidade terrestre por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

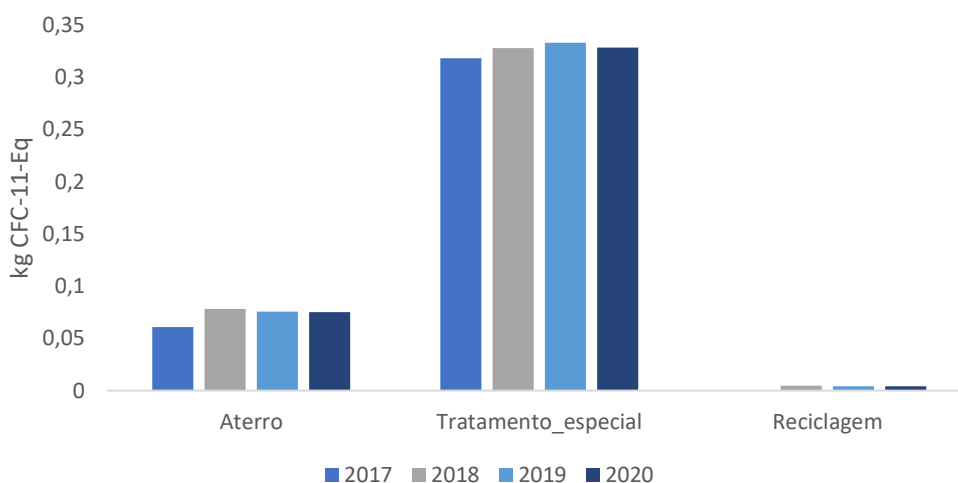
Os valores de ecotoxicidade obtido por Martins et al. (2020) foram superiores aos dados obtidos nessa pesquisa referente ao aterro sanitário e reciclagem, em relação ao tratamento especial não foram encontradas pesquisas sobre ACV e uso desse método de descarte final nem com resíduos de serviços de saúde o que evidencia esta pesquisa e ineditismo do trabalho.

#### 5.4.6 Potencial de depleção da camada de ozônio

A destruição da camada de ozônio impacta diretamente no aumento da incidência de raios ultravioletas (UV) que bombardeiam a atmosfera terrestre, consequentemente colabora para o desequilíbrio dos ecossistemas, nos impactos físico-químicos, na durabilidade de materiais expostos em longos períodos, na degradação do DNA das células, além do aumento de doenças como câncer de pele ou melanomas (CHEHEBE, 2002). O potencial de depleção da camada de ozônio pela

liberação de gases CFC (Cloro Flúor Carbonetos) é observado na Gráfico 16 e sua unidade de referência é o kg CFC-11 equivalente.

Gráfico 16 - Potencial de depleção da camada de ozônio por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

Os estágios que mais concorrem para a depleção da camada de ozônio são da locomoção dos RSS até o núcleo de processamento final, por causa das impurezas expelidas ao decorrer da combustão do óleo diesel nos veículos. A média de emissão no aterro foi de 0,07 kg CFC -11 equivalente, no tratamento especial foi de 0,32 kg CFC -11 equivalente e 0,004 kg CFC -11 equivalente na reciclagem, Gráfico 16.

As substâncias que cooperam para o potencial de depleção da camada de ozônio são resultantes dos subprodutos da combustão. Portanto, esses produtos refletem os danos ambientais relacionados as trajetórias que mais utilizam óleo diesel, por causa das extensas distâncias do transporte dos RSS, assim como o processo de incineração. Por meio do Gráfico 16 é perceptível localizar os estágios que mais colaboram para a depleção da camada de ozônio como o transporte de RSS que inicia no HUAC para o tratamento especial.

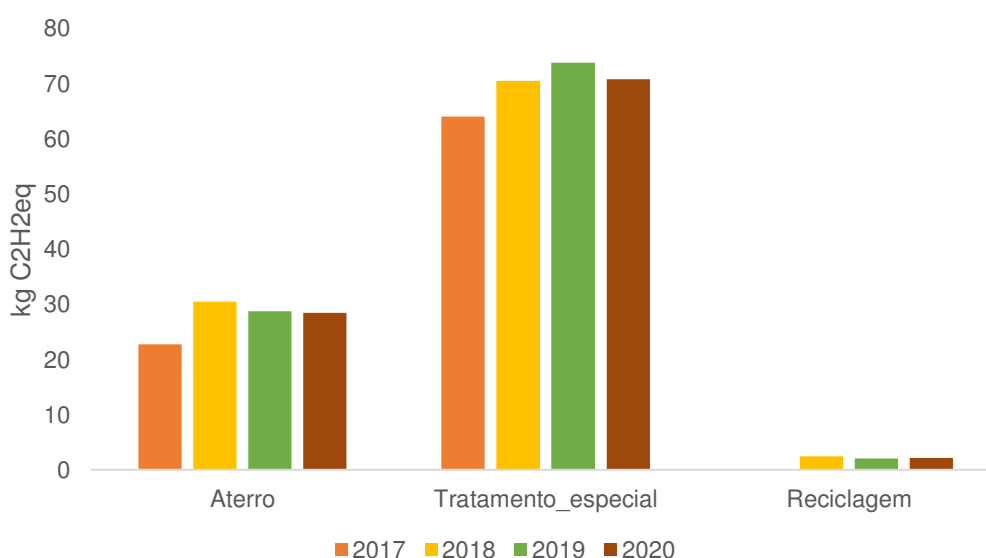
O ozônio que envolve a atmosfera tem papel de refletir parte da radiação solar, principalmente raios UV, colaborando para amenizar os efeitos nocivos da radiação solar nos organismos vivos. Os raios UV são os responsáveis por algumas mutações que ocorrem no DNA, afetando até no crescimento de culturas bacterianas e na

quantidade de biomassa das plantações agrícolas, acarretando em impactos nos biomas do mundo e brasileiro (SOUSA, 2013).

#### 5.4.7 Potencial de oxidação fotoquímica

A unidade de referência é kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (etino) equivalente. O potencial de produção de oxidantes fotoquímicos demonstra os resultados da reação de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) com compostos orgânicos voláteis com interferências de raios UV, produzindo oxidantes fotoquímicos (CHEHEBE, 2002). Os poluentes primários derivados das emissões de caminhões, basicamente óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, reagem na atmosfera com ação da luz solar produzindo substâncias secundárias, a exemplo de aldeídos e ozônio. O efeito visual é a produção de um *smog* fotoquímico ou nevoeiro composto por gases poluentes primários e secundários. O Gráfico 17 indica a quantidade do potencial de produção de oxidantes fotoquímicos em acordo com a produção em kg de agregado leve para as três trajetórias de RSS do HUAC.

Gráfico 17 - Potencial de oxidação fotoquímica por resíduos hospitalares obtidos em aterro, tratamento especial e reciclagem em Campina Grande-PB



Fonte: Autores (2022).

A liberação média de acetileno ou etino no aterro foi de 27,6 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> equivalente com uma leve redução entre os anos de 2019 e 2020. Foram 69,7 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> equivalente no tratamento especial com aumento gradual entre os anos de 2017 a 2019 e uma seguida redução em 2020. Finalizando com 2,2 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> equivalente na



reciclagem, com um leve aumento da emissão em 2018 e diminuição nos anos seguintes, Gráfico 17.

O consumo de combustível diesel e as distâncias de transporte têm interferência direta nos resultados. Por essa razão, a quantidade de emissões atmosféricas produzida na trajetória dos veículos cooperou efetivamente nos resultados para cada cenário. As consequências da liberação de oxidantes fotoquímicos trazem danos locais e regionais. As substâncias são nocivas à saúde dos seres vivos em geral. O ozônio consegue perturbar as funções pulmonares, intensificar problemas cardíacos e estimular alterações oculares. Os prejuízos também são capazes de impactar a vegetação adjacente, por exemplo: Alterações no crescimento de plantas e perda da resistência às pestes e estiagem, o que colabora para diminuição da vegetação nativas regional (CHEHEBE, 2002).

Em cada categoria de impactos analisada se observa que o aumento dos RSS direcionados para a reciclagem, reduz materiais sendo dispostos em aterro sanitário e para tratamento especial, potencializando a recuperação de materiais e a sua inserção na cadeia produtiva, sendo a destinação final que impacta menos o meio ambiente como afirmam Mersoni e Reichert (2017). A utilização de tratamentos integrados dos resíduos, devido sua heterogeneidade propicia maior eficiência na reciclagem e menores valores de impactos ambientais, como verificado por Li et al. (2015).

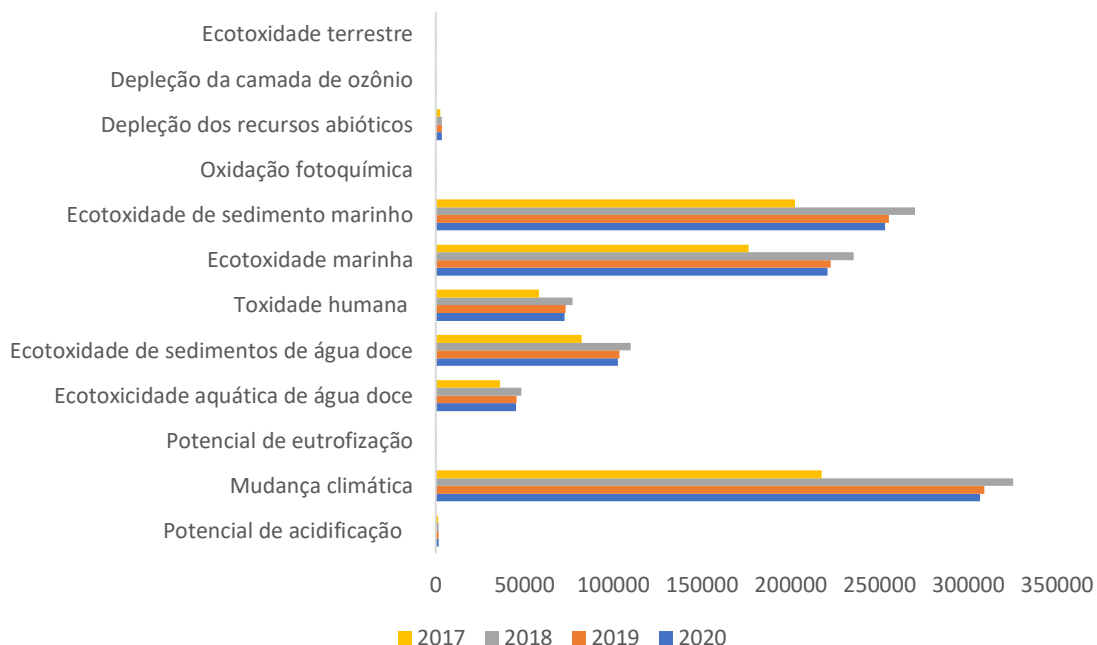
#### 5.4.8 Avaliação dos impactos para cada destinação

A destinação final dos RSS foi dividida em três categorias: aterro sanitário, tratamento especial e reciclagem. Analisando a destinação para o aterro, os impactos como mudanças ambientais ou relacionados com o aquecimento global pela liberação de kg CO<sub>2</sub> equivalente foram mais expressivos (Gráfico 18), isso pode ser explicado pela quantidade de matéria orgânica em decomposição e a combustão de metano proveniente da putrefação e bactérias anaeróbicas.

No aterro sanitário, observa-se uma liberação significativa em gases responsáveis por mudanças climáticas ou gases do aquecimento global como óxidos de carbono como o CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos como o CH<sub>4</sub>. Esses gases possuem propriedades físico-químicas de absorção da radiação solar, outro exemplo é a acidificação do meio com o dióxido de carbono na formação do ácido carbônico em

meio aquoso acarretando numa forma de ecotoxicidade para seres vivos marinhos devido mudança no potencial hidrogeniônico. A análise desses impactos presentes no Gráfico 18.

Gráfico 18 - Análise dos impactos ambientais provenientes do aterro sanitário

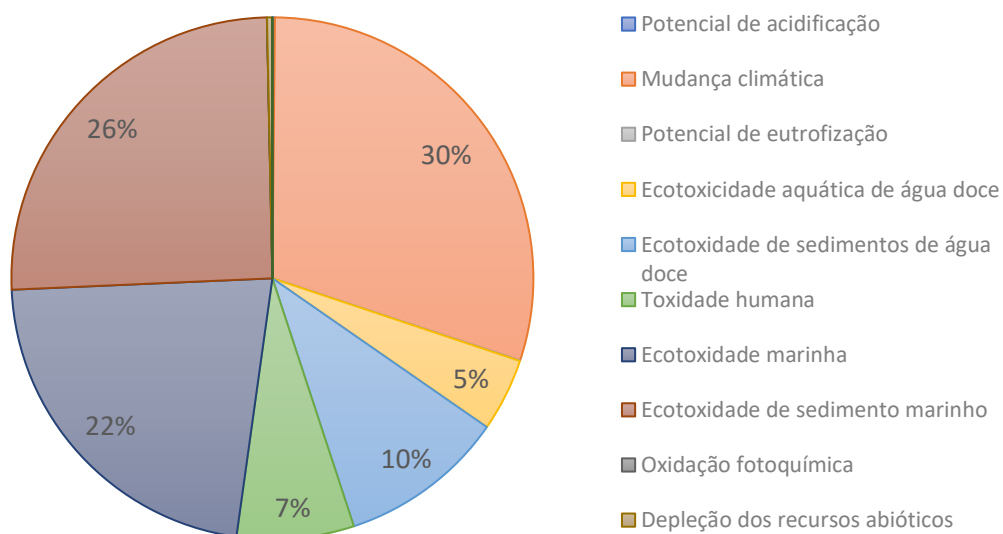


Fonte: Autores (2022).

Conforme o Gráfico 19, as principais contribuições na questão de impactos ambientais no aterro sanitário foram: Mudanças climáticas (30%), seguido por ecotoxicidade de sedimento marinho (26%), ecotoxicidade marinha (22%), potencial de acidificação (10%), toxicidade humana (7%), ecotoxicidade aquática de água doce (5%), os demais abaixo de 1%.

Um estudo de Paes (2018) sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos: integração de indicadores ambientais e econômicos por meio da avaliação do ciclo de vida na cidade de Sorocaba SP, mostrou que num cenário os impactos ambientais foram: mudanças climáticas (60%), seguido de material particulado (14%), acidificação (10%), toxicidade humana (9%) e eutrofização (7%).

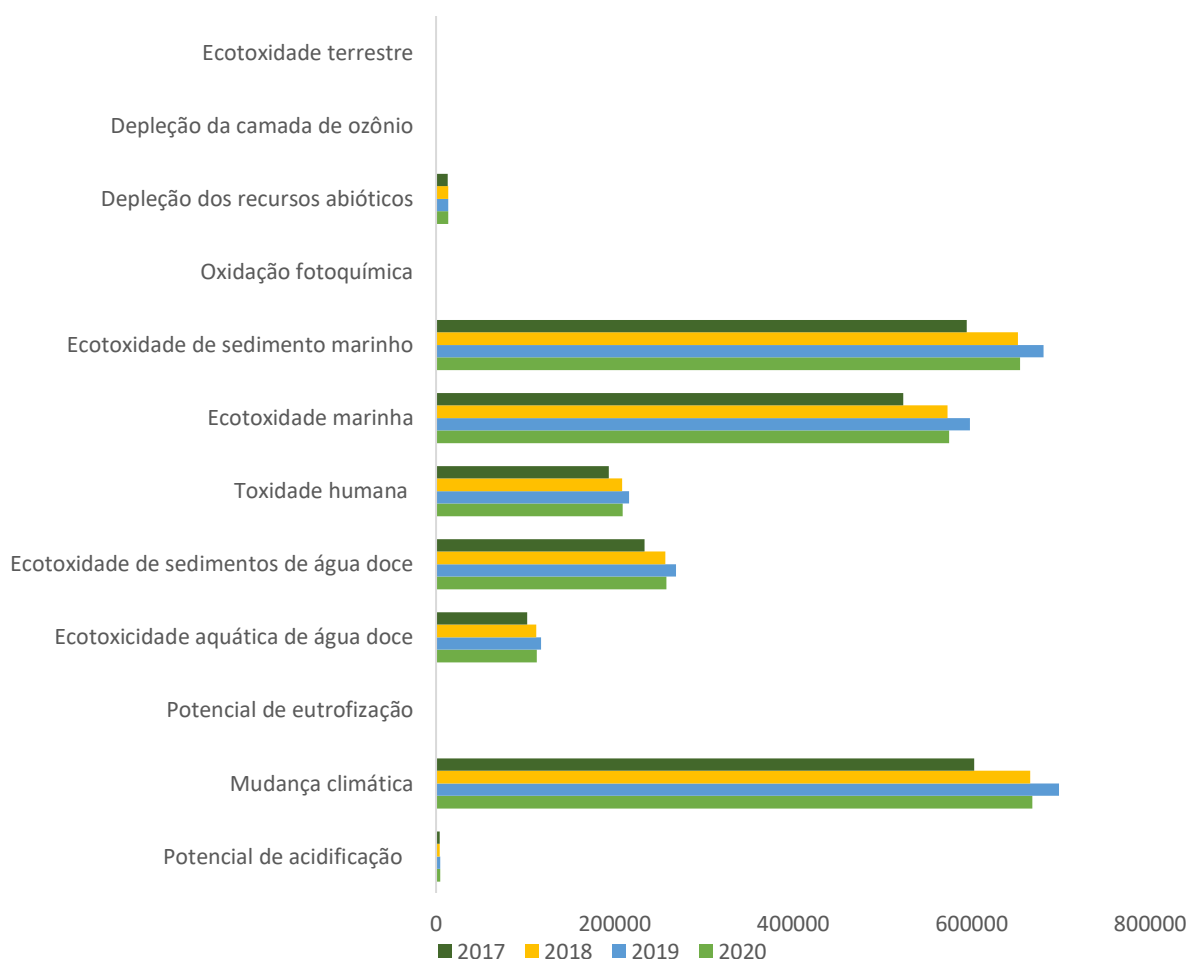
Gráfico 19 - Porcentagem dos impactos ambientais no aterro



Fonte: Autores (2022).

No tratamento especial observa-se o aumento potencial de aquecimento global, seguido por potencial de ecotoxicidade de sedimento marinho. Os impactos ambientais que mais se destacam devido o processamento dos RSS na empresa Stericycle, responsável pelo tratamento especial são os gases liberados como CO<sub>2</sub> responsáveis pelas mudanças climáticas, isso ocorre de uma forma relativamente constante nos quatros anos analisados. Em segundo, a ecotoxicidade no ambiente marinho, assim como sua sedimentação, seguido pela toxidade água doce e humana, de acordo com a Gráfico 20.

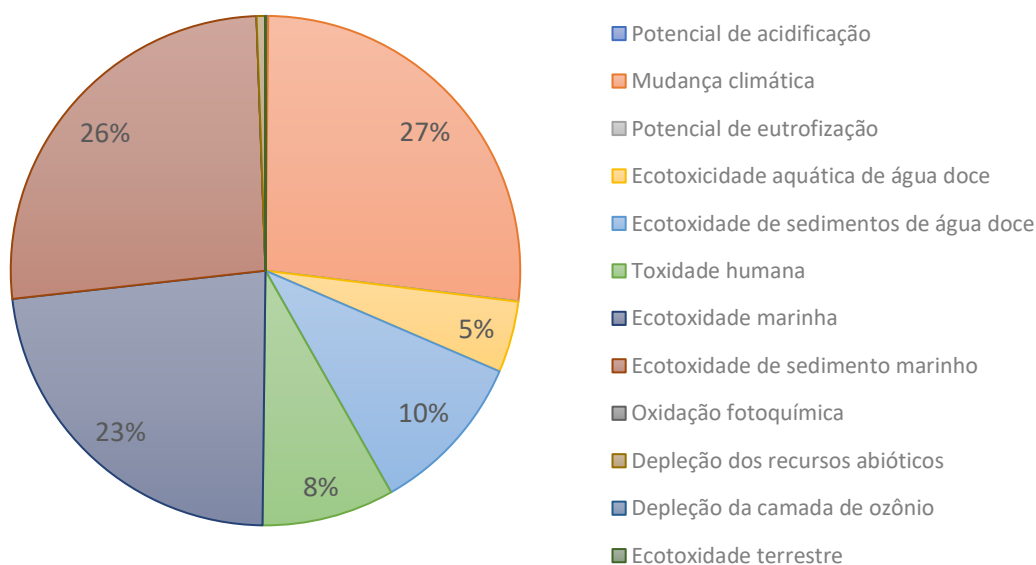
Gráfico 20 - Análise dos impactos ambientais provenientes do tratamento especial realizado na empresa Stericycle



Fonte: Autores (2022).

O potencial de aquecimento global supera o potencial de ecotoxicidade de sedimento marinho, Gráfico 20, isso explica que durante o tratamento especial o produto final está mais associado a produção de metais pesados, compostos nocivos e produtos que liberam gases como o dióxido de carbono, além de outros gases responsáveis por esse impacto específico. De acordo com o Gráfico 21, as principais contribuições na questão de impactos ambientais no tratamento especial foram: Mudanças climáticas (27%), seguido por ecotoxidade marinha (23%), ecotoxidade de sedimento de água doce (10%), toxicidade humana (8%), ecotoxidade de água doce (5%), os demais abaixo de 1%.

Gráfico 21 - Porcentagem dos impactos ambientais no tratamento especial



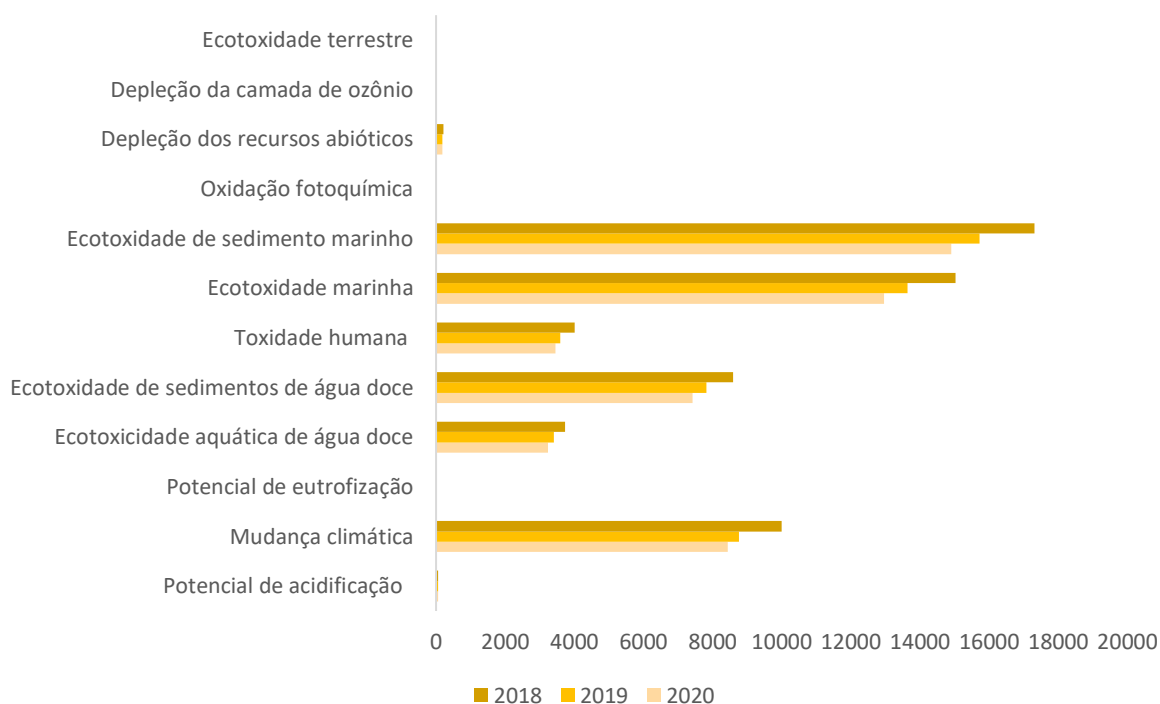
Fonte: Autores (2022).

Um das contribuições mais significativas das emissões foi em relação ao transporte devido à distância onde é coletado os RSS. Resultados semelhantes foram abordados por Cunha (2021) ao realizar pesquisa sobre ACV de resíduos orgânicos, sendo que a categoria que mais foi influenciada foi a de mudanças climáticas com cerca de 60% de contribuições. Silva (2018) também relata que isso ocorre devido os longos percursos para a coleta dos resíduos e os locais de triagem ou destinação final. Um dos fatores que fazem o transporte ser um aspecto com elevada contribuição é o uso de combustíveis fósseis, incrementando mais de 60% do valor total do impacto, como afirmam Al-Rumaihi et al. (2020).

Para diminuir a contribuição do transporte Cunha (2021) propõe reduzir o percurso, através de uma eficiente logística. Em relação à pesquisa atual, os RSS que fossem destinados a tratamento especial, uma empresa que estivesse localizada no mesmo estado já reduziria os custos com combustível e mitigação de impactos, o que torna interessante essa decisão.

Para a cooperativa Cotramare, os principais danos causados no meio ambiente são ecotoxicidade marinha, sedimentos marinhos e de água doce. Outros impactos como mudanças climáticas também são significativos de acordo com o Gráfico 22.

Gráfico 22 - Análise dos impactos ambientais provenientes da reciclagem realizada na cooperativa Cotramare



Fonte: Autores (2022).

Sendo assim, no Gráfico 23, averigua-se que as principais contribuições na questão de impactos ambientais na reciclagem, foram: ecotoxicidade de sedimento marinho (29%), ecotoxicidade marinha (26%), mudanças climáticas (17%), ecotoxicidade de sedimento de água doce (15%), toxicidade humana (7%), ecotoxicidade de água doce (6%), os demais abaixo de 1%.

Gráfico 23 - Porcentagem dos impactos ambientais na reciclagem



Fonte: Autores (2022).

Devido a carência de estudos com semelhantes condições, foram feitas comparações com pesquisas relacionadas com resíduos sólidos, ou similares. Até o presente momento não foram encontrados estudos significativos sobre ACV para RSS, especificamente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No ano de 2020 os resíduos de serviços de saúde no Hospital Universitário Alcides Carneiro não tiveram aumento impactante na quantidade produzida em relação aos anos anteriores sem acometimento da pandemia de coronavírus. Entretanto, ocorreu redução significativa na diversidade dos serviços prestados nas especialidades médicas (cerca de 40%), dando-se prioridade de atendimento para pacientes com COVID-19. Outrossim esclarecer que essa avaliação quando realizada de forma pontual, relacionando-a diretamente com a curva ascendente dos casos de COVID-19 no HUAC, tirando o ano de 2019, percebe-se que o aumento dos resíduos infectantes no período de 2020 torna-se bem significativo.

Se tivesse ocorrido os atendimentos médicos normais e adicionasse os pacientes com COVID-19, sem dúvidas o ano de 2020 teria havido maior percentual de RSS, uma vez que além do aumento crescente das consultas ambulatoriais (devido às novas pactuações) e internações, teria sido realizado um quantitativo considerável de procedimentos cirúrgicos, bem acima dos dados atuais apresentados pela instituição.

O ano de 2019 teve maior registro de resíduos infectantes/ perfurocortantes, enquanto os resíduos comuns e recicláveis tiveram maior quantidade no ano de 2018; fato este, atribuído a diversos ajustes em âmbito interno, uma vez que nesse período ainda estava sendo consolidado as ações de pesagem setorial dos resíduos pela comissão de gerenciamento para um acompanhamento contínuo desse processo.

A quantidade de resíduos infectantes/perfurocortantes e de resíduos comuns gerados no HUAC precisa ser reduzida e isso pode ser feito através da segregação com maior taxa de eficiência, pois, esse fator é fundamental e reflete em todo o fluxo logístico para o manejo em suas diversas etapas até a destinação/disposição final adequada desses resíduos;

O setor que possui maior geração de RSS é a UTI adulto, sendo necessário observar e/ou reavaliar os fluxos deste setor e trabalhar sob um olhar sistêmico, visando otimizar adequadamente todo o processo de gerenciamento;

O tratamento especial foi a destinação final que resultou em elevados impactos em todas as categorias analisadas e em todos os anos, quando comparada as outras formas de destinação adotada, sendo influenciada pela contribuição do transporte;



A disposição de resíduos em aterro sanitário contribuiu significativamente principalmente no ano de 2018 para o aumento dos impactos nas mudanças climáticas, ecotoxicidade de sedimentos marinhos e de água doce e ecotoxicidade marinha;

Para as categorias mudanças climáticas, ecotoxicidade de sedimentos marinhos e de água doce, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana para a destinação do tratamento especial, teve contribuições expressivas em todos os anos, destacando-se o ano de 2019. Processos como incineração realizados por esse tratamento é um método que reduz significativamente o volume de resíduos, mas apresenta uma desvantagem de alto custo de implantação, manutenção e operação. Ainda se tem o alto consumo de combustível decorrente da localização em outro Estado. Todos esses fatores contribuem para liberação de gases do efeito estufa e resíduos que colaboram para mudanças climáticas, ecotoxicidade e toxicidade humana.

A reciclagem foi a destinação que teve os menores valores de contribuição em todas as categorias de impactos e em todos os anos, sendo uma das maneiras mais recomendada a ser implantada e potencializada.

Conforme o Conselho Nacional de Secretários de Saúde (CONASS), existiram três picos com altas taxa de mortalidade de paciente de COVID-19. Houve três ondas expressivas com mortalidade de infectados. A primeira em 2020, a segunda em 2021 e a terceira onda de doentes e mortes em 2022. O presente estudo foi realizado com os dados obtidos da primeira onda de COVID-19 referente ao ano de 2020. Todavia, há um interesse da equipe de pesquisadores do HUAC e UFCG em investigar os anos subsequentes, 2021 e 2022, utilizando a ACV, quantificar a produção de RSS e, conseqüentemente, os impactos ambientais causados por essa geração de resíduos ainda não contabilizada até o presente momento nesses períodos. A importância dessa investigação é torna a ACV uma ferramenta no gerenciamento dos serviços de saúde para mitigação de geração de resíduos e impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2018.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10004: A classificação de resíduos sólidos segundo a ABNT**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISSO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR12808 de 04/2016: Resíduos de serviços de saúde – Classificação**. Segunda edição. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ISSO/TR 14047: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISSO 14044 a situações de avaliação de impacto**. Primeira edição. Rio de Janeiro, 2016.

ADAMA, M. et al. **Heavy Metal Contamination of Soils around a Hospital Waste Incinerator Bottom Ash Dumps Site**. Journal of Environmental and Public Health, v. 2016, p. 1–6, 2016.

Al- RUMAIHI, A.; MCKAY, G.; MACKEY, H.R. and Al-ANSARI, TAREQ. **Environmental Impact Assessment of Food Waste Management Using Two Composting Techniques**. In: Sustainability, 12(4), 1595, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12041595>.

ALVES, S.B.; SOUZA, A.C.S.E; TIPPLE, A.F.V.; REZENDE, K.C.A.D.; RESENDE, F.R.; RODRIGUES, E.G.; PEREIRA, M.S. (2014) **The reality of waste management in primary health care units in Brazil**. Waste Management & Research, v. 32, n. 9, supl., p. 40-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0734242X14543815>

ANDRADE. E. A. **Avaliação do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos: um estudo de caso da coleta seletiva do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. UFRJ, 2014.

ANDRADE, G.S.; RICARDO, D.L.; OROZCO, M.M.D. **Caracterização quantitativa dos resíduos de serviços de saúde em uma unidade hospitalar de Ji-Paraná/RO**. In: XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Vitoria/ES, 2020.

ANDREAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. **Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry**. Science, v. 276, p.1.052-1.058, 1997.

ANQI GAO; ZHENYU TIAN; ZIYI, WANG; WENNERSTEN, R. and QIE SUN. **“Comparison between the Technologies for Food Waste Treatment.”**. In: Energy Procedia, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.811>.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC n.222/2018. Brasília: ANVISA, 2018.

BAUMAN, H.; TILLMAN, A. M. **The Hitch Hiker’s Guide to LCA**. Sweden. Lund: Studentlitteratur AB, 2004.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas: descrição de parâmetros referidos na legislação ambiental**. Universidade Federal do Rio Grande. Editora da FURG. 2ª ed. Rio Grande do Sul – RS, 2021.

BARBOZA, E. M. F. **Rótulos Ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV)**. Rotulagem Ambiental, IBICT, P. 1–14, 2001.

BOBBINK, R.K., HICKS, J., GALLOWAY, T., SPRANGER, R. A., LKEMADE, M. A., SHMORE, M., BUSTAMANTE, S., CINDERBY, E., DAVIDSON, F., DENTENER, B., EMMETT, J.-W., ERISMAN, M., FENN, F., GILLIAM, A., NORDIN, L., PARDO AND DEVRIES, W. **Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis**. *Ecological Applications*, 20(1), pp. 30 – 59, 2010.

BOROWSKI, S. **Co-digestion of the hydromechanically separated organic fraction of municipal solid waste with sewage sludge**. *Journal of Environmental Management*, v. 147, p.87-94, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.013>.

BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental Assessment of Alternative Municipal Solid Waste Management Strategies. A Spanish Case Study. *Waste Management*, 2010, vol. 30, p. 2383-2395.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução - ANVISA. RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004.

\_\_\_\_\_. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 222 de 28 de março de 2018**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. Ministério da Saúde. Brasília-DF, 2018

\_\_\_\_\_. Decreto Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília- DF, 2 de agosto de 2010.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de informações sobre Saneamento – SNIS. **Manejo dos resíduos urbanos – 2019**. Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>. Acessado em: 09 de abril de 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. Acesso à Informação, 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 358**. Brasília, 2005.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. Brasília: CONASS, 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005.

BOJANOWSKA-CZAJKA A., DRZEWICZ P., WÓJCIK L., TROJANOWICZ M.: **Degradation of perfluorinated carboxylic acids in aqueous solutions with the use of ionizing radiation**. In: INCT Annual Report 2008. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa 2009, pp. 51-53.

BRUM, T.T.; MODOLO, R.C.E. **Avaliação e monitoramento dos resíduos de serviços de saúde do grupo A, B e E no hospital de Novo Hamburgo (RS)**, Brasil: Estudo de Caso. R. gest. sust. ambient., v. 8, n. 4, p. 567-587, 2019.

CAFURE, V. A.; PATRIARCHA-GRACIOLLI, S. R. **Os resíduos de serviço de saúde e seus impactos ambientais: uma revisão bibliográfica**. Interações, v.16, n.2, p.301- 314, 2015.

CENTRO CLIMA. Emissão de Gases de Efeito Estufa -2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental. CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ Apoio: Instituto Clima e Sociedade (ICS) WWF -Brasil. (2021), 79p.

CHAERUL, M.; TANAKA, M.; SHEKDAR, A. V. **A system dynamics approach for hospital waste management**. Waste Management, v. 28, n. 2, p. 442–449, jan. 2008.

CHARTIER, Y.; EMMANUEL, J.; PIEPER, U.; PRÜS A.; RUSHBROOK, P.; STRINGER, R.; TOWNEND, W.; WILBUM, S.; ZGHONDI, R.; World Health

Organization. **Safe management of wastes from healthcare activities.** ed World Health Organization. 2<sup>a</sup> ed, 2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 2002.

CHRISTENSEN, T.H.; BHANDER, G.; LINDVALL, L.; LARSEN, A.W.; FRUERGAARD, T.; DAMGAARD, A.; MANFREDI, S.; BOLDRIN, A.; RIBER, C., & HAUSCHILD, M. **Experience with the use of LCA-modelling (EASEWASTE) in waste management.** Waste Management Research, v. 25, p. 257-262, 2007.

COLTRO, L; MOURAD, A. L.; GARCIA, E. C.; QUEIROZ, G. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão.** Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA / ITAL, 2007.

CONCEIÇÃO, A. M. **Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços em saúde e conhecimentos dos profissionais envolvidos no processo, em unidades de um sistema municipal de saúde no recôncavo baiano**, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6040849/>>. Acesso em: 21 de out 2020.

CONCEIÇÃO, D.; VIANA, V.; BATISTA, A.; ALCÊNTARA, A.; VANCCIN, P.; RIBEIRO, R. **A importância da capacitação dos profissionais de saúde para realização da segregação dos resíduos hospitalares.** Brazilian Journal of Development. Curitiba, v.6, n.8, p. 59391-59396 agosto de 2020. ISSN 2525-8761.

COSTA, W; FONSECA, M. **A Importância do gerenciamento dos resíduos hospitalares e seus aspectos positivos para o meio ambiente.** HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, ISSN: 1980-1726, 31 dez. 2009.

COSTA, M. S. V. **O enfoque de ciclo de vida como estratégia para a gestão sustentável: um estudo de caso sobre pneus.** 158f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CUNHA, T. C. **Avaliação do ciclo de vida de alternativas de gestão de resíduos sólidos orgânicos: estudo de caso em Ceilândia e Taguatinga.** 2021. 124 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) —Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

DAI-PRA, L.B.; MORAES, C.A.M.; GOMES, L.P.; MARQUES, V.M. **Avaliação de ciclo de vida (ACV) aplicada à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros: uma revisão.** R. bras. Planej. Desenv., v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p.353-364, 2018.

DECRAENE, V. et al. A Large, Refractory Nosocomial Outbreak of *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemase-producing *Escherichia coli* Demonstrates Carbapenemase Gene Outbreaks Involving Sink Sites Require Novel Approaches to Infection Control. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 62, n. 12, p. 1-12. 24 set. 2018.

DI MARIA, F.; MICALE, C. life cycle analysis of management options for organic waste collected in na urban área. *Environ SciPollut Res*, v.22, p.248-263, 2015.

ELLIOTT P.; SHADDICK G.; KLEINSCHMIDT I.; Jolley D.; JOLLEY WALLS P.; BERESFORD J.; GRUNDY C. **Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain.** *Br J Cancer* 1996;73(5):702-710.

EUROPEAN COMMISSION (EC). 2008. **European Platform on Life Cycle Assessment.** Disponível em: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 25 out. 2020.

FERBER, M. C. S. **Avaliação do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos de serviço de saúde do hospital Instituto de Medicina e Cirurgia do Paraná – IMPC.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

FERREIRA, J. A. **Resíduos sólidos e lixo hospitalar: uma discussão ética.** Cadernos de Saúde Pública, v. 11, p. 314-320, 1995. Disponível em: <[https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X1995000200015&lang=pt](https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1995000200015&lang=pt)>. Acesso em: 20 de out de 2020.

FERREIRA, J. P. M.; SILVA, M. M. P.; PAIVA, W. **Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde em hospital público de um município de grande porte.** Society and Development, v. 9, n. 12, e38191211270, ISSN 2525-3409, 2020.

FERCHICHI, M.; DHAOUADI, H. **Sorption of paracetamol onto biomaterials.** Water Science and Technology, v. 74, n. 1, p. 287–294, 7 jul. 2016.

FEKADU, S. et al. **Assessment of antibiotic- and disinfectant-resistant bacteria in hospital wastewater, South Ethiopia: a cross-sectional study.** The Journal of Infection in Developing Countries, v.9, n.02, p. 149-156, 19 fev. 2015.

FINKBEINER, M. (Org.), **Towards Life Cycle Sustainability Management**, 1 ed. Springer, 2011.

FRANCHINI M.; RIAL M.; BUIATTI E.; BIANCHI F. **Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies.** Ann 1st Super Sanità. 2004;40(1):101-115

GOMES, P. A. M.; GARBIN, A. J. I.; ARCIERI, R. M.; ROVIDA, T. A.; GARBIN, C. A. S. **Saúde e segurança no trabalho: as implicações do processo de gerenciamento dos resíduos de saúde no serviço público.** Archives of Health Investigation, v.4, n.4, p.44-49, 2015.

GUINEE, J. **Handbook on Life Cycle Assessment.** An Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers. 2001.

HOWARTH, R. W. **Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally.** Harmful Algae, 8(1), 14–20, 2008.



HORNE, R.; GRANT, T.; VERGHESE, K. **Life Cycle Assessment: Principles, practice and prospects**. Austrália. CSIRO, 2009.

HUNT, R.G.; FRANKLIN, W. E. **LCA – How it came about: Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA**. International Journal of LCA. Vol 1, nº 3, página 147-150. 1996.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

ISWA. International Solid Waste Association Report, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/1wbAY2w>. Acessado em: 28 de out. de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. ISO/TS 14.048 Environmental Management - **Life Cycle Assessment** - Data Documentation Format. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. ISO/TR 14.047 Environmental Management - **Life Cycle Assessment** - Illustrative Examples on How to Apply ISO 14044 to Impact Assessment Situations, 2012a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. ISO/TR 14.049 ENVIRONMENTAL MANAGEMENT - **Life Cycle Assessment - Illustrative Examples on How to Apply ISO 14044 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis**, 2012b.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Análise de Ciclo de Vida: Conceitos e função**. Arquivo da palestra apresentada no fórum governamental de responsabilidade social, por Raquel Naves Blumenschein e Kátia Broeto Miller. Brasil, 2014. Acesso em 22 de out. 2020.

KAGONJI, I.S.; MANYELE, S.V. **Analysis of the measured medical waste generation rate in Tanzanian district hospitals using statistical methods.** African Journal of Environmental Science and Technology, v.5, Issue 10, p.815-833, 2011.

KRISTANTO, G. A.; ROSANA, F. N. **Analysis of Microbial Air Quality in the Surrounding Hospital's Wastewater Treatment Plants in Jakarta, Indonesia.** MATEC Web of Conferences, v. 138, p. 08004, 30 dez. 2017.

KWIKIRIZA, S. et al. **A Whole Systems Approach to Hospital Waste**, 2019.

LIOUSSE, C.; CACHIER, H.; GRÉGOIRE, J.M.; PENNER, J.; LAVOUÉ, D.; HOBBS, P.; SCHOLLES, M.; BARBOSA, P.; ANDREAE M. O.; ARTAXO, P. **Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions.** In: GRANIER, C.; ARTAXO, P.; REEVES, C. (eds). Emissions of trace gases and aerosols into the atmosphere, London, Kluwer Academic Publishers. ISBN: 1-4020-2166-6, 2004.

LIIKANEN, M. et al. **Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management—A life cycle assessment study of São Paulo, Brazil.** Journal of cleaner production, v. 196, p. 150-162, 2018.

LI, H.; NITIVATTANANON, V.; LI, PENG. **Developing a sustainability assessment model to analyse China's municipal solid waste management enhancement strategy.** Sustainability, v. 7, p. 1116-1141, 2015.

LOHMANN, G. **Análise de fluxo de carbono, nitrogênio e fósforo e avaliação de impactos ambientais em aterro sanitário e na compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2020.

MATALONI, F. et al. **Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: a multisite cohort study.** International Journal of Epidemiology, v. 45, n. 3, p. 806–815, jun. 2016.

MARTINS, W.A; ARAÚJO, E.C; FARIAS, V. F. **Avaliação do ciclo de vida do programa de coleta seletiva do município de João Pessoa-PB**, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, 112 p. 2017.

MENGUE, D. M., TRENTIN, A. W. S., RODRIGUES, A. L., LOPEZ, A. R., WERMUTH, T. B. **Diagnóstico e avaliação do ciclo de vida do gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos do município de Três Cachoeiras – RS**. Revista Tecnológica, v. 19, n. 2, p. 69-77. Santa Cruz do Sul, 2015.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. **Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi**. RS. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 863-875, 2017.

MIETTINEN, P; HAMALAINEN, R. P. **How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA)**. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v. 102, p. 279-294, 1997.

MOREIRA, F. G. dos S. **Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2018.

NAZARLI, M. T., GONÇALVES, C. D. S.; SILVA, P. L. C.; PAZ, M. F. D.; SIQUEIRA, T. M.; CORRÊA, É. K.; & Corrêa, L. B. Incidência de resíduos de serviços de saúde em cooperativas de triagem de materiais recicláveis. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 25, 271-279, 2020.

NEVES, J. L. G. **Aplicação da ACV-Análise Ciclo de Vida, de Soluções Construtivas Simples de Alvenaria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2016.

NOGUEIRA, D.N.G.; ALIGLERI, L.; SAMPAIO, C.P. **Resíduos de Serviços de Saúde: implicações no cenário da pandemia do novo coronavírus.** *Advances in Nursing and Health*. 2020;2(0). Accessed October 14, 2021.

OGBONNA; DAVID & A; CHINDAH & N.J; UBANI. Waste Management Options for Healthcare Wastes in Nigeria: A case study of Port Harcourt Hospitals. **Journal of Public Health and Epidemiology**, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5897/JPHE12.012>

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. **Guia para o manejo interno de resíduos sólidos em estabelecimentos de saúde.** Organização Mundial de Saúde, 1997.

OLIVEIRA, V. E. **Avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos de um hospital no município de Minas Gerais.** *Revbea*, São Paulo, V. 15, nº, 7: 59-70, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Humanidade produz mais de 2 bilhões toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial**, 2018. Atualizado em 01/10/2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-porano-diz-onu-em-dia-mundial/>. Acesso: 28 de out. 2020.

PAES, M. X. **Gestão de resíduos sólidos urbanos: integração de indicadores ambientais e econômicos por meio da avaliação do ciclo de vida.** Universidade Estadual Paulista. Sorocaba – SP, 2018.

PASSUELO, A. C. B. **Aplicação da Avaliação do ciclo de vida em embalagens descartáveis para frutas: estudo de caso.** 148f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PAULSHUS, E. et al. **Diversity and antibiotic resistance among Escherichia coli populations in hospital and Community wastewater compared to wastewater at th receiving urban treatment plant.** Water Research, v. 161. p. 232-241, set. 2019.

PEREIRA, C. L. F. **Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais: estudo de caso suco de laranja e etanol.** 290f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

PEREIRA, F.A.; MIRRA, A. P.; DIAS, O. L.; ASSUNÇÃO, J. V. **Environmental Risk Factors and Acute Lymphoblastic Leukaemia in Childhood / Factores de riesgo ambientales y leucemia linfoblástica aguda en la infancia / Fatores de risco ambientais e leucemia linfoblástica aguda na infância.** Rev. cienc. salud (Bogotá) ; 15(1): 129-144, abr. 2017.

PERINI, J. A. L. et al. **Simultaneous degradation of ciprofloxacin, amoxicillin, sulfathiazole and sulfamethazine, and disinfection of hospital effluent after biological treatment via photo-Fenton process under ultraviolet germicidal irradiation.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 224, n. August 2017, p. 761– 771, maio 2018.

PORTO, A. P. M. et al. **Global point prevalence survey of antimicrobial consumption in Brazilian hospitals.** Journal of Hospital Infection, v.104, n. 2, p. 165-171, 2020.

Plano Diretor Estratégico 2021-2023. Hospital Universitário Alcides Carneiro. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), v.01, 2020.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Life Cycle Initiative homepage.** PNUMA, 2012

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2002. **Life Cycle Initiative homepage.** Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/lcinitiative/>>. Acesso em: 20 de out. 2020.

REICHERT, G.A., MENDES, C.A.B. **Avaliação do Ciclo de Vida e Apoio à Decisão em Gerenciamento Integrado e Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos.**

Engenharia Sanitária e Ambiental - Vol. 19, n. 3 - pág. 301-313 - jul/set 2014.

REIS, M.; LIMA, J.; VIEIRA, D. **Gerenciamento de resíduos hospitalar e sua importância para a vida humana e o meio ambiente.** Faculdade Dom Bosco. Paraná, 2020.

RIBEIRO, C. M.; GIANNETI, B. F. E ALMEIDA, C. M. V. B. **Avaliação Do Ciclo De Vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial.** Ecologia Industrial, P. 1–10, 2011.

RIGAMONTI, L.; GROSSO, M.; SUNSERI, M.C. **Influence of assumption about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems.** Int J Life Cycle Assess, v.14, p.411-419, 2009.

ROCHA, D. P. B. **Avaliação do ciclo de vida de agregados leves artificiais produzidos com resíduo industrial e argila vermelha local (Nordeste/ Brasil).** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2022.

SANTOS, L. M. M. **Avaliação ambiental de processos industriais.** Ouro Preto: ETFOP, 2002.

SILVA, G. A. da; KULAY, L. A.; **Avaliação do ciclo de vida.** In: VILELA JUNIO, A.; DEMAJOROVIC, J. “Modelos de ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações”. São Paulo: Editora Senac, 2006.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. **Análise ambiental do ciclo de vida do etanol.** Rev. Economia e Região. Vol. 5, núm. 2, 2017. ISSN 2317-627X.

SILVA, V. A. O. **Análise de alternativas para minimização de impactos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso no Distrito Federal.** Monografia de Projeto Final. Universidade de Brasília. Brasília. 91 p, 2018.

SILVEIRA, H. Software Bizagi Modeler: **Fluxograma para coleta de RSS** - 2021.

SMITH, V. H. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography*, 2006. DOI: [10.4319/lo.2006.51.1\\_part\\_2.0377](https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0377).

SOUZA, I. G. O.; MORALES, B. F.; ALVES, R. C. **Análise do Sistema de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde do Hospital Regional de Itacoatiara-AM**. *Novos Cadernos NAEA*. v. 23 n. 3. p. 223-240, set-dez 2020.

SOUSA, S. A. **A radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e seus impactos nas diferentes espécies: uma revisão bibliográfica**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

SCHNEIDER, V. E. *et al.* **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde**. São Paulo: Baliero, 2001.

TAVARES, V.S.R. **Análise de ciclo de vida dos RU em destino final. Caso de estudo: Aterros e incineradores de Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, 2013.

TITTO, E.; SAVINO, A. A.; TOWNEND, W. K.; **Gestão de resíduos de saúde: as questões atuais nos países em desenvolvimento**. *Resíduos Manag Res*. 30: 559–561, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X12447999>.

TURCONI, R.; BOLDRIN, A.; ASTRUP, T. **Life Cycle Assesement (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, p. 555–565.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME | UNEP. **Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). ISBN 1-880611-54-6, 2002.

World Health Organization (WHO). **Population health and waste management: scientific data and policy options**. Report of a WHO workshop Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2007.

World Health Organization (WHO). "Fact-sheet nº 253 - Health-care waste". 2015. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs253/en/>>. Acessado em: 20 de out. 2020.

RIO, R. B. **Cartilha do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde: segundo a RDC 306/04 da ANVISA e Resolução 358/05 do Conama**. 2006.

Relatório de Desempenho 2018 – Hospital Universitário Alcides Carneiro (HUAC). Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH) – Hospitais Universitários Federais. 18 de jan. 2019.

VAUGHN, J. **Waste management: a reference handbook**. USA, California. Abc-clio, 2009.

VIEL J.F.; DANIAU C.; GORIA S.; FABRE P.; CROUY-CHANEL P.; SAULEAU E.A.; EMPEREUR-BISSONNET P. **Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators**. Environ Health. 2008; 7:51-59.

VOLKEN, C. **Análise e plano de gestão de resíduos sólidos da construção civil para as empresas do Vale do Taquari**. Salão de Extensão (17.: 2016: Porto Alegre, RS). Caderno de resumos. Porto Alegre: UFRGS/PROEXT, 2016. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5784295/>>. Acesso em: 20 de out 2020.

YOUNESI, A. et al. **Assessment of Incineration Plants and Autoclave by Rapid Impact Assessment Matrix Method**. Biosciences, Biotechnology Research Asia, v. 13, n. 4, p. 2161–2165, 25 dez. 2016.



## ANEXOS

## CLASSIFICAÇÃO - ABNT NBR 10004

Para a classificação dos RSS da Classe I – Perigosos, a ABNT define:

**1. Inflamabilidade:**

- a) ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, determinado conforme ABNT NBR 14598 ou equivalente, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;
- b) não ser líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 MPa (1 atm), produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;
- c) ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;
- d) ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes).

**2. Corrosividade:**

- a) ser aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5;
- b) ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55°C, de acordo com USEPA SW 846 ou equivalente

**3. Reatividade:**

- a) ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;
- b) reagir violentamente com a água;
- c) formar misturas potencialmente explosivas com a água;

- d) gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água;
- e) possuir em sua constituição os íons CN<sup>-</sup> ou S<sup>2-</sup> em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de H<sub>2</sub>S liberável por quilograma de resíduo, de acordo com ensaio estabelecido no USEPA - SW 846;
- f) ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;
- g) ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 MPa (1 atm);
- h) ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou contida em dispositivo preparado para este fim.

#### **4. Toxicidade:**

- a) quando o extrato obtido desta amostra, segundo a ABNT NBR 10005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F. Neste caso, o resíduo deve ser caracterizado como tóxico com base no ensaio de lixiviação, com código de identificação constante no anexo F;
- b) possuir uma ou mais substâncias constantes no anexo C e apresentar toxicidade. Para avaliação dessa toxicidade, devem ser considerados os seguintes fatores:
  - natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;
  - concentração do constituinte no resíduo;
  - potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para migrar do resíduo para o ambiente, sob condições impróprias de manuseio;
  - persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;
  - potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade em que ocorre a degradação;
  - extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;

— efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico, associados a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo;

c) ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D ou E;

d) resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias constantes nos anexos D ou E;

e) ser comprovadamente letal ao homem;

f) possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem ou estudos do resíduo que demonstrem uma DL50 oral para ratos menor que 50 mg/kg ou CL50 inalação para ratos menor que 2 mg/L ou uma DL50 dérmica para coelhos menores que

200 mg/kg.

## **5. Patogenicidade:**

Um resíduo é caracterizado como patogênico se uma amostra representativa dele, obtida segundo a ABNT NBR 10007, contiver ou se houver suspeita de conter, microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxirribonucléico (ADN) ou ácido ribonucléico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídios, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais. Os resíduos de serviços de saúde deverão ser classificados conforme ABNT NBR 12808.

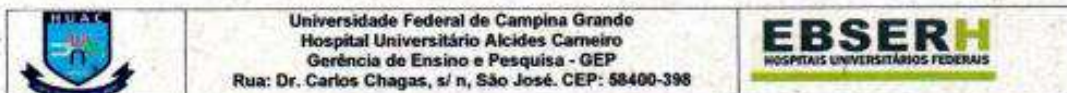
Para os resíduos Classe II – Não perigosos:

### **1. Inertes**

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

## **2. Não Inertes**

Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.



## DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA SETORIAL

Eu, **Daisy Ferreira Ribeiro**, Gerente do Setor Administrativo do Hospital Universitário Alcides Carneiro – HUAC/EBSERH/UFPG, autorizo o desenvolvimento da pesquisa intitulada: **IMPACTOS AMBIENTAIS OCACIONADOS PELOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE GERADOS EM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO**, que será realizada no setor por mim coordenado, no período de 28/12 /2020 a 28/12 /2021, (01 ano), tendo como pesquisador(a) coordenador(a) o(a) **Prof(a). Dra. Viviane Farias Silva** e orientando(a) **Me. Gibran Sarmento de Almeida**.

Campina Grande-PB, 29 de dezembro de 2020.

  
**Daisy Ferreira Ribeiro**  
SIAPE  
Coordenador do Setor Gerência Administrativa  
HUAC/EBSERH




Universidade Federal de Campina Grande  
Hospital Universitário Alcides Carneiro  
Gerência de Ensino e Pesquisa - GEP  
Rua: Dr. Carlos Chagas, s/ n, São José. CEP: 58400-398

**EBSERH**  
HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS FEDERAIS

## TERMO DE ANUÊNCIA INSTITUCIONAL

Eu, **Homero Gustavo Correia Rodrigues**, Superintendente do Hospital Universitário Alcides Carneiro – HUAC/EBSERH/UFCG, autorizo o desenvolvimento da pesquisa intitulada: **IMPACTOS AMBIENTAIS OCACIONADOS PELOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE GERADOS EM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO**, neste hospital, que será realizada no período de 28/ 12/2020 a 28/ 12/ 2021, (01 ano), tendo como pesquisador(a) coordenador(a) o(a) Prof(a). Dra. Viviane Farias Silva e orientando(a) **Me. Gibran Sarmiento de Almeida**.

Campina Grande, 30 de Outubro de 2020.

  
Homero Gustavo Correia Rodrigues  
SIAPE  
Superintendência  
HUAC/EBSERH/UFCG