UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DO FLUXO DE NITROGÊNIO EM RESÍDUOS ALIMENTARES: ESTUDO DE CASO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO -UnB

ARTHUR AUGUSTO FRASSON RAMOS

ORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA
COORIENTADORA: ENEIDA CAMPOS FELIPE DE BRITES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF:
DEZEMBRO/2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DO FLUXO DE NITROGÊNIO EM RESÍDUOS ALIMENTARES: ESTUDO DE CASO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO -UnB

ARTHUR AUGUSTO FRASSON RAMOS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

_____

FRANCISCO CONTRERAS PINEDA, PH. D. (UnB/DF)
(ORIENTADOR)

_____

RAQUEL MORAES SOARES, PROFESSOR (ENC - UnB/DF)
(EXAMINADORA INTERNA)

_____

EDGAR AMARAL SILVEIRA, PROFESSOR (ENM - UnB/DF)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 04 DE DEZEMBRO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

RAMOS, ARTHUR AUGUSTO FRASSON
Análise Do Fluxo De Nitrogênio Em Resíduos Alimentares: Estudo De Caso Do Restaurante Universitário -UnB
85 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2023)
Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1. Nitrogênio 2. RSO
3. Restaurante Universitário 4. Fluxo de Materiais
I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RAMOS, A. A. F. (2023). *ANÁLISE DO FLUXO DE NITROGÊNIO EM RESÍDUOS ALIMENTARES: ESTUDO DE CASO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO -UnB*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: ARTHUR AUGUSTO FRASSON RAMOS

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: **Análise Do Fluxo De Nitrogênio Em Resíduos Alimentares: Estudo De Caso Do Restaurante Universitário -UnB**

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2023

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

_____

Arthur Augusto Frasson Ramos

arthur.a.f.ramos@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todas as pessoas que contribuíram de maneira significativa para a realização deste Projeto Final e para a conclusão bem-sucedida de minha graduação. Expresso minha profunda gratidão:

Aos meus orientadores, Professor Francisco e Eneida, por seu apoio incondicional, orientação sábia e ensinamentos valiosos ao longo deste projeto.

Aos professores Ricardo e Yovanka, cujo comprometimento e dedicação constantes foram fundamentais para extrair o melhor do meu aprendizado na Universidade de Brasília (UnB).

A meu primo Gabriel, cujo apoio constante e experiência no mesmo curso foram fontes inestimáveis de orientação e incentivo.

Aos amigos da empresa júnior Concreta Consultoria, que enfrentaram desafios junto comigo, demonstrando resiliência e colaboração exemplares.

A todos os amigos que fiz durante a graduação, em especial Jessica, com quem compartilhei esforços e trocas constantes de apoio ao longo de toda minha trajetória acadêmica.

Aos demais professores da UnB, que, com sua dedicação, contribuíram significativamente para meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha família Frasson e Ramos, por buscarem sempre o meu melhor e por serem fontes constantes de incentivo em todas as minhas jornadas.

A minha namorada, Fernanda, cujo amor, carinho, compaixão e suporte inabaláveis foram essenciais para que eu chegasse até aqui, sempre me motivando e ajudando a dar o meu melhor. Sou imensamente grato por ter você ao meu lado.

Agradeço também a todo o povo brasileiro, cuja diversidade e riqueza cultural são fontes inesgotáveis de inspiração. Em um país tão vasto e plural, encontrei suporte e estímulo para perseguir meus objetivos acadêmicos em uma universidade pública de altíssima qualidade.

RESUMO

As alterações humanas no ciclo do nitrogênio já transgrediram drasticamente os limites do que o nosso planeta é capaz de suportar. Com a perspectiva de atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050, a produção e o consumo de alimentos estão em constante ascensão. Nesse cenário, o nitrogênio assume papel crucial, não apenas por sua importância nos seres vivos, mas também pelos impactos ambientais relacionados aos resíduos ricos nesse nutriente. O descarte inadequado desses resíduos contribui para a liberação de nitrogênio no ambiente, impactando ecossistemas aquáticos e gerando gases de efeito estufa. Este estudo aborda o desafio global de gerir eficientemente o nitrogênio nos resíduos alimentares, utilizando a Análise de Fluxo de Materiais como ferramenta para compreender o ciclo de vida do nitrogênio. Os resultados do Restaurante Universitário do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília mostram que 65,36% do nitrogênio é consumido na forma de refeições, enquanto 34,64% é descartado como resíduos sólidos orgânicos. Além disso, 53,78% do nitrogênio dos resíduos tem origem nos processos de preparo de alimentos, sendo a Confecção responsável por mais da metade desse valor. Durante o mês analisado de outubro de 2023, foram realizadas 174.834 refeições, com 523,14 kg de nitrogênio descartado dentro dos resíduos orgânicos do restaurante durante o mês. A análise dos processos revela que os legumes, apesar da baixa concentração de nitrogênio, contribuem significativamente para os resíduos em todas as etapas, enquanto carnes e ovos, com alta concentração de nitrogênio, destacam-se como contribuintes relevantes para o total do elemento nos resíduos. Legumes e carnes contribuem com 49,86% e 45,53% do nitrogênio total, respectivamente. Esses resultados contribuem significativamente para a compreensão da dinâmica de geração de resíduos e do aproveitamento de nutrientes no restaurante universitário. As informações obtidas indicam caminhos para melhorias na gestão de resíduos e na eficiência operacional do restaurante, promovendo a sustentabilidade e o uso responsável de recursos.

Palavras-chave: Cozinha Industrial, Gestão de Resíduos Alimentares, Limites Planetários.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 12
2. OBJETIVOS..... 14
2.1. OBJETIVO GERAL..... 14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 15
3.1. NITROGÊNIO..... 15
3.1.1. Ciclo do Nitrogênio..... 17
3.1.2 Emissões Associadas ao Nitrogênio..... 21
3.2. GERAÇÃO RESÍDUOS SÓLIDOS ALIMENTARES..... 22
3.2.1. A geração de resíduos sólidos de alimentos em restaurantes universitários..... 23
3.2.2. Destinação final e tratamento de resíduos sólidos alimentares..... 25
3.3. ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS - AFM..... 26
3.3.1. Histórico..... 27
3.3.2. Aplicações..... 28
3.3.3. Termos e Definições da AFM..... 30
3.3.4. Software STAN..... 34
4. METODOLOGIA..... 36
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 37
4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS, ESTOQUES E FLUXOS DO SISTEMA.. 38
4.2.1. Fluxo de Importação..... 40
4.2.2. Recepção e armazenamento..... 40
4.2.3. Confecção..... 41
4.2.4. Distribuição e Consumo..... 42
4.2.5. Limpeza..... 43
4.2.6. Fluxos de Exportação..... 44
4.3. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE FLUXO..... 44
4.4. CATEGORIZAÇÃO DOS ALIMENTOS E PADRONIZAÇÃO DAS REFEIÇÕES... 45
4.5. FLUXO DE IMPORTAÇÃO (F1)..... 47
4.6. FLUXOS DE PREPARO DE REFEIÇÕES (F2 E F3)..... 51
4.7. FLUXO DE ALIMENTOS CONSUMIDOS (F4)..... 52
4.8. FLUXOS DE DESCARTES E PERDAS (F5, F6 E F7)..... 53
4.9. FLUXO DE EXPORTAÇÃO DA LIMPEZA (F8)..... 54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 54
5.1. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RSO NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO..... 55
5.1.1. Geração de resíduos na Recepção e Armazenamento..... 57
5.1.2. Geração de resíduos na Confecção das refeições..... 61
5.1.3. Geração de resíduos na distribuição e consumo no refeitório..... 65
5.2. QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE NITROGÊNIO..... 69

5.2.1. Definição das Concentrações de Nitrogênio nas Categorias de Alimentos e na Refeição Padrão....70
5.2.2. Fluxo de Importação de Alimentos (F1)....72
5.2.3. Fluxos da Recepção e Armazenamento....74
5.2.4. Fluxos na Confecção das Refeições....75
5.2.5. Fluxos da Distribuição e Consumo....76
5.3. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE FLUXO....78
6. CONCLUSÃO....85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....86

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estado atual das variáveis de controle para todas as nove fronteiras planetárias. (Fonte: Richardson et al., 2023)..... 16
Figura 3.2: Ciclo do nitrogênio na natureza. (Fonte: Adaptado de Bernhard, 2010)..... 18
Figura 3.3: Sistema exemplar de AFM ilustrando termos selecionados. Os fluxos de importação e exportação são colocadas diretamente na fronteira do sistema para facilitar a compreensão visual (Fonte: Adaptado de Brunner e Rechberger, 2016)..... 33
Figura 3.4: Esboço de uma Análise de Fluxo de Materiais criada no software STAN..... 35
Figura 4.1: Etapas metodológicas..... 36
Figura 4.2: Vista do exterior do RU do campus Darcy Ribeiro, UnB. (Fonte: DAC, UnB).... 37
Figura 4.3: Cozinha do RU do campus Darcy Ribeiro, UnB. (Fonte: UnB Notícias, 2017)... 38
Figura 4.4: Diagrama do processo de Recepção e Armazenamento..... 41
Figura 4.5: Diagrama do processo de Confecção..... 42
Figura 4.6: Diagrama do processo de Distribuição e Consumo..... 43
Figura 4.7: Diagrama do processo de Limpeza..... 44
Figura 4.8: Diagrama de Fluxo de Nitrogênio do RU do Campus Darcy Ribeiro - UnB construído através do programa STAN..... 45
Figura 4.9: Corte da página com o resultado obtido para a pesquisa “arroz, branco, cozido, feito com manteiga” em porções de 100 gramas. (Fonte: USDA, 2022)..... 49
Figura 5.1: Fragmento do relatório de utilização fornecido pelo RU. (Data: 11/10/2023)..... 56
Figura 5.2: Local de disposição dos resíduos na área de pré-preparo na entrada do almoxarifado. (Data: 22/11/2023)..... 58
Figura 5.3: Pesagem dos resíduos do pré-preparo realizada no dia 22/11/2023..... 58
Figura 5.4: Local de disposição dos resíduos da cozinha (Data: 22/11/2023)..... 62
Figura 5.5: Processo de separação e pesagem dos resíduos do almoço. (Data: 20/10/2023)... 66
Figura 5.6: Fragmento de registro de produção do RU para o dia 01/10/2023..... 70
Figura 5.7: Diagrama de fluxo final construído no STAN..... 79
Figura 5.8: Gráfico de massas de resíduo geradas em cada processo..... 80
Figura 5.9: Gráfico de massas de nitrogênio geradas dos resíduos de cada processo..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Comparação da geração de RSO em restaurantes universitários..... 24
Tabela 3.2: Referências bibliográficas que apresentam o uso da análise de fluxo de materiais.. 29
Tabela 4.1: Categorias de alimentos utilizadas para o estudo..... 46
Tabela 5.1: Históricos da população acadêmica da UnB e do número de refeições servidas no RU..... 55
Tabela 5.2: Resultados de levantamentos da geração de RSO no RU, campus Darcy Ribeiro. (Fonte: Adaptado de Dutra, 2018).....56
Tabela 5.3: Resultados de pesagem e composição dos resíduos gerados na entrada do almoxarifado.....59
Tabela 5.4: Geração de resíduos orgânicos do preparo de alimentos do restaurante por dia da semana e porcentagem de contribuição de cada dia. (Fonte: Adaptado de Dutra, 2018)..... 59
Tabela 5.5: Geração de resíduos no almoxarifado do RU durante os almoços por dia da semana - Campus Darcy Ribeiro, UnB..... 60
Tabela 5.6: Geração de resíduos no almoxarifado do RU durante as jantas por dia da semana - Campus Darcy Ribeiro, UnB..... 60
Tabela 5.7: Geração total de resíduos do almoxarifado do RU estimada para outubro de 2023. 61
Tabela 5.8: Resultados das gravimetrias dos resíduos coletados da cozinha..... 63
Tabela 5.9: Geração de resíduos na cozinha do RU durante os almoços por dia da semana... 63
Tabela 5.10: Geração de resíduos na cozinha do RU durante as jantas por dia da semana..... 64
Tabela 5.11: Geração total de resíduos do almoxarifado do RU estimada para outubro de 2023.....64
Tabela 5.12: Resultados das gravimetrias dos resíduos do refeitório.....67
Tabela 5.13: Composição média de cada categoria de alimento nos resíduos de restos de alimentos dos refeitórios e geração estimada para outubro de 2023.....68
Tabela 5.14: Concentrações médias de nitrogênio das 6 categorias de alimentos..... 71
Tabela 5.15: Composição, peso e teor de nitrogênio da refeição padrão com base na categorização de alimentos definida.....72
Tabela 5.16: Produção média semanal de cada categoria de alimento para o mês de outubro.... 73
Tabela 5.17: Massa de nitrogênio do fornecimento de alimentos para a produção das refeições..... 73
Tabela 5.18: Massa de nitrogênio estimada dos resíduos do pré-tratamento realizado no processo de Recepção e Armazenamento..... 74
Tabela 5.19: Massa de nitrogênio estimada dos resíduos da cozinha gerados no processo de Confecção.....75
Tabela 5.20: Massa de nitrogênio nos resíduos gerados de sobras de alimentos no refeitório.... 76
Tabela 5.21: Estimativa da massa de nitrogênio consumida em refeitório..... 77
Tabela 5.22: Valores dos fluxos de nitrogênio inseridos e calculados pelo STAN e suas

respectivas incertezas..... 79
Tabela 5.23: Valores dos fluxos de nitrogênio por refeição..... 83

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

AFM	Análise de Fluxo de Materiais
ASE	Aterro Sanitário da Extrema
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
DAC	Decanato de Assuntos Comunitários
e^-	Elétron
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FNDDS	Base de Dados de Alimentos e Nutrientes Para Estudos Dietéticos
H	Hidrogênio
H_2	Gás Hidrogênio
H_2O	Água
HNO_3	Ácido Nítrico
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
MFA	Material Flow Analysis
N	Nitrogênio
N_2	Gás Nitrogênio
N_2O	Óxido Nitroso
NH_2OH	Hidroxilamina
NH_3	Amônia
NH_4^+	Amônio
NO	Óxido Nítrico
NO_2^-	Nitrito
NO_3^-	Nitrato
O_2	Gás Oxigênio
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSO	Resíduos Sólidos Orgânicos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Restaurante Universitário
STAN	subSTance flow ANalysis
TC	Coeficiente de Transferência
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UnB	Universidade de Brasília
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

%	por cento

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e a expectativa de atingir 9,7 bilhões de pessoas no mundo até o ano de 2050 (UN, 2019), é proeminente a tendência de aumento da produção de alimentos, juntamente com o consequente aumento do consumo e a necessidade de obtenção dos nutrientes essenciais presentes nesses alimentos.

Nesse contexto, o nitrogênio desempenha um papel fundamental diante sua importância vital na estruturação dos seres vivos e nos processos metabólicos, torna-se imprescindível compreender e explorar a utilização desse elemento nos sistemas produtivos e de alimentação. Além da necessidade de compreender a importância do nitrogênio nestes sistemas, é essencial considerar os impactos ambientais adversos relacionados aos resíduos alimentares ricos em nitrogênio.

O aumento na produção e no consumo de alimentos resulta em quantidades significativas de resíduos, incluindo cascas, restos de alimentos e subprodutos de processamento. Esses resíduos, ao serem descartados de forma inadequada, contribuem para a liberação de nitrogênio no ambiente. A decomposição desses resíduos em aterros sanitários ou em condições anaeróbias produz gases como o metano, um potente gás de efeito estufa mas que também possui um alto potencial energético na forma de biogás, podendo ser reaproveitado em biorreatores anaeróbios para a produção de energia a partir de resíduos orgânicos.

Em ambientes aquáticos, a liberação excessiva de nitrogênio proveniente dos resíduos alimentares pode resultar na eutrofização de corpos d'água próximos, desencadeando desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos (Vries, 2021). Esse fenômeno promove o crescimento excessivo de algas e cianobactérias, que, ao se decomporem, consomem o oxigênio da água, prejudicando a vida aquática e reduzindo a biodiversidade.

No solo, a deposição de nitrogênio em excesso pode inicialmente impulsionar o crescimento vegetal, mas, ao longo do tempo, pode desencadear efeitos adversos, como a acidificação do solo, potencialmente causando efeitos prejudiciais à saúde da vegetação e a redução da diversidade biológica. O aumento da acidez do solo afeta negativamente os ecossistemas terrestres, influenciando a composição de espécies e o equilíbrio ecológico (Vries, 2021).

Na atmosfera, o excesso de nitrogênio reativo, seja em forma de amônia ou óxidos de nitrogênio, contribui para a poluição do ar. Essas emissões atmosféricas têm sido associadas a problemas respiratórios e cardiovasculares em seres humanos, além de causar danos em vegetação natural e cultivos agrícolas. O nitrogênio atmosférico, quando depositado no solo por meio da chuva, acentua ainda mais os impactos negativos no solo e nos ecossistemas terrestres (Vries, 2021; Liu et al. 2020).

No âmbito da engenharia ambiental, a gestão adequada dos resíduos alimentares representa um desafio significativo devido à riqueza de nutrientes presentes nestes, uma vez que seu descarte inadequado pode acarretar impactos negativos. A atenção dada ao nitrogênio não é resultado apenas da sua alta capacidade de afetar o meio ambiente, mas especialmente devido às proporções de lançamento desse nutriente na natureza. A Análise de Fluxo de Materiais (AFM), também conhecida como Material Flow Analysis (MFA), surge como uma ferramenta fundamental para avaliar e compreender o ciclo de vida de nutrientes em alimentos e avaliar como o fluxo do nitrogênio está diretamente atrelado à forma como alimentos são produzidos, consumidos e descartados. A AFM tem sido amplamente aplicada para rastrear e gerenciar fluxos de nutrientes em diversas escalas, como evidenciado em estudos regionais (Mayor et al., 2023). Além disso, foi introduzido um método por Grönman et al. (2016) para o gerenciamento de linhas de suprimento na cadeia alimentar, notavelmente utilizado em investigações de escala local (van der Wiel et al., 2020; Xu et al., 2020).

Ao combinar técnicas quantitativas e qualitativas, a AFM, permite rastrear a trajetória do nitrogênio em diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos alimentares, desde sua produção, passando pelo consumo, até o seu destino final. Essa abordagem fornece uma visão abrangente e sistemática do comportamento do nitrogênio ao longo do sistema, identificando os principais fluxos, estoques e pontos críticos de perda ou desperdício.

O Restaurante Universitário da UnB desempenha um papel fundamental no preparo e na oferta de refeições diárias para a comunidade acadêmica, gerando uma quantidade significativa de resíduos alimentares. Esses resíduos são compostos por diferentes componentes, incluindo uma quantidade considerável de nitrogênio proveniente de alimentos ricos nesse elemento, como proteínas vegetais e animais. Através do uso da AFM será possível mapear e quantificar o fluxo de nitrogênio desde a aquisição dos alimentos, passando pelo preparo das refeições, consumo pelos usuários do restaurante, até o descarte final dos resíduos.

A proposta deste estudo é uma análise de fluxo de materiais aplicada ao estudo do nitrogênio em resíduos alimentares, com foco no Restaurante Universitário da Universidade de Brasília (UnB), como estudo de caso.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o fluxo do nitrogênio associado ao consumo de alimentos no Restaurante Universitário da UnB localizado no Campus Darcy Ribeiro, por meio da Análise de Fluxo de Materiais de modo a compreender em detalhes como ocorre o fluxo deste nutriente, identificando possíveis pontos críticos de perda ou desperdício.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar fontes de entrada e saída de nitrogênio e os processos intermediários no restaurante universitário utilizando a ferramenta de Análise de Fluxo de Materiais e o programa STAN.
- Identificar os principais fluxos, processo e pontos críticos de perda e desperdício do processo de produção de alimentos no restaurante universitário no âmbito do fluxo de massas de nitrogênio e do gerenciamento de resíduos orgânicos.
- Construir um diagrama de fluxo que apresente os resultados da análise de fluxo de materiais, destacando as descobertas, recomendações e possíveis ações a serem implementadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. NITROGÊNIO

O nitrogênio desempenha um papel essencial na economia global, com uma série de aplicações em diferentes setores. Sua importância está relacionada principalmente ao seu uso como fertilizante agrícola e na indústria química. Enquanto muitos estão cientes do nitrogênio como um dos limites planetários mais transgredidos, é menos compreendido o fato de que o nitrogênio também afeta a transgressão de todos os outros limites planetários (Sutton et al., 2013; Richardson et al., 2023). Com o desequilíbrio causado pelo aumento da disponibilidade de compostos reativos de nitrogênio no ambiente, a atividade humana tem contribuído para a degradação da qualidade do ar, do solo e da água, contribuindo para as mudanças climáticas, a depleção da camada de ozônio estratosférico e ameaçando a saúde, a biodiversidade e os meios de subsistência (Sutton et al., 2021; Liao et al., 2021; Richardson et al., 2023).

Na agricultura, o nitrogênio é um elemento-chave essencial para o crescimento das plantas, mas seu uso inadequado pode levar à poluição do ar, da água e do solo. O uso excessivo de fertilizantes nitrogenados tem causado preocupação devido à contaminação do solo e da água, além de ameaçar a saúde humana e os ecossistemas (Liao et al., 2021; Zhang et al., 2015). Além disso, o aumento da demanda por alimentos devido ao crescimento populacional tem levado a mudanças nos ciclos de nitrogênio, com a utilização intensiva de fertilizantes sintéticos e as emissões resultantes impactando negativamente os ecossistemas naturais e a saúde humana (Mayor et al., 2023; Richardson et al., 2023).

Estima-se que mais de metade da população mundial seja alimentada com cultivos cultivados com fertilizantes nitrogenados sintéticos. Embora esses fertilizantes tenham impulsionado a produção agrícola e o desenvolvimento econômico, seu uso inadequado resulta em problemas ambientais, como poluição da água, efeitos na biodiversidade e mudanças climáticas. Diante desses desafios, é fundamental melhorar a eficiência do uso do nitrogênio na agricultura (Zhang et al., 2015). A utilização de práticas e tecnologias que permitam um manejo mais sustentável do nitrogênio pode contribuir para aumentar a produtividade agrícola, garantir a segurança alimentar e reduzir os impactos negativos no meio ambiente. Além disso, é necessário promover políticas integradas e conscientização sobre a importância do manejo sustentável do nitrogênio, tanto no setor agrícola quanto na indústria química (Sutton et al., 2021; Mayor et al., 2023).

Sinha et al. (2022) destaca que os fluxos biogeoquímicos de nitrogênio têm ultrapassado os limites considerados seguros, resultando em consequências que abrangem desde a eutrofização, aquecimento global, acidificação, perda de biodiversidade até o aumento do ozônio em nível do solo. Esses resultados ampliam a compreensão da influência humana nos limites planetários, como proposto por Richardson et al. (2023). A importância de compreender tais fluxos é enfatizada pelos autores, que também propõem estratégias, como o crescimento azul, para otimizar o uso de nitrogênio e fósforo, buscando a recuperação de nutrientes.

A estrutura de limites planetários, conforme delineada por Richardson et al. (2023), e apresentada na Figura 3.1, reforça a necessidade de preservar a estabilidade do sistema terrestre como um todo. A alteração significativa nas ciclagens globais de nitrogênio e fósforo, fundamentais para a vida na Terra, destaca o impacto das atividades humanas em uma escala planetária mais ampla. Nesse contexto, as perturbações contínuas no sistema terrestre, impulsionadas por ações humanas, destacam a evolução contínua do ambiente global, com condições ambientais futuras incertas.

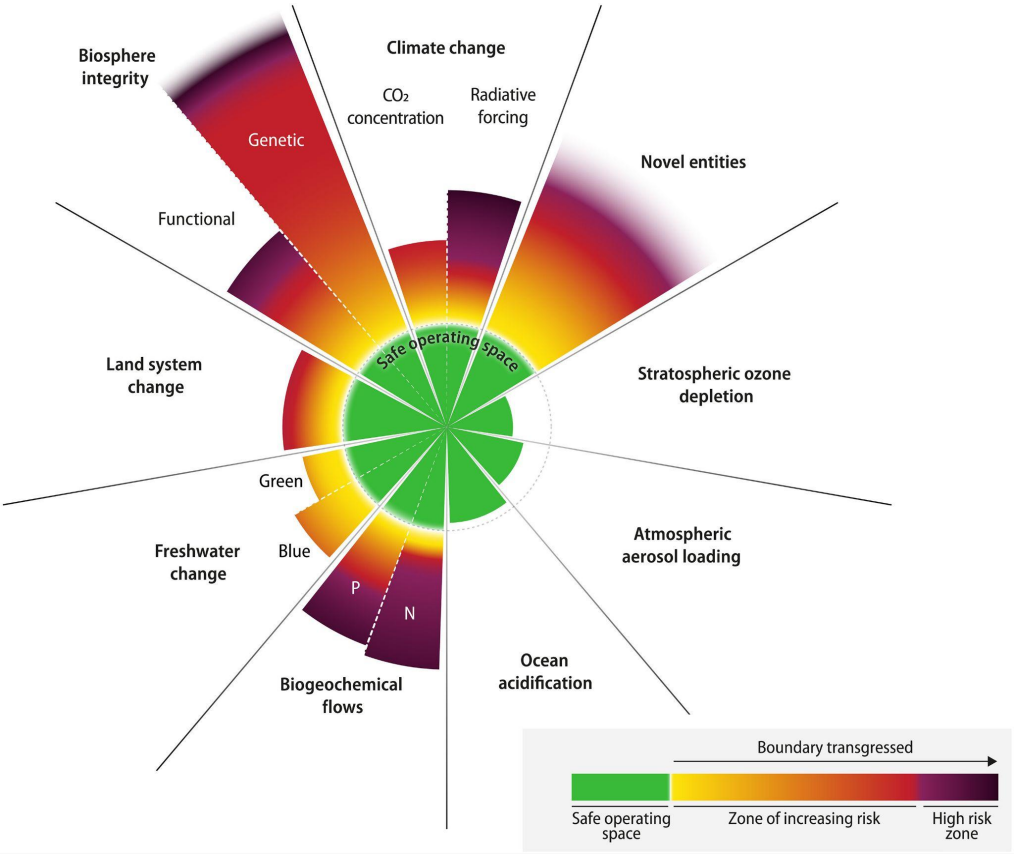


Figura 3.1: Estado atual das variáveis de controle para todas as nove fronteiras planetárias. (Fonte: Richardson et al., 2023)

Neste cenário dos limites planetários, seis deles, incluindo mudanças climáticas, integridade da biosfera, alterações no sistema terrestre e fluxos biogeoquímicos (N e P), são identificados por Richardson et al. (2023) como atualmente transgredidos. A ênfase no aumento da transgressão desde 2015 destaca a urgência de ações. Avanços recentes na definição do espaço operacional seguro para a água levam à inclusão de variáveis de controle para os componentes de água verde e azul na fronteira da mudança de água doce. É observada a transgressão dessa fronteira em ambos os componentes. Propõem-se fronteiras globais para carga de aerossol e entidades novas, com a transgressão evidente na fronteira de entidades novas. A carga global de aerossol não é transgredida, embora ocorram transgressões regionais. Esses resultados destacam a necessidade premente de abordar os impactos humanos sobre os componentes globais do ambiente em um contexto sistêmico, como preconizado pelo framework de limites planetários.

Diante desses desafios planetários, torna-se imperativo melhorar a eficiência do uso do nitrogênio em diversas fontes de poluição, incorporando uma abordagem holística. Essa abordagem deve não apenas contemplar a agricultura, mas também considerar os efluentes industriais, resíduos alimentares e a influência sobre os oceanos. A implementação de tecnologias sustentáveis, juntamente com a conscientização e políticas integradas, emerge como um conjunto essencial de passos para atingir uma gestão equilibrada do nitrogênio e mitigar seus impactos adversos em escala global, conforme preconizado por Richardson et al. (2023) no contexto dos limites planetários.

3.1.1. Ciclo do Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento vital para os organismos, assim como outros macronutrientes, como carbono, hidrogênio, fósforo, enxofre e oxigênio, sendo um elemento irredutível presente em grande quantidade na natureza e compondo cerca de 78% da atmosfera em sua forma gasosa (N_2). Essa forma é, no entanto, inacessível para a maioria dos organismos vivos devido à sua forte ligação entre dois átomos de nitrogênio, devendo ser transformada em formas mais reativas para poder ser utilizada em processos biológicos. Vegetais só conseguem aproveitá-los nas formas de amônia e de óxidos de nitrogênio, já outros seres vivos conseguem apenas aproveitá-lo na forma de aminoácidos. Portanto, apesar de sua abundância, o nitrogênio é um recurso limitante para o desenvolvimento de animais e plantas.

Diferentes grupos de microrganismos desempenham um papel fundamental na realização dos processos que convertem este gás nitrogênio inerte (N_2) em suas formas mais

reativas e acessíveis para outros seres vivos (NH_3, NO, N_2O, NO_2^-, NO_3^-), e na reversão destas formas reativas para a forma inerte (Bernhard, 2010). A Figura 3.1 apresenta o ciclo do nitrogênio:

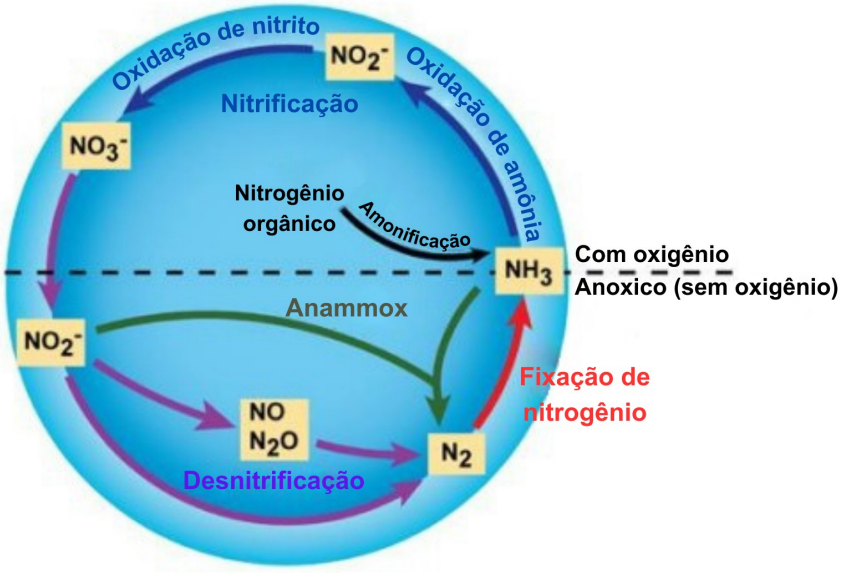


Figura 3.2: Ciclo do nitrogênio na natureza. (Fonte: Adaptado de Bernhard, 2010)

1. FIXAÇÃO:

A fixação do nitrogênio é a primeira etapa do ciclo, na qual o nitrogênio gasoso (N_2) presente na atmosfera é convertido em amônia, forma utilizável por organismos vivos. Apenas cianobactérias e certos grupos de bactérias, denominadas bactérias fixadoras de nitrogênio, são capazes de realizar o processo, com alta demanda de energia, de quebra da ligação tripla do nitrogênio gasoso. Alguns processos como a queima de combustíveis fósseis e a ocorrência de raios atmosféricos também são capazes de fixar certas quantidades de nitrogênio.

A fixação do nitrogênio pode ser realizada por bactérias de vida-livre (não simbióticas) presentes na água e no solo como as bactérias do gênero *Azotobacter* e *Azospirillum* e certos grupos de cianobactérias filamentosas. Muitas cianobactérias produzem células diferenciadas que servem para proteção, perenização e reprodução, ou desempenham uma função vegetativa específica. Em condições de limitação de nitrogênio, muitas espécies filamentosas diferenciam células chamadas heterocistos, cuja única função é a fixação de nitrogênio. (Fay, 1992). Outras bactérias estabelecem uma relação simbiótica com plantas, formando nódulos nas raízes. Essas bactérias, conhecidas como rizóbios, vivem dentro dos

nódulos e fornecem nitrogênio fixado para a planta, enquanto a planta fornece carboidratos e condições favoráveis para as bactérias suprirem a demanda energética deste processo. Exemplos incluem a simbiose entre leguminosas (como feijões, ervilhas e trevo) e bactérias do gênero *Rhizobium*.

Além disso, a fixação antropogênica de nitrogênio pode ser realizada pelo processo Haber-Bosch onde, sob altas pressões (200 a 400 atm) e temperaturas (400 a 650 ºC) a amônia é formada a partir das moléculas de nitrogênio e hidrogênio presentes no ar. (Encyclopaedia Britannica, 2023). Este processo de produção de fertilizantes sintéticos de nitrogênio desempenhou um papel revolucionário na produtividade agrícola (Galloway et al., 2004). A reação de fixação de nitrogênio é apresentada na Equação 1:

Reação de fixação do nitrogênio:

$$N_2 + 8\,H^+ + 8\,e^- \rightarrow 2\,NH_3 + H_2 \quad (1)$$

2. AMONIFICAÇÃO

A amonificação, também conhecida como decomposição, é o processo de conversão de resíduos orgânicos nitrogenados, como peptídeos, proteínas, entre outros, de restos de plantas e animais, em amônia (NH_3) realizado por fungos e bactérias decompositoras. Esse processo contribui com o retorno do nitrogênio ao ecossistema em sua forma reativa que pode ser aproveitada por diversas plantas, sendo uma importante etapa na reciclagem de resíduos orgânicos.

3. NITRIFICAÇÃO:

Nitrificação é um processo de duas etapas que converte amônia em nitrito e nitrato. A maior parte da nitrificação ocorre aerobicamente e é realizada exclusivamente por bactérias procarióticas (Bernhard, 2010). A primeira etapa é a oxidação de amônia em que a amônia é convertida em nitrito (NO_2^-) por bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus* (oxidadoras de amônia). A segunda etapa consiste na oxidação do nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-) em um processo executado por outro grupo completamente diferente de bactérias *Nitrospira, Nitrobacter, Nitrococcus* (oxidadoras de nitrito). Ambos os processos liberam pequenas quantidades de energia que pode ser aproveitada pelo metabolismo das bactérias. (Bernhard, 2010). As Equações 2, 3 e 4 apresentam as reações de oxidação de amônia e de nitrito.

A) Reação de oxidação da amônia:

1) $NH_3 + O_2 + 2\,e^- \rightarrow NH_2OH + H_2O$ (2)

2) $NH_2OH + H_2O \rightarrow NO_2^- + 5\,H^+ + 4\,e^-$ (3)

B) Reação de oxidação do nitrito:

$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^-$ (4)

4. DESNITRIFICAÇÃO:

A desnitrificação é um processo anaeróbio realizado por bactérias desnitrificantes em solos e sedimentos e nas zonas anóxicas de lagos e oceanos (Bernhard, 2010). Neste processo ocorre a conversão de formas oxidadas de nitrogênio em formas reduzidas que eventualmente resultam no gás nitrogênio (N_2). Durante o processo, no entanto, ocorre a geração de formas intermediárias como o óxido nítrico (NO), que pode ser convertido em ácido nítrico (HNO_3) que, escapando para atmosfera, contribui para a chuva ácida. Também pode ocorrer a formação de óxido nitroso (N_2O), um potente gás de efeito estufa com um potencial de aquecimento global equivalente a 298 vezes o potencial do dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2021).

A desnitrificação pode afetar a disponibilidade de nutrientes na agricultura, convertendo o nitrogênio presente nos adubos e fertilizantes na forma não reativa. No entanto, também é um processo muito importante no tratamento de efluentes por reduzir a presença de nitrogênio reativo lançado no ambiente por estações de tratamento e evitando a ocorrência de eutrofização e outros impactos ambientais indesejados (Bernhard, 2010). As reações químicas de desnitrificação são apresentadas nas Equações 5 e 6:

Reações de desnitrificação:

1) $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO + N_2O \rightarrow N_2$ (5)

2) $2\,NO_3^- + 10\,e^- + 12\,H^+ \rightarrow N_2 + 6\,H_2O$ (6)

5. ANAMMOX

O processo ANAMMOX (Anaerobic Ammonium Oxidation, ou Oxidação Anaeróbia de Amônia) envolve a perda de nitrogênio reativo na forma de amônia e nitrito em gás nitrogênio. Ocorrendo especialmente em ambientes aquáticos de baixo oxigênio como no tratamento de efluentes e em zonas de baixo oxigênio de ambientes aquáticos, é realizada por procariontes pertencentes ao filo Planctomycetes de Bactérias. As bactérias anammox oxidam

a amônia utilizando o nitrito como aceitador de elétrons para produzir nitrogênio gasoso. (Bernhard, 2010). A Equação 7 apresenta a reação química do processo anammox:

Reação de anammox:

$$NH_4^+ + 1,32\ NO_2^- + 0,066\ HCO_3^- + 0,13\ H^+ \rightarrow$$

$$1,02\ N_2 + 0,26\ NO_3^- + 0,066\ CH_2O_{0,5}N_{0,15} + 2,03\ H_2O \quad (7)$$

3.1.2 Emissões Associadas ao Nitrogênio

As emissões associadas ao nitrogênio provenientes de atividades humanas, como a produção de fertilizantes e a queima de combustíveis fósseis, têm impactos significativos na qualidade do ar e nos ecossistemas (Vries, 2021; Liu et al., 2020). A conversão do gás nitrogênio atmosférico para formas reativas, como óxidos de nitrogênio (NOx) e amônia (NH3), desempenha um papel crucial nesse cenário. Essas emissões, provenientes principalmente do tráfego, indústria e agricultura, contribuem para a formação de ozônio troposférico e poluição por partículas finas, afetando diretamente a saúde humana e a biodiversidade terrestre.

A relação entre as emissões de NOx e a formação de ozônio é destacada por Wang e Jacob (1998), que apontam que 60% do aumento do ozônio desde 1900 é atribuído ao aumento das emissões de NOx. Além disso, as emissões de NH3 e NOx influenciam a produção de partículas atmosféricas, contribuindo para a exposição humana a PM2.5, com impactos significativos na saúde respiratória. O European Green Deal estabelece metas ambiciosas para reduzir as perdas de nitrogênio, reconhecendo os riscos associados a essas emissões para a saúde humana e o meio ambiente.

No contexto terrestre, a exposição direta a amônia, óxidos de nitrogênio e ozônio afeta negativamente as plantas, causando danos à camada de cera e aumentando a suscetibilidade a estresses hídricos. Estudos indicam que o NH3 pode impactar adversamente a diversidade de espécies vegetais, especialmente em áreas urbanizadas. Além disso, os óxidos de nitrogênio prejudicam o crescimento de vegetação natural e cultivos agrícolas, contribuindo para a redução da produção de alimentos (Vries, 2021).

A deposição de nitrogênio no solo, além dos impactos diretos, desencadeia efeitos secundários. Em ecossistemas florestais, ela pode inicialmente aumentar o crescimento, mas eventualmente leva à eutrofização e acidificação do solo, afetando negativamente a saúde das árvores e a diversidade biológica (Liu et al., 2020). Essas interações complexas destacam a necessidade de uma abordagem holística na gestão das emissões de nitrogênio.

No ambiente aquático, altas concentrações de nitrogênio contribuem para a eutrofização, afetando a composição de espécies, a biomassa fitoplanctônica e causando declínio em ecossistemas costeiros. A acidificação resultante da deposição de nitrogênio contribuiu historicamente para mortes de peixes em regiões como Escandinávia e Canadá, evidenciando os impactos generalizados dessa poluição (Liu et al., 2020).

Além dos impactos ambientais, as emissões de nitrogênio têm consequências diretas para a saúde humana. Altas concentrações de óxidos de nitrogênio e ozônio estão associadas a problemas respiratórios e cardiovasculares, incluindo mortalidade prematura. As partículas finas, formadas em parte por emissões de nitrogênio, são reconhecidas como causadoras de morbidade significativa, com milhões de mortes prematuras estimadas globalmente.

3.2. GERAÇÃO RESÍDUOS SÓLIDOS ALIMENTARES

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil (Lei nº 12.305/2010), os resíduos sólidos alimentares são considerados resíduos orgânicos e devem ser tratados de forma a minimizar os impactos ambientais e à saúde pública. Estes resíduos englobam restos de comida, cascas, partes não comestíveis de frutas e vegetais, ossos de carne, borras de café, chá, entre outros resíduos de origem biodegradável gerados em cozinhas residenciais, restaurantes, mercados, indústrias de processamento de alimentos e outras instituições relacionadas à produção ou consumo de alimentos.

Devido à sua composição orgânica, os resíduos alimentares podem contaminar outros tipos de resíduos e, potencialmente, dificultar ou até impedir completamente o seu reaproveitamento. Além disso, podem se degradar rapidamente e liberar gases de efeito estufa, como o metano, quando descartados em locais de disposição sem o tratamento adequado (El-Fadel, Findikakis e Leckie, 1997).

A geração de resíduos alimentares está diretamente atrelada ao desperdício. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o desperdício de alimentos é o descarte intencional de itens aptos para o consumo, mas que são deteriorados ou expirados pelo estabelecimento ou pelo consumidor. Anualmente, um terço de toda a produção de alimentos destinada ao consumo humano é perdido ou desperdiçado (FAO, 2019).

Em seu estudo, Thyberg e Tonjes (2016) destacam a importância de estudar o desperdício de alimentos como base para o desenvolvimento de políticas sustentáveis voltadas ao seu combate. Eles ressaltam que as pessoas precisam ser educadas sobre as implicações do

desperdício de alimentos, visando favorecer mudanças em suas percepções e atitudes para reduzir esse desperdício. Os autores também observam que a prevenção, em geral, é ignorada no gerenciamento de resíduos sólidos.

Considerando a prevenção do desperdício de alimentos, é relevante destacar as vantagens desse enfoque em relação à demanda por produção de alimentos e ao consequente uso de fertilizantes. A redução do desperdício de alimentos é reconhecida como uma das abordagens mais eficientes e viáveis, tanto em termos econômicos quanto ambientais, para aumentar a segurança alimentar e nutricional, comparada ao aumento da produção de alimentos (FAO, 2022).

Essa abordagem, preconizada pela FAO, visa não apenas melhorar a disponibilidade de alimentos, o acesso à alimentação e a renda de pequenos agricultores (ODS 2), mas também contribuir para a ação climática, a vida abaixo da água e a vida na terra (respectivamente, ODS 13, 14 e 15). A recuperação e redistribuição de alimentos excedentes podem ser meios eficazes para utilizar de forma adequada o excedente alimentar, reduzindo a insegurança alimentar e sendo benéficas para o meio ambiente.

Além disso, a redução do desperdício de alimentos representa uma oportunidade de ganho econômico para todos os atores ao longo das cadeias de abastecimento de alimentos, incluindo os consumidores. Além disso, ela representa um uso mais eficiente de recursos, como mão de obra, água, energia e terra, evitando impactos negativos no clima e contribuindo para outros impactos sociais negativos, todos os quais são evitáveis. A colaboração e parcerias entre todos os interessados ao longo da cadeia de abastecimento de alimentos são essenciais para reduzir o desperdício de alimentos. Realizar e maximizar os impactos positivos da redução do desperdício de alimentos exige estruturas de governança, desenvolvimento de capital humano, bem como investimentos em infraestrutura, tecnologia e inovação.

Portanto, processos que aumentem a conscientização sobre o desperdício de alimentos entre os setores público e privado, bem como a sociedade civil, facilitarão o estabelecimento de metas nos níveis local, nacional, regional e global. Essas iniciativas focadas mobilizarão recursos e garantirão a implementação de ações impactantes para alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 2030.

3.2.1. A geração de resíduos sólidos de alimentos em restaurantes universitários

O Brasil está entre os dez países que mais desperdiçam alimentos, onde cerca de 30% do que se produz vai para o lixo (Lopes, 2011). Dos desperdícios que ocorrem nos

restaurantes, Heppner (2010) estimou que 30% originam do prato dos usuários, 65% da preparação das refeições e 5% de perdas por deterioração.

Restaurantes convencionais são atividades que geram grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos, sendo esta geração compreendida em todas as etapas do processo, iniciando na manipulação e preparo dos alimentos até o descarte dos restos contidos nos pratos após a refeição, e restaurantes universitários não diferem desta realidade (Sotti, 2014).

Dutra (2018) quantificou a geração de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) no restaurante universitário do campus Darcy Ribeiro, da Universidade de Brasília, a partir de dados de levantamentos de novembro de 2015 a abril de 2018.

Neste estudo, o autor aponta que a quantidade de RSO gerado por refeição diminuiu ao longo do período analisado e demonstra que, apesar do número médio de refeições diárias ter aumentado, a geração de RSO diária reduziu consideravelmente. Acredita-se que medidas de redução de desperdício implementadas no intervalo analisado como diminuição dos pratos e conchas de servir e reaproveitamento de cascas de alimentos contribuíram para estes números. O estudo também apontou uma maior geração de RSO durante a preparação das refeições do que durante o consumo no refeitório, alinhado com as expectativas de Heppner (2010), e identificou que o dia da semana e o horário (almoço ou janta) também influenciam na variação da geração de resíduos.

A partir de seus levantamentos, Dutra estimou uma geração média de cerca de duas toneladas por dia de RSO a partir de mais de 8 mil refeições diárias, com uma média 0,25 kg de RSO por refeição. Essa taxa inclui a fração proveniente do preparo das refeições.

Para fins de comparação, foram analisados 4 estudos sobre a geração de resíduos orgânicos de restaurantes universitários realizados em diferentes universidades brasileiras:

- Menezes, Santos e Leme (2002) após 2 dias de análise, encontraram uma geração de 268,8 kg para aproximadamente 2000 refeições no campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP);
- O estudo de Costa et al. (2004) realizado na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) estimou uma geração de 450,77 kg de RSO para uma alimentação média de 4.000 refeições por semana;
- Naspolini et al. (2009) em um diagnóstico do restaurante universitário no campus Cuiabá da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) obtiveram uma geração de 1.195,8 kg de RSO após 9.696 refeições servidas;

- Albertoni (2013) encontrou uma média de 68,92 kg de RSO em 355 refeições por dia no campus de Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

A Tabela 3.1 compara os resultados dos estudos citados com os dados obtidos por Dutra (2018) no RU do campus Darcy Ribeiro da UnB.

Tabela 3.1: Comparação da geração de RSO em restaurantes universitários.

Referência	Universidade	RSO (Kg)	Nº de refeições	RSO (Kg/refeição)
Menezes, Santos e Leme (2002)	USP	268,6	2000	0,1343
Costa et al. (2004)	UEPB	450,77	4000	0,1126
Naspolini et al. (2009)	UFMT	1.195,80	9.696	0,1233
Albertoni (2013)	UTFPR	68,92	335	0,1941
Dutra, V. (2018)	UnB	2.041,63	8.115	0,25

Na tabela é possível observar que a geração de RSO por refeição é consideravelmente maior no RU da Universidade de Brasília em comparação aos valores obtidos nas outras universidades em outros estudos. No entanto, é importante observar que o estudo de Dutra (2018) foi realizado a partir da média de diferentes levantamentos ao longo de um período de mais de 3 anos e que foi observada uma tendência na redução da geração ao longo destes levantamentos.

Em última análise, ao analisar a geração de resíduos sólidos orgânicos nas refeições dos restaurantes universitários, não devemos apenas observar os números, mas também considerar o panorama mais amplo da sustentabilidade e do ciclo de nutrientes. Além disso, é essencial destacar que os resíduos orgânicos contêm uma quantidade significativa de nitrogênio, um elemento fundamental para a fertilização de solos e o crescimento de culturas agrícolas. Essa compreensão mais ampla nos incentiva a buscar soluções criativas e eficazes para minimizar o desperdício e promover práticas mais conscientes em nossas universidades e em nossa sociedade como um todo.

3.2.2. Destinação final e tratamento de resíduos sólidos alimentares

No Restaurante Universitário (RU) do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB), os resíduos orgânicos produzidos são predominantemente encaminhados para o aterro sanitário de Brasília, conforme relatado por Dutra (2018). Há, contudo, algumas exceções, onde indivíduos têm permissão para coletar uma porção desses resíduos para uso próprio em atividades como compostagem e experimentação. Essa prática não se restringe apenas ao campus mencionado, mas reflete a realidade em todo o Brasil. Curiosamente, esta abordagem vai de encontro à Política Nacional de Resíduos Sólidos, uma vez que o país ainda faz uso predominante de aterros sanitários e lixões como métodos principais de disposição de resíduos orgânicos.

A disposição de resíduos em aterros sanitários, embora seja uma prática regulamentada, autorizada e fiscalizada no Brasil, apresenta desafios significativos. Contrariamente às condições ideais para a degradação, a disposição em aterros sanitários pode resultar na prolongação da existência de matéria orgânica, acarretando problemas ambientais como a geração de lixiviado e gases (Wang et al., 2010). É imperativo ressaltar que os aterros sanitários são submetidos a regulamentações e fiscalizações rigorosas no país, a despeito das limitações associadas a essa prática.

Os resíduos orgânicos, quando depositados em aterros, passam por um processo de decomposição anaeróbica, devido à falta de oxigênio, o que resulta na produção de metano (CH_4), um gás de efeito estufa extremamente potente e com alto potencial energético, sendo o segundo maior contribuidor pelo aquecimento global.

Ao ser liberado na atmosfera durante a decomposição dos resíduos orgânicos, o metano contribui para o agravamento das mudanças climáticas. Além disso, o metano também possui um potencial de aquecimento global cerca de 25 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2021).

Adicionalmente, ao serem depositados em aterros sanitários, os resíduos orgânicos passam por um processo de decomposição anaeróbica, no qual a falta de oxigênio propicia a liberação de nitrogênio na forma de amônia (NH3) e nitritos (NO2-) através da atividade microbiana. Esses compostos nitrogenados podem ser transportados pelos lixiviados, líquidos resultantes da decomposição dos resíduos no aterro. Medidas são adotadas para proteger o solo do impacto direto deste líquido proveniente da decomposição dos resíduos, mas ainda existem riscos de infiltração e disposição destes.

Outro aspecto a ser considerado é o potencial de emissão de óxido nitroso (N_2O), um poderoso gás de efeito estufa, durante o processo de decomposição dos resíduos orgânicos no aterro. O óxido nitroso é liberado principalmente por microrganismos que atuam em condições de baixo teor de oxigênio, como é o caso dos aterros sanitários. Esse gás contribui para o aquecimento global e a depleção da camada de ozônio.

Além dos potenciais impactos ambientais, o descarte dos resíduos orgânicos no aterro sanitário também desperdiça recursos valiosos. Esses resíduos podem ser transformados em composto orgânico por meio da compostagem, processo de degradação natural da matéria orgânica, promovido por microrganismos aeróbicos (Reis, 2012), tornando-se uma fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo e evitando que seja lançado na forma de lixiviados. Durante a compostagem, os microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica também trabalham para converter o nitrogênio presente em formas orgânicas em formas minerais disponíveis para as plantas. O material resultante, o composto, é um material estável que pode ser usado como um aditivo agrícola, reduzindo a demanda por fertilizantes sintéticos e trazendo muitos benefícios aos solos: fornece matéria orgânica e biofertilidade, melhora a estrutura do solo e a retenção de água, reduz a erosão, entre outros. (Miguel et al. 2022).

Outra alternativa para reduzir o volume do resíduo orgânico disposto adequadamente é a digestão anaeróbia, que tem como subproduto o biogás. O biogás também serve como alternativa energética por ser majoritariamente composto por metano que, como mencionado, possui grande potencial energético, sendo uma substância inflamável, inodora, incolor, de baixa densidade e alto poder calorífico. Assim, a recuperação do biogás minimiza a emissão de metano na atmosfera e oferece uma solução energética renovável.

3.3. ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS - AFM

A Análise de Fluxo de Materiais, ou AFM, é uma avaliação sistemática dos fluxos e estoques de materiais em um sistema definido no espaço e no tempo (Brunner & Rechberger, 2016). Ela permite conectar as fontes, os caminhos e os destinos finais de um material e busca revelar informações completas sobre os fluxos e estoques de um material específico, revelando os fluxos de resíduos e as fontes de forma clara. Ela também identifica o acúmulo ou esgotamento de estoques, possibilitando a tomada de medidas ou a promoção de sua utilização futura, e tem sido aplicada para diferentes sistemas e finalidades. Sendo uma ferramenta valiosa para a gestão de recursos, resíduos e questões ambientais, ela tem se

tornado um campo de pesquisa em rápido desenvolvimento, com crescente relevância política (Bringezu e Moriguchi, 2002).

Na gestão de recursos e resíduos, é evidente que a AFM pode contribuir para o rastreamento e avaliação dos estoques de materiais na natureza e na antroposfera (Suesatpanit, 2017). Essa abordagem permite uma compreensão direta e focada dos processos que geram resíduos de nitrogênio, identificando as fontes e causas do problema. Ela também é útil para estudar a eficiência de processos internos de uma linha de produção, identificando oportunidades de otimização e medidas corretivas.

A Análise de Fluxo de Materiais foi escolhida como abordagem principal no estudo sobre a análise de nitrogênio em resíduos alimentares do restaurante universitário da UnB devido às suas vantagens específicas nesse contexto. Ao fornecer uma compreensão direta dos processos que geram resíduos de nitrogênio, identificar áreas de ineficiência e oferecer resultados práticos e rápidos, a análise de fluxo de materiais permite uma abordagem focada e orientada à ação para a redução desses resíduos.

3.3.1. Histórico

Ao longo da história existiram diversos desenvolvimentos paralelos da AFM em diferentes áreas, como medicina, química, economia, engenharia e ciências da vida, não sendo possível atribuir sua origem a uma única pessoa ou evento. A conservação de matéria, que é o princípio básico da AFM, foi postulada há mais de 2000 anos pelos filósofos gregos. Esse princípio é estabelecido pela Lei da Conservação da Massa, que remonta à descoberta de Antoine Lavoisier em 1789 de que a massa não é criada nem destruída em reações químicas. Em outras palavras, a massa de qualquer elemento no início de uma reação será igual à massa desse elemento no final da reação (Sterner et al, 2011).

Ao longo do século XX, a análise de fluxo de materiais foi aplicada em diversas áreas, como engenharia de processos, economia e gestão ambiental. Estudos pioneiros foram realizados sobre o metabolismo das cidades e a análise de caminhos de poluentes em regiões como bacias hidrográficas e áreas urbanas. A análise de fluxo de materiais evoluiu e se tornou uma ferramenta amplamente utilizada em processos de controle, tratamento de resíduos, gestão de recursos, avaliação do ciclo de vida e outros campos.

Um dos primeiros relatos sobre a análise de fluxo de materiais foi feito no século XVII pelo médico Santorio (1737), que analisou o metabolismo humano. Ele desenvolveu um método para equilibrar as entradas e saídas de uma pessoa, medindo o peso da pessoa, dos alimentos consumidos e das excreções. Embora Santorio não tenha conseguido fechar o

balanço de massa, ele descobriu que a produção visível de uma pessoa era menor do que a quantidade consumida. Posteriormente, o economista Wassily Leontief desenvolveu a metodologia de entrada-saída econômica na década de 1930, que se tornou uma ferramenta importante para analisar as transações econômicas entre os setores de uma economia. O método de entrada-saída também foi expandido para incluir emissões e resíduos de produção, sendo posteriormente incorporado à avaliação do ciclo de vida (Brunner e Rechberger, 2016).

A análise de fluxo de materiais também foi aplicada ao estudo do metabolismo das cidades. Autores como Abel Wolman (1965) e Duvigneaud e Denayeyer-De Smet (1975) analisaram as entradas e saídas de materiais e energia na cidade de Bruxelas, destacando a dependência dessas áreas em relação ao seu entorno. No mesmo período, o estudo de Newcombe (1978) analisou o metabolismo da cidade de Hong Kong, mostrando o impacto do rápido crescimento populacional e desenvolvimento econômico na demanda por materiais e energia. Esses estudos ressaltaram a importância de compreender o metabolismo urbano para encontrar soluções sustentáveis para o desenvolvimento das cidades, bem como a necessidade de medir e quantificar os fluxos de materiais e energia nos sistemas urbanos.

Nas décadas seguintes, a análise de fluxo de materiais continuou a evoluir e se adaptar às necessidades das empresas. Foram desenvolvidas técnicas e ferramentas específicas para diferentes setores, como logística, varejo e serviços. Além disso, com os avanços tecnológicos, surgiram softwares e sistemas de gestão que facilitam a análise e o monitoramento do fluxo de materiais em tempo real.

3.3.2. Aplicações

O notável crescimento do uso da AFM como ferramenta para analisar e planejar sistemas de gerenciamento de resíduos é evidenciado no estudo de Moriguchi e Hashimoto (2016). Uma pesquisa realizada por estes autores na base de dados Web of Science resultou em mais de 300 artigos que utilizaram a AFM aplicada à área de resíduos e reciclagem.

Tanakorn Suesatpanit (2017), em seu estudo, analisou o sistema alimentar da Tailândia no ano de 2014, buscando identificar a origem, quantificar a magnitude e avaliar a reciclagem atual de nitrogênio no sistema de produção e consumo de alimentos por meio da construção de um diagrama de fluxo de nitrogênio visando a sustentabilidade e o uso eficiente de recursos.

O estudo de Lima et al. (2018) estimou os fluxos nitrogênio reativo no Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe a fim de determinar as emissões anuais de

nitrogênio, concluindo que a maior parte das emissões originaram do consumo de alimentos no campus.

Gabrielle Lohmann (2020), em sua tese de doutorado, utilizou o software STAN para analisar os fluxos de carbono, fósforo e nitrogênio e avaliou os potenciais impactos ambientais no Aterro Sanitário da Extrema (ASE) na cidade de Porto Alegre - RS e comparou os resultados com a geração de gases de uma usina de compostagem simulada.

O estudo de Sinha et al. (2022) mapeia fluxos de nitrogênio e fósforo na biomassa marinha da Suécia para avaliar a capacidade de absorção destes elementos e explorar cenários de uso dessa biomassa a fim de reduzir a depleção destes recursos no sistema.

A Tabela 3.2 apresenta pesquisas que utilizaram a análise de fluxo de materiais para diversas finalidades, incluindo o gerenciamento de resíduos e análises de fluxos de nitrogênio, fósforo e outras substâncias:

Tabela 3.2: Referências bibliográficas que apresentam o uso da análise de fluxo de materiais.

Referência	Estudo
Allesch; Brunner, 2015	Análise de Fluxo de Materiais como uma Ferramenta de Apoio à Decisão para Gerenciamento de Resíduos
Coppens et al., 2016	Analisa os fluxos de nitrogênio (N) e fósforo (P) na região de Flandres, Bélgica, em 2009, evidenciando emissões significativas, especialmente da produção agrícola e pecuária.
Firmansyah et al., 2017	Avaliação dos fluxos de nitrogênio e fósforo em sistemas agrícolas e urbanos em uma pequena ilha com disponibilidade limitada de dados.
Suesatpanit, 2017	Análise do Fluxo de Substâncias de Nitrogênio no Sistema de Produção e Consumo de Alimentos da Tailândia.
Lima et al., 2018	Estimativa do fluxo de nitrogênio na Universidade Federal da Sergipe, Brasil.
Pan; Ding; Yang 2019	Estudo sobre o crescimento rápido em áreas metropolitanas na China e suas implicações ambientais e de saúde humana devido aos fluxos de nitrogênio (N).

Lohmann, G., 2020	Análise de fluxo de carbono, nitrogênio e fósforo e avaliação de impactos ambientais em aterro sanitário e na compostagem de resíduos sólidos urbanos.
Zhao et al. 2021	Avalia o fluxo de nitrogênio e o aumento expressivo de resíduos sólidos (RS) impulsionado pelo rápido desenvolvimento econômico na China.
Liao; Xia; Wu, 2021	Analisa fluxos de nitrogênio associados ao sistema de produção e consumo de alimentos de Xangai.
Referência	**Estudo**
Oita et al., 2021	Propõe o método Nutrient-Extended Input-Output (NutrIO) para avaliar pegadas de nutrientes, destacando elos entre setores agrícolas, manufatureiros e energéticos.
Hayashi et al., 2021	Utiliza uma abordagem de orçamento de N em nível nacional e examina os benefícios e ameaças da fixação artificial de nitrogênio reativo (Nr) em forma de fertilizantes de nitrogênio.
Rana et al., 2022	Modela os fluxos de nitrogênio (N) em um campus acadêmico, identificando fontes e cenários de gestão alternativos para reduzir cargas de nitrogênio no ambiente.
Sinha et al. 2022	Avalia biomassa marinha como algas, mexilhões e maricultura para investigar o consumo antropogênico de nitrogênio (N) e fósforo (P).
Mayor et al., 2023	Análise do fluxo de nitrogênio (N) na Espanha em 2016, destacando perdas significativas, principalmente em emissões agrícolas e industriais.
Vingerhoets et al., 2023	Estudo detalhado de fluxo de substâncias para a cadeia agroalimentar na região de Flandres, Bélgica.

3.3.3. Termos e Definições da AFM

O uso da AFM surgiu de diversos desenvolvimentos paralelos ao longo da história, resultando em uma variedade de significados e nomes para os mesmos termos e objetos. Dessa forma é importante estabelecer alguns termos e definições para garantir que o processo de análise de fluxo de materiais seja consistente e garantir que os procedimentos e resultados sejam transparentes e reproduzíveis.

Paul H. Brunner e Helmut Rechberger (2016) buscaram contribuir para uma terminologia generalizada e fornecendo uma padronização destes termos e definições em seu livro Handbook of Material Flow Analysis. Essa mesma padronização também é encontrada no programa STAN, que será utilizado para a construção do diagrama de fluxo. O programa utiliza os mesmos termos e definições estabelecidos por Brunner e Rechberger, como apontado em seu manual (Cencic, 2022).

Dessa forma, para fins desse estudo, serão utilizados os seguintes termos e definições com base no livro mencionado e no programa STAN. O livro fornece uma abordagem conceitual e teórica abrangente sobre o assunto em questão, oferecendo uma base sólida de conhecimento e terminologia. Quanto ao programa STAN, devido à linguagem própria e definições específicas incorporadas em sua estrutura, adotam-se esses termos e definições para alinhar nosso entendimento com as funcionalidades e o contexto fornecidos pelo programa, facilitando assim a comunicação e o uso adequado da ferramenta.

1. SUBSTÂNCIA:

A análise de fluxo de materiais (AFM) utiliza o termo "substância" para se referir à matéria física de que algo é composto. Na AFM, uma substância é qualquer elemento químico ou composto formado por unidades uniformes e com constituição única. No entanto, a definição de substância na AFM não leva em consideração a forma física, e é por isso que a madeira, por exemplo, não é considerada uma substância, pois é composta por diferentes substâncias. Elementos químicos, como carbono e nitrogênio, e compostos químicos, como dióxido de carbono e cloreto de cádmio, são tratados como substâncias na AFM.

Uma substância é considerada conservadora se não é destruída ou transformada em um processo. Isso se aplica aos elementos e a certos compostos estáveis durante um processo. Por outro lado, compostos que são transformados durante um processo são considerados substâncias não conservadoras.

2. BEM:

O termo bem descreve mercadorias e produtos. Bens são entidades econômicas compostas por uma ou várias substâncias. Eles têm um valor econômico positivo ou negativo e são mensurados em termos de valor econômico e, às vezes, massa. Bens são amplamente utilizados em estatísticas e estudos de balanço material para entender os fluxos e estoques de materiais em um sistema.

3. MATERIAL:

Material é um termo amplo que engloba tanto substâncias quanto bens. Carbono e madeira, por exemplo, podem ser considerados materiais. O termo material serve como um termo guarda-chuva para ambos.

4. PROCESSO E ESTOQUE:

Um processo é a transformação, transporte ou armazenamento de materiais. Os processos de transformação ocorrem na produção primária, como na indústria de mineração e metalurgia, onde os metais são extraídos de minérios. Os processos de consumo, como os das residências, transformam bens em resíduos e emissões. Exemplos de processos de transformação incluem o corpo humano, residências, estações de tratamento de águas residuais, veículos, usinas de energia e agricultura. Além disso, o transporte de mercadorias, pessoas, energia e informações também é considerado um processo.

Nos modelos que serão apresentados, os processos são considerados como caixas pretas, focando apenas nas entradas e saídas. No entanto, em certos casos, os processos podem ser divididos em subprocessos para uma análise mais detalhada. Além disso, existem processos externos ao sistema, de onde originam os fluxos de entrada que atingem processos dentro do sistema e para onde são destinados os fluxos de saída que são exportados pelo sistema.

O armazenamento de materiais em um processo é chamado de "estoque de materiais", descrevendo a quantidade de materiais que circulam dentro de um processo. Nem todo processo utiliza um estoque.

5. FLUXO:

O conceito de fluxo de materiais busca quantificar a matéria que percorre um sistema de diversas maneiras. Esse termo refere-se à quantidade absoluta de massa que atravessa um condutor em um período específico.

Em um sistema aberto, que realiza trocas de matéria com processos externos, é possível identificar fluxos de importação e/ou exportação. Os fluxos de importação têm origem em processos fora dos limites do sistema e são direcionados aos processos internos, ou seja, importam matéria para o sistema. Por outro lado, os fluxos de exportação originam-se nos processos internos do sistema e são destinados aos estoques e processos externos ao sistema, exportando assim matéria para fora do sistema.

6. SISTEMA E LIMITES DO SISTEMA:

Um sistema em uma investigação de AFM é um grupo de elementos interconectados formando uma unidade completa. Pode ser aberto, permitindo importação e exportação de materiais ou energia, ou fechado, sem trocas externas.

O sistema possui fronteiras definidas no tempo e no espaço. A fronteira temporal é o período investigado, na prática utilizam-se períodos tangíveis de uma hora, um dia ou um ano, mas, teoricamente, esse período pode compreender qualquer unidade de tempo por maior ou menor que seja. A fronteira espacial é determinada por uma área geográfica, podendo ser as premissas de um estabelecimento, uma cidade, país ou continente ou um sistema de gerenciamento de resíduos, por exemplo. A Figura 3.2 mostra uma representação de um sistema de AFM em um diagrama de fluxo, com processo e fluxos representados:

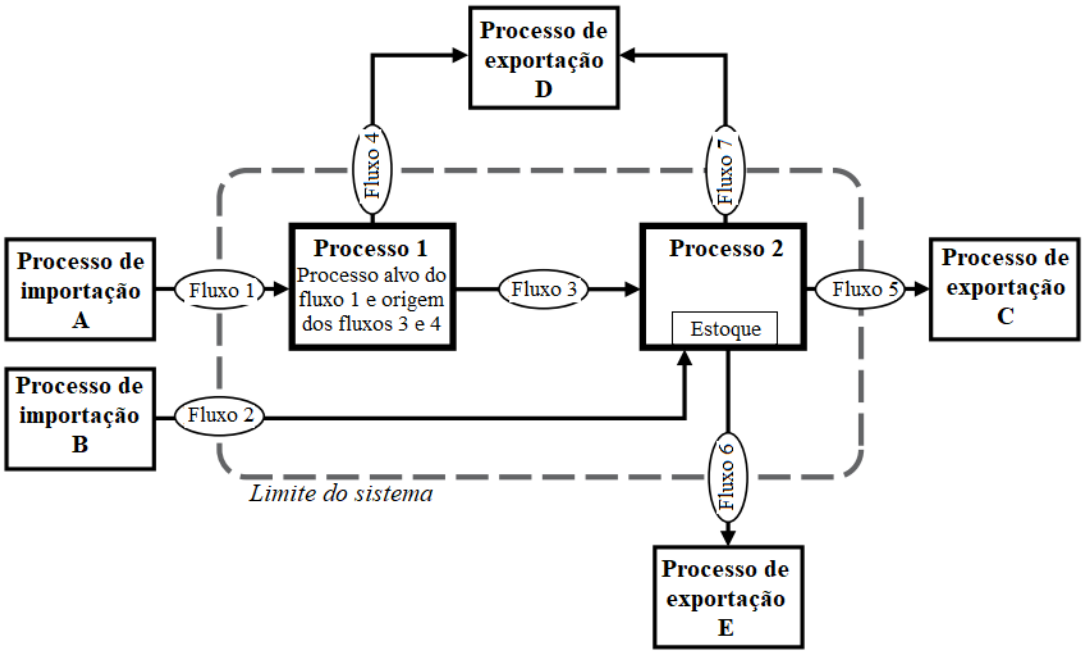


Figura 3.3: Sistema exemplar de AFM ilustrando termos selecionados. Os fluxos de importação e exportação são colocadas diretamente na fronteira do sistema para facilitar a compreensão visual (Fonte: Adaptado de Brunner e Rechberger, 2016).

7. COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA:

Os coeficientes de transferência (TC) descrevem a distribuição de uma substância em um processo. Eles são calculados para cada produto de saída de um processo e indicam a porcentagem do total de uma substância, ou partição, que é transferida para um produto específico. Dessa forma, a soma de todos os coeficientes de transferência de um processo deve se igualar a 1. Eles podem variar de acordo com as condições do processo e a composição dos insumos ou podem ser considerados constantes dentro de uma faixa específica.

8. ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS (AFM)

A análise de fluxo de materiais é um método para descrever, investigar e avaliar o metabolismo de sistemas antropogênicos e geogênicos. Ela envolve o estabelecimento de balanços materiais para determinar a quantidade e o destino dos materiais em um sistema. A AFM considera tanto os bens quanto as substâncias, pois um balanço de substâncias baseado em um balanço de bens fornece informações mais completas. Além disso, a AFM ajuda a identificar fontes de erro e permite a detecção de tendências ao longo do tempo.

3.3.4. Software STAN

O STAN (abreviação de subSTance flow ANalysis) é um software gratuito criado pelo Institute for Water Quality, Resources and Waste Management, da Vienna University of Technology que busca auxiliar a análise de fluxo de materiais de acordo com a norma austríaca ÖNORM S 2096 (MFA - Application in Waste Management) (Cencic, 2022).

Em 2005, na Áustria, a partir de um processo de certificação de companhias de gerenciamento de resíduos que exigia uma demonstração da movimentação de materiais, os termos e a metodologia da AFM foram padronizados pela ÖNORM S 2096.

Nessa fase, o uso de softwares desempenhou um papel fundamental na AFM, proporcionando suporte e facilitando o processo de análise e interpretação dos dados. Durante uma AFM, geralmente eram utilizados diferentes softwares para diferentes etapas do processo. Enquanto softwares de planilha eletrônica, como o Excel, eram utilizados para a gestão de dados e cálculos. Softwares gráficos eram empregados para visualizar os resultados da AFM por meio de gráficos e diagramas, facilitando a compreensão e a comunicação dos dados. (Cencic; Rechberger, 2008)

No entanto, o uso de vários softwares durante o processo de AFM é trabalhoso e propenso a erros. A transferência de dados entre diferentes programas e a necessidade de manter a consistência dos dados podem ser desafiadoras. Além disso, não se sabia como lidar com incertezas ou com dados inconsistentes, permitindo que informações valiosas para a tomada de decisão fossem perdidas. (Cencic; Rechberger, 2008). Dessa forma, o STAN foi criado com a finalidade de suprir as deficiências advindas do uso de vários softwares para a análise de fluxo de materiais. O programa dispõe de um manual que é atualizado a cada versão e de uma biblioteca de vídeos tutoriais.

Como descrito no próprio manual, o programa STAN permite a construção de modelos gráficos com componentes pré-definidos, como processos, fluxos e limites do sistema. Com ele, é possível inserir ou importar dados conhecidos, como fluxos de massa, volume, concentrações e coeficientes de transferência, em diferentes camadas e períodos, a fim de

calcular quantidades desconhecidas. Todos os fluxos podem ser visualizados no estilo Sankey, onde a largura de um fluxo é proporcional ao seu valor. O modelo pode ser impresso ou exportado, utilizando o Microsoft Excel como interface para importação e exportação de dados. Além disso, o programa também permite considerar incertezas nos dados, utilizando ferramentas estatísticas matemáticas como reconciliação de dados, propagação de erros e detecção de erros grosseiros para permitir a obtenção de resultados mais precisos mesmo com a inserção destas incertezas (Cencic, 2022). A Figura 3.4 apresenta um esboço de sistema de AFM realizada no programa STAN:

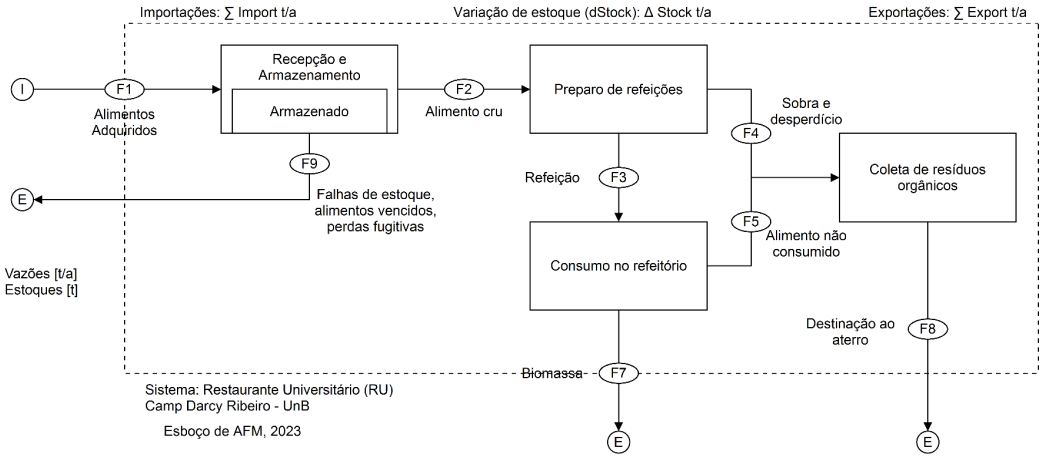


Figura 3.4: Esboço de uma Análise de Fluxo de Materiais criada no software STAN.

No exemplo apresentado na Figura 3.4, é possível ver uma modelagem de AFM elaborada no STAN. As setas F1 a F9 indicam as vazões de massa onde F1 é a vazão de entrada originada de um processo de importação “I”, F2 a F5 correspondem às vazões entre processos e F6 a F8 são as vazões de saída destinadas à processos de exportação “E”; as caixas pretas indicam os processos que ocorrem dentro do sistema e, dentro delas, os estoques armazenados dentro destes processos; a linha tracejada representa o limite do sistema analisado pela AFM exemplificada.

Aplicações do STAN se encontram presentes em diversos estudos realizados desde a sua criação. A seguir são mencionados exemplos de referências do uso do programa STAN na literatura.

A análise de fluxo de substâncias modelada através do STAN foi utilizada para avaliar cenários de gestão de resíduos na região da Campania, no sul da Itália. (MASTELLONE; BRUNNER; ARENA, 2009). Outro estudo utilizou o mesmo procedimento com ajuda do

STAN para o gerenciamento de resíduos para a ilha de Malta, na Europa (CAMILLERI-FENECH et al., 2018).

Para abordar a gestão eficiente de nutrientes na produção de alimentos na região de Flanders, na Bélgica, o STAN foi utilizado para determinar os fluxos de nitrogênio e fósforo em diferentes setores econômicos regionais. (COPPENS et al., 2016)

Em um estudo realizado com dados limitados na ilha de St. Eustatius, no Caribe o programa STAN foi aplicado em sistemas agrícolas e urbanos para determinar possíveis estoques de nitrogênio e fósforo na produção agrícola. (FIRMANSYAH et al., 2017).

No estudo de Álvaro et al. (2023) a análise de fluxo de substâncias de nitrogênio (N) na Espanha, considerando interações e fluxos nos sistemas agrícola e de gestão de resíduos, foi desenvolvida utilizando o STAN, incluindo uma análise de incertezas.

O STAN também foi utilizado em um estudo para analisar o fluxo de nitrogênio em um campus universitário e propor cenários alternativos de gestão para reduzir a carga de nitrogênio no ambiente (Rana; Kumar; Arora, 2022).

4. METODOLOGIA

Para avaliar os fluxos de massa de nitrogênio de resíduos de alimentos dentro do sistema do Restaurante Universitário no Campus Darcy Ribeiro - UnB serão apresentados os dados a serem utilizados, seus procedimentos e materiais de coleta e a metodologia utilizada para a análise de fluxo de nitrogênio neste estudo, detalhando os procedimentos adotados para coletar e analisar os dados necessários.

A Figura 4.1 ilustra as etapas metodológicas para a construção do diagrama de fluxo e avaliação dos resultados:

METODOLOGIA EMPREGADA NA PESQUISA			
1. Definição do Objetivo e Escopo do Estudo.	Analisar o fluxo de nitrogênio do consumo de alimentos no RU, identificando os processos de origem e destino do nitrogênio.	Avaliar a eficiência do uso de nitrogênio e possíveis impactos ambientais associados no RU.	
2. Coleta de Dados	Identificar as principais fontes de nitrogênio no Restaurante Universitário.	Coletar dados sobre a quantidade de nitrogênio utilizado em diferentes processos, como preparação de alimentos, limpeza e descarte de resíduos.	Registrar informações sobre o consumo de alimentos, número de refeições servidas e padrões de utilização do restaurante.
3. Análise do Fluxo de Nitrogênio	Definir os limites espaciais e temporais do sistema e mapear os fluxos de entrada, saída de nitrogênio no sistema.	Identificar os processos responsáveis pela transformação, transportação e armazenamento de massas de nitrogênio no sistema.	Construir diagrama com os fluxos, processo e estoques a origem e destinação destes fluxos dentro e fora do sistema.
4. Análise dos resultados	Analisar os dados coletados e avaliar os resultados, verificando se os objetivos do estudo foram alcançados.	Apresentar conclusões sobre o fluxo de nitrogênio do Restaurante Universitário e suas implicações ambientais.	Apresentar e discutir possíveis áreas de melhoria futura.

Figura 4.1: Etapas metodológicas.

Este estudo utilizou de informações primárias e secundárias de fontes específicas do RU, assim como dados regionais e nacionais quando identificada a falta de presença de dados do próprio restaurante. Informações sobre concentrações de nitrogênio nos alimentos e de práticas comuns como o preparo destes alimentos são coletadas por meio de bases de dados e estudos primários. Dessa forma, as informações serão coletadas de diversas fontes envolvendo levantamentos bibliográficos, registros de consumo e produção de alimentos e análises de documentos.

A análise dos dados coletados permite identificar os pontos críticos de entrada e saída de nitrogênio, bem como possibilita avaliar o impacto ambiental associado ao fluxo de nitrogênio no RU. Fluxos de massa não significativos e fluxos originados de fontes não alimentares como produtos de limpeza não são considerados para a análise.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No campus Darcy Ribeiro, além do Restaurante Universitário, diversas outras lanchonetes e restaurantes são responsáveis pela geração de RSO, como por exemplo o Restaurante do Beijódromo, Restaurante da Praça Chico Mendes, Restaurantes localizados nos blocos conhecidos popularmente como Amarelinho, Cantinas do ICC, da Faculdade de Tecnologia, Faculdade de Medicina e Faculdade de Direito, dentre outras. Porém, o principal responsável pela geração de Resíduos Orgânicos presente na Universidade de Brasília é o Restaurante Universitário (Dutra, 2018).

De acordo com o site da UnB, o RU está vinculado ao Decanato de Assuntos Comunitários (DAC) e objetiva propiciar à comunidade universitária, em especial aos estudantes participantes dos programas de assistência estudantil, alimentação balanceada e em condições higiênico-sanitárias adequadas, minimizando a evasão e favorecendo a diplomação. As figuras 4.1 e 4.2 mostram o exterior do restaurante e o interior de sua cozinha.



Figura 4.2: Vista do exterior do RU do campus Darcy Ribeiro, UnB. (Fonte: DAC, UnB)



Figura 4.3: Cozinha do RU do campus Darcy Ribeiro, UnB. (Fonte: UnB Notícias, 2017)

O limite espacial do sistema corresponde a todas as áreas dentro das dependências do RU responsáveis pelo armazenamento, preparo e consumo dos alimentos, isso compreende instalações como o frigorífico e a dispensa de alimentos, a cozinha, o refeitório e áreas de disposição de resíduos sólidos orgânicos dentro do perímetro do restaurante. Dessa forma, locais fora destas instalações como o salão principal e os banheiros não são compreendidos como parte do sistema. O limite temporal consiste no mês de outubro de 2023, os dados principais fornecidos pelo restaurante, como número de refeições servidas e registros de produção, correspondem exclusivamente a esse período, dados coletados diretamente no

restaurante e obtidos de outros estudos serão utilizados para estimar os valores correspondentes ao período analisado.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS, ESTOQUES E FLUXOS DO SISTEMA

O RU é representado por fluxos de importação, fluxos de exportação e fluxos internos de entrada e saída ligados aos diferentes processos que ocorrem dentro do sistema durante o período analisado.

Os fluxos de importação correspondem às quantidades de massa que entram no RU na forma de alimentos. Estes fluxos originam-se fora dos limites do sistema e são destinados a processos internos do sistema, ou seja, importam nitrogênio para o sistema.

Os fluxos de exportação correspondem às massas de nitrogênio que saem do RU originárias de um processo dentro do sistema, compreendendo principalmente os resíduos alimentares e efluentes originários do armazenamento, preparação e consumo dos alimentos e da limpeza do restaurante. Estes fluxos originam-se dos processos dentro do sistema e são destinados a estoques e processos externos ao sistema, ou seja, exportam nitrogênio.

Os processos são responsáveis pelo transporte, transformação e armazenamento do nitrogênio que corre pelo sistema. No âmbito do restaurante universitário, os processos referem-se às atividades e operações envolvidas na manipulação, preparação, distribuição e descarte dos materiais dentro do sistema.

Analisando o funcionamento de uma cozinha industrial e as suas principais etapas geradoras de resíduos orgânicos (Venkze, 2001; SEBRAE, 2018), podemos identificar os seguintes processos que regem o fluxo de nitrogênio em alimentos no RU:

1. Recepção e armazenamento: Recepção de alimentos nas câmaras frigoríficas e despensas e de produtos não alimentares;
2. Preparo prévio: Descasque, fatiamento, fracionamento, lavagem, desinfecção;
3. Confecção: Preparo final das refeições;
4. Distribuição e consumo: Disponibilização e consumo das refeições pelo público atendido;
5. Limpeza: Coleta de resíduos e limpeza dos utensílios, instalações e equipamentos do restaurante.

Ao caracterizar os fluxos e processos são então estabelecidas as relações entre estes, permitindo que sejam conectados pelos fluxos associados a cada processo, assim como

estabelecer os responsáveis pela recepção dos fluxos de importação e pela origem dos fluxos de exportação. Estas informações são utilizadas para a construção do diagrama de fluxo no programa STAN. Nele, os processos são representados por caixas pretas, com seus estoques representados por caixas menores dentro do processo, os fluxos são representados por setas nomeadas FX, sendo X o número do fluxo, e o sistema é representado pela linha tracejada em torno do diagrama. Além disso, fluxos que começam de um ponto "I" são fluxos de importação e fluxos que terminam em um ponto "E" são fluxos de exportação.

4.2.1. Fluxo de Importação

Fluxos de importação representam o total da massa de nitrogênio que será introduzida no sistema. Idealmente, a soma de todos os fluxos de exportação e estoques do sistema deve-se igualar à soma dos fluxos de importação.

No RU, o principal fluxo de importação identificado foi:

1. Fornecimento de alimentos: Alimentos são fontes significativas de compostos nitrogenados, como proteínas, aminoácidos e vitaminas. Quando esses alimentos são adquiridos pelo restaurante eles trazem consigo o nitrogênio contido em sua composição.

4.2.2. Recepção e armazenamento

O processo de recepção e armazenamento é o primeiro no funcionamento de uma cozinha industrial. Nesse processo, ocorre a recepção dos alimentos e produtos não alimentares que serão utilizados no preparo das refeições, além do armazenamento adequado desses itens.

Por ser o primeiro processo do sistema, o fluxo de entrada da Recepção e Armazenamento é o fluxo de importação do sistema já identificado na etapa anterior. No entanto, analisar este processo separadamente, com uma coleta de dados própria, é importante para identificar alimentos não recebidos pelo restaurante ou possíveis perdas, como falhas de estoque, que possam ocorrer nesta etapa. Já os fluxos de saída deste processo correspondem aos alimentos que foram recebidos e armazenados pelo restaurante e destinados ao preparo das refeições.

Para a recepção e armazenamento, com o fluxo de entrada já caracterizado, foram identificados os seguintes fluxos de saída associados:

1. Alimentos tratados: Alimentos que foram determinados aprovados para o consumo destinados à cozinha para a confecção das refeições;

2. Descarte e perdas: Alimentos e produtos vencidos ou fora das condições de consumo ou uso que são descartados na forma de resíduos orgânicos;

A Figura 4.3 apresenta o diagrama do processo de recepção e armazenamento, com os fluxos e o estoque correspondentes ao processo.

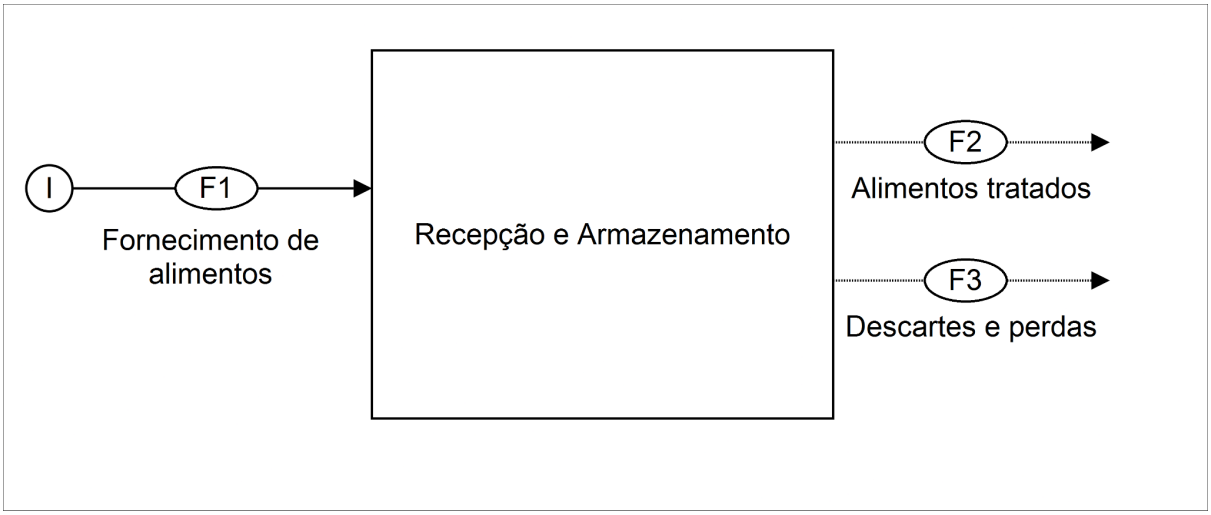


Figura 4.4: Diagrama do processo de Recepção e Armazenamento.

4.2.3. Confecção

No processo de Confecção, os alimentos que passaram pelo processo de preparo prévio são transformados nos alimentos prontos para o consumo por meio da aplicação de técnicas culinárias para cozinhar, temperar e combinar os ingredientes.

Para o processo de Confecção foi identificado um único fluxo de entrada e dois fluxos de saída:

Fluxo de entrada:

1. Alimentos Tratados: Alimentos recebidos do processo de Recepção e Armazenamento destinados para a confecção das refeições;

Fluxos de saída:

1. Alimentos servidos: Alimentos prontos para o consumo destinados para a distribuição e consumo no refeitório;

2. Descartes e perdas: Alimentos contaminados ou inutilizados, ou outros tipos de perdas durante a confecção devido à erros no preparo, que são descartados como resíduos orgânicos;

A Figura 4.4 apresenta o diagrama do processo de confecção:

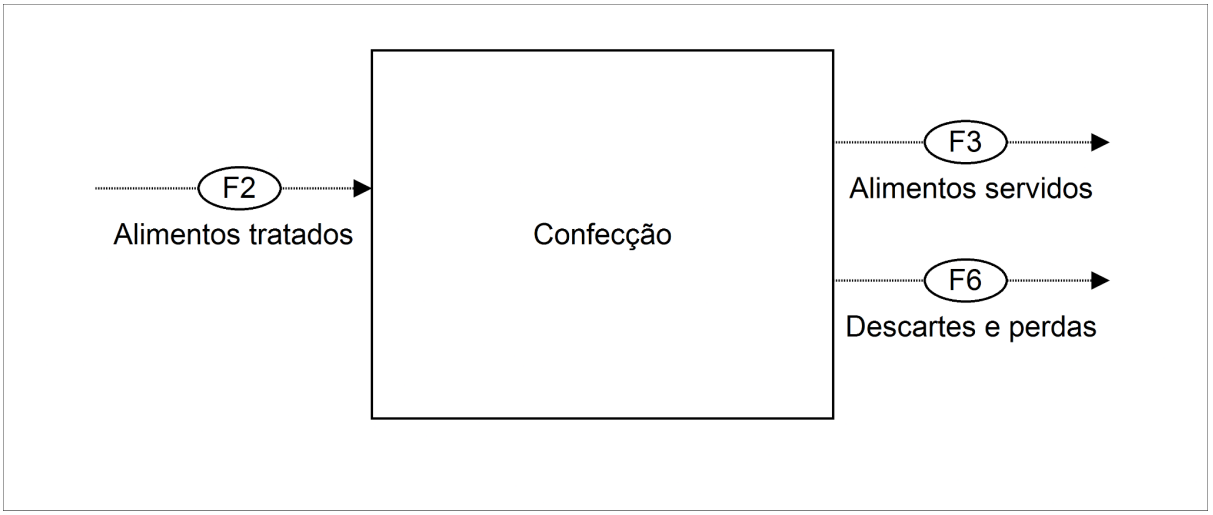


Figura 4.5: Diagrama do processo de Confecção.

4.2.4. Distribuição e Consumo

O processo de Distribuição e Consumo é a fase final da jornada das refeições no restaurante universitário. Nessa etapa, os alimentos preparados são servidos ao público atendido, que pode incluir estudantes, professores, funcionários e demais usuários do restaurante.

Neste processo, os diferentes hábitos alimentares dos consumidores podem contribuir para uma considerável incerteza neste processo, sendo importante a coleta adequada de dados e o aproveitamento das funções do software STAN para considerar incertezas na análise de fluxo.

Apenas um fluxo de entrada e dois fluxos de saída foram identificados no processo de Distribuição e Consumo. A Figura 4.5 apresenta um diagrama deste processo.

Fluxos de entrada:

1. Alimentos servidos: Alimentos outros componentes das refeições servidos para consumo e advindos da etapa de confecção;

Fluxos de saída:

1. Descartes e perdas: Sobras de alimentos não levados para o consumo, alimentos não consumidos nos pratos, perdidos ou contaminados e partes não comestíveis a serem descartadas como resíduos orgânicos.

2. Alimentos consumidos: Matéria orgânica dos alimentos e produtos ingerida pelo consumidor durante o processo de distribuição e consumo.

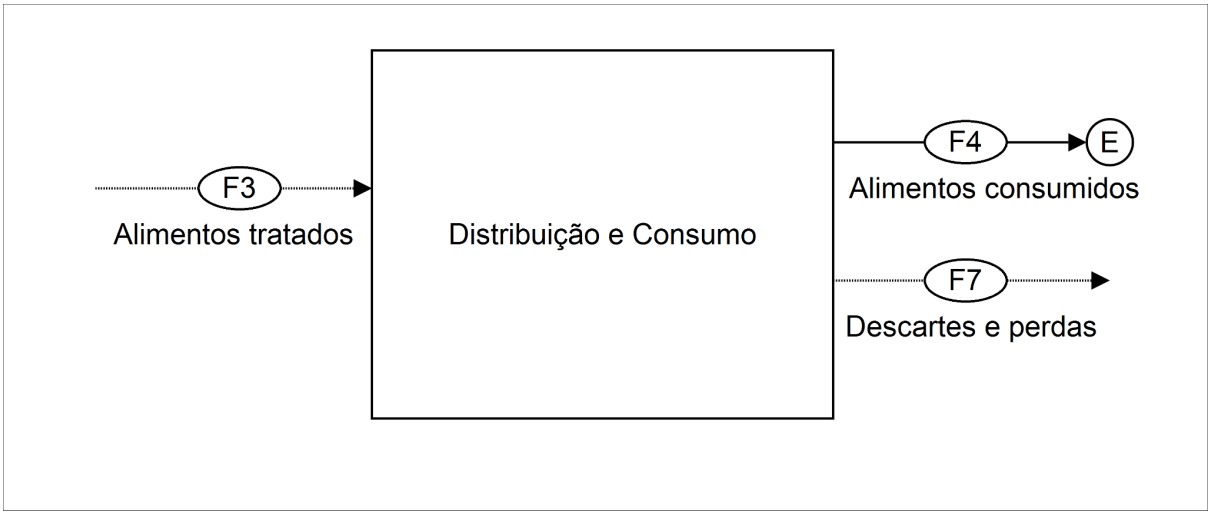


Figura 4.6: Diagrama do processo de Distribuição e Consumo.

4.2.5. Limpeza

A limpeza compreende a coleta de resíduos e a limpeza dos utensílios, instalações e equipamentos do restaurante universitário.

O processo de limpeza possui quatro fluxos associados, três fluxos de entrada e um único fluxo de saída. É importante destacar que a limpeza é um processo contínuo e regular, podendo ocorrer de forma simultânea com os outros processos. Devido à sua natureza de coleta e limpeza de resíduos, é também um processo final do sistema, ou seja, todos os seus fluxos de saída são fluxos de exportação. Este processo é apresentado na Figura 4.6.

Fluxos de entrada:

1. Descartes e perdas: Resíduos de alimentos coletados durante os outros processos do sistema incluindo desde alimentos vencidos no armazenamento até restos do consumo no refeitório.

Fluxos de saída:

1. Resíduos sólidos orgânicos: Resíduos sólidos de alimentos coletados e separados durante a limpeza dirigidos à sua destinação final;

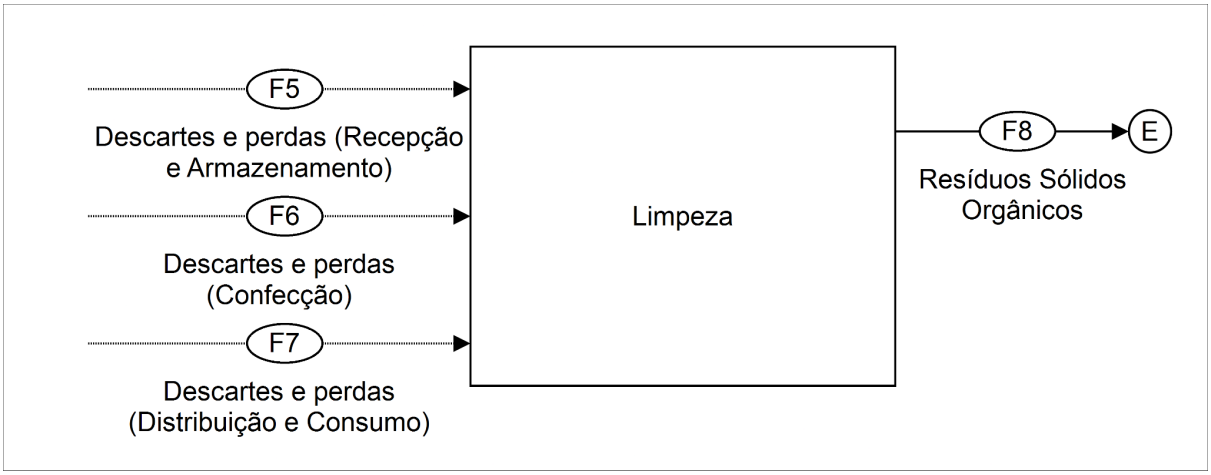


Figura 4.7: Diagrama do processo de Limpeza

4.2.6. Fluxos de Exportação

Os fluxos de exportação correspondem às massas de nitrogênio que saem do RU após passar por algum processo dentro do sistema, compreendendo principalmente os resíduos alimentares originários do armazenamento, preparação e consumo dos alimentos e as massas absorvidas nos organismos dos consumidores. Estes fluxos originam-se dos processos dentro do RU que geram fluxos de nitrogênio destinados a estoques e processos externos ao sistema.

A caracterização e quantificação dos fluxos de exportação requer conhecimento dos fluxos gerados nos processos internos do sistema. Ao analisar o padrão de geração destes processos, foram identificados os seguintes fluxos de exportação e seus processos de origem:

1. Resíduos sólidos orgânicos: Processo de Limpeza;
2. Alimentos consumidos: Processo de Distribuição e Consumo;

4.3. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE FLUXO

O estudo de análise de fluxo de nitrogênio no Restaurante Universitário (RU) envolve a construção de um diagrama que representa visualmente o fluxo desse elemento no sistema alimentar. O diagrama é construído utilizando o programa STAN, considerando as diferentes etapas, desde as fontes de entrada de nitrogênio, como alimentos adquiridos, até as saídas, como resíduos e efluentes gerados. Além disso, o diagrama destaca as perdas de nitrogênio ao longo do processamento dos alimentos.

Com os fluxos e as relações entre os processos esclarecidos é possível construir o diagrama de fluxos restaurante universitário do Campus Darcy Ribeiro - UnB. Este diagrama ainda não possui os valores correspondentes aos fluxos e estoques do sistema, que serão

calculados pela metodologia a ser apresentada. O diagrama de fluxo pode ser visualizado na na Figura 4.7:

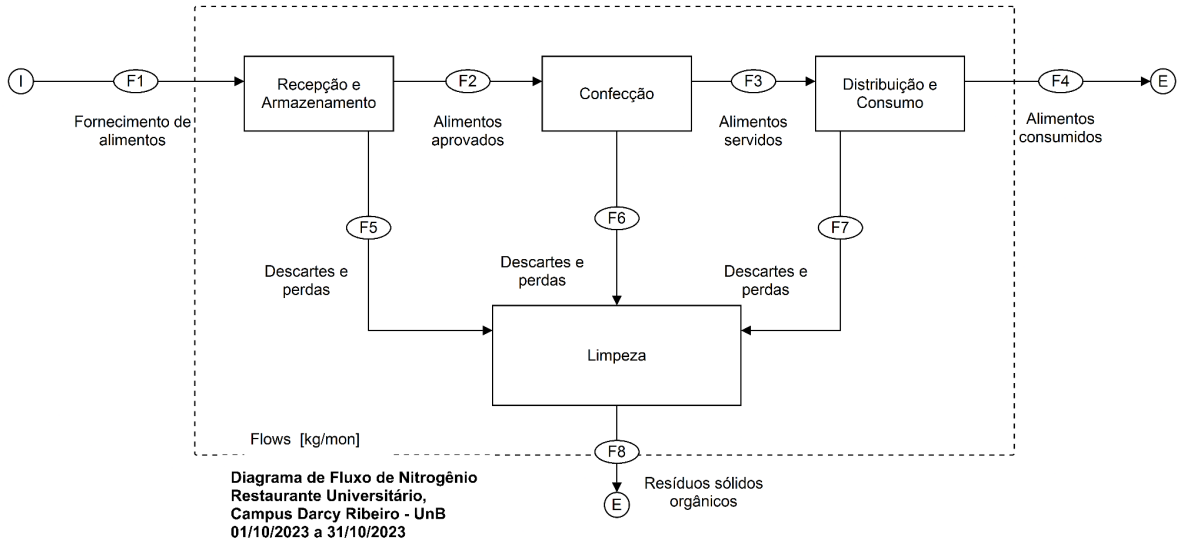


Figura 4.8: Diagrama de Fluxo de Nitrogênio do RU do Campus Darcy Ribeiro - UnB construído através do programa STAN.

4.4. CATEGORIZAÇÃO DOS ALIMENTOS E PADRONIZAÇÃO DAS REFEIÇÕES

No RU são servidos diferentes tipos de alimentos, com diferentes composições em variadas frequências para as três refeições diárias servidas. Além disso, a comunidade acadêmica que frequenta o RU também irá consumir quantidades diferentes de cada alimento em suas refeições individuais.

Para quantificação dos fluxos de nitrogênio do restaurante, estas várias inconsistências nas refeições com relação aos alimentos utilizados, métodos de preparo e hábitos alimentares dos consumidores dificultam a obtenção e uso de dados consistentes e comparáveis para a construção da análise de fluxo de nitrogênio.

Dessa forma, é necessário padronizar as refeições oferecidas pelo restaurante a fim de obter dados mais abrangentes e versáteis, que possam se adaptar às diferentes realidades diárias do restaurante, sobre o conteúdo de nitrogênio dos alimentos e a quantidade de nitrogênio presente nas refeições consumidas. Essa padronização facilita a comparação entre diferentes períodos de análise, a identificação de tendências e a tomada de decisões informadas relacionadas à gestão dos fluxos de nitrogênio no restaurante universitário.

Essa padronização é feita a partir da elaboração de uma “refeição padrão” que será adotada como a única refeição presente no cardápio para o período da análise de fluxo. A composição dessa refeição deverá atender aos requisitos de uma refeição comum do RU e incluir alimentos que representem corretamente um prato comum do restaurante em questões de quantidade e qualidade.

Dessa forma, a refeição padrão será composta por seis diferentes categorias de alimentos que buscam agrupar alimentos com características semelhantes de composição nutricional, modo de preparo e padrão de consumo. A Tabela 4.1 define as categorias:

Tabela 4.1: Categorias de alimentos utilizadas para o estudo.

nº	Categoria	Descrição	Exemplos
1	Verduras	Folhas e flores que compõem, principalmente, as saladas	Folhas verdes (alfaces, couves, rúcula), flores (brócolis, couve-flor)
2	Legumes	Vegetais que geralmente compõem as saladas, guarnições e acompanhamentos, assim como alguns pratos principais vegetarianos	Frutos (tomates, abobrinhas, pepinos), raízes e tubérculos (cenouras, batatas, cebolas, beterrabas), sementes e grãos (milho, feijão, arroz, soja).
3	Carnes e ovos	Compõem os pratos principais não veganos	carnes vermelhas e brancas, peixes e ovos
4	Pães e massas	Pães e outras massas presentes principalmente no café-da-manhã.	Pães e massas à base de trigo
5	Leites e derivados	Utilizados principalmente no café-da-manhã e como ingrediente em alguns pratos	leite, manteigas, queijos, iogurtes
6	Frutas	Utilizadas principalmente como sobremesas	Maçã, banana, laranja, mexerica, entre outras.

Com estas categorias definidas e após a coleta de dados do restaurante, será possível montar a refeição padrão a ser utilizada para a análise de fluxo de nitrogênio. O restaurante coleta a matrícula de cada aluno que entra no refeitório, fornecendo o número de refeições servidas em seus registros. Foi realizada a coleta, pesagem e caracterização de cada uma destas refeições a fim de obter o seu peso médio e a sua composição. A Equação (8) mostra como pode ser obtido o peso da refeição padrão a partir do peso médio das refeições analisadas:

$$P_{rp} = \frac{1}{n\,ref} \sum_{1}^{n\,ref} P_{ref_i} \quad (8)$$

P_{rp}: peso da refeição padrão (kg);

P_{ref}: peso das refeições servidas (kg);

$n\,ref$: número de refeições servidas;

Para identificar o teor de nitrogênio da refeição padrão, será medida a presença de cada categoria de alimentos nela, ou seja, será caracterizada pela sua composição. A equação (9) demonstra como é obtido o teor de nitrogênio da refeição padrão:

$$TN_{rp} = \sum(T_c * TN_c) \quad (9)$$

T_c: porcentagem de alimentos da categoria "c" na refeição padrão (%);

TN_c: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

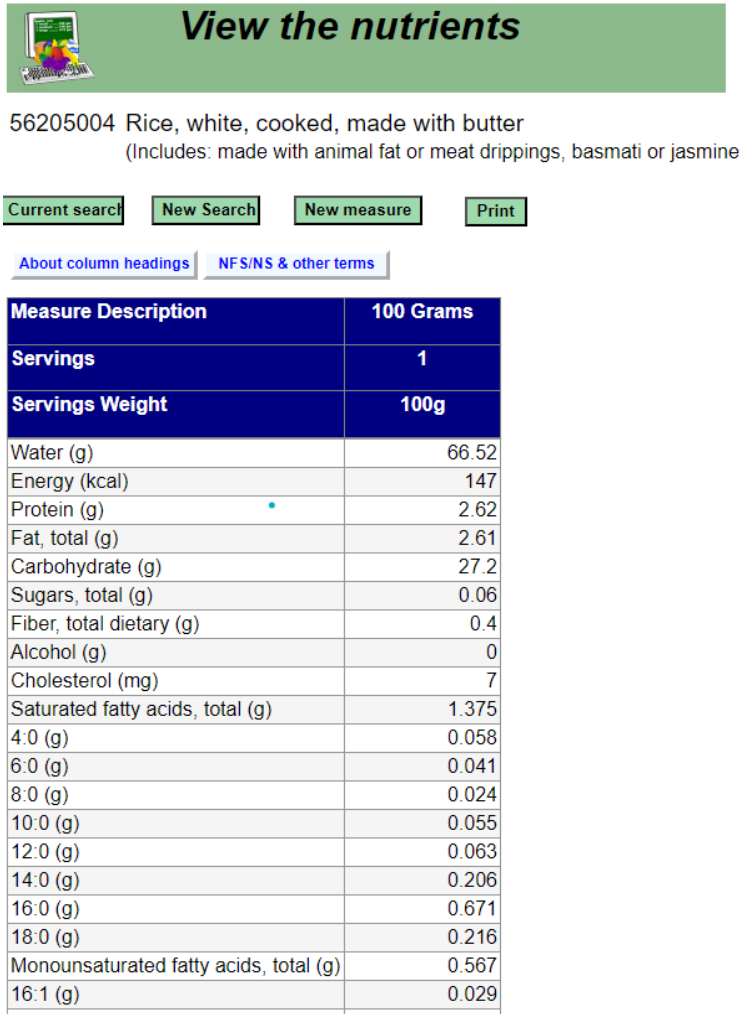
Durante a coleta de informações e dados, cada categoria terá seu teor médio de nitrogênio calculado com base na quantidade de alimentos recebidos e utilizados pelo restaurante. Na análise de geração de resíduos alimentares pelo restaurante também será feita uma análise da contribuição de cada categoria para identificar quais tipos de alimentos são os maiores contribuidores de resíduos em cada etapa e para a obtenção de um peso médio de nitrogênio por quantidade de RSO gerada.

4.5. FLUXO DE IMPORTAÇÃO (F1)

Para caracterização e quantificação do fluxo de importação são necessárias informações quanto aos tipos e quantidades, frequência de aquisição e uso e teor de nitrogênio dos alimentos e produtos recepcionados pelo restaurante.

Em alimentos, o nitrogênio se encontra presente principalmente no formato de aminoácidos e vitaminas. Alimentos de origem animal, especialmente carnes, contam também com uma presença de ácidos nucleicos pouco significativa para a concentração de nitrogênio em sua composição. Para determinar a entrada de massa de nitrogênio no sistema serão revisados dados da literatura e será utilizada a seguinte metodologia para determinar o teor de nitrogênio nos alimentos recepcionados pelo restaurante separadamente.

Ao identificar o alimento que se quer obter o teor de nitrogênio, obtém-se a composição nutricional deste alimento através do site do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), onde é disponibilizada a ferramenta “What’s In The Foods You Eat Search Tool (Ferramenta de busca: o que está nas comidas que você come)” que utiliza a Food and Nutrient Database for Dietary Studies - FNDDS (Base de dados de alimentos e nutrientes para estudos dietéticos) como fonte principal para as informações disponibilizadas pela ferramenta de busca. A ferramenta permite que o usuário visualize os nutrientes componentes de diversos tipos de alimentos, inclusive permitindo diferenciar entre o alimento cru e cozido e o modo como foi preparado, e disponibiliza estes resultados em uma tabela nutricional com a massa de cada nutriente, permitindo até que especifique a porção do alimento. A figura 5.2 mostra, como exemplo, uma seção da página web com o resultado da pesquisa pela composição nutricional do arroz branco, cozido, feito com manteiga:



View the nutrients

56205004 Rice, white, cooked, made with butter
(Includes: made with animal fat or meat drippings, basmati or jasmine rice)

Current search | New Search | New measure | Print

About column headings | NFS/NS & other terms

Measure Description	100 Grams
Servings	1
Servings Weight	100g
Water (g)	66.52
Energy (kcal)	147
Protein (g)	2.62
Fat, total (g)	2.61
Carbohydrate (g)	27.2
Sugars, total (g)	0.06
Fiber, total dietary (g)	0.4
Alcohol (g)	0
Cholesterol (mg)	7
Saturated fatty acids, total (g)	1.375
4:0 (g)	0.058
6:0 (g)	0.041
8:0 (g)	0.024
10:0 (g)	0.055
12:0 (g)	0.063
14:0 (g)	0.206
16:0 (g)	0.671
18:0 (g)	0.216
Monounsaturated fatty acids, total (g)	0.567
16:1 (g)	0.029

Figura 4.9: Corte da página com o resultado obtido para a pesquisa “arroz, branco, cozido, feito com manteiga” em porções de 100 gramas. (Fonte: USDA, 2022)

É válido destacar que, ao preparar alimentos de forma cozida, alguns nutrientes, especialmente vitaminas hidrossolúveis, podem ser perdidos durante o processo de cocção. Essa distinção entre as versões crua e cozida é considerada pela ferramenta mencionada, possibilitando uma análise mais precisa da composição nutricional.

No entanto, no contexto do Restaurante Universitário (RU), não há uma distinção sistemática entre resíduos de alimentos crus e cozidos. Portanto, para o estudo em questão, não foi possível realizar uma distinção entre o conteúdo de vitaminas do alimento cru e cozido, o que representa uma limitação inerente ao escopo da pesquisa.

Obtendo a composição nutricional do alimento é preciso identificar os aminoácidos e vitaminas presentes no alimento, visto que estes são os nutrientes com teores significativos de nitrogênio, e determinar o teor destes nutrientes, ou seja, a porcentagem de cada aminoácido e vitamina na composição do total do alimento analisado. Para este estudo, foi adotada uma porção de 100g para todos os alimentos analisados.

Após identificar o teor de cada aminoácido e vitamina no alimento é identificada a fórmula química de cada nutriente, que pode ser obtida a partir de dados da literatura. Com isso, é determinada a massa molar total de cada nutriente e a massa atômica apenas dos átomos de nitrogênio nele presentes.

A massa molar total pode ser calculada a partir da massa dos seus átomos componentes. Os aminoácidos e vitaminas são compostos quase exclusivamente de Hidrogênio, Carbono, Oxigênio e Nitrogênio com as únicas exceções sendo os aminoácidos Metionina e Cisteína e a Vitamina B1, que contém enxofre, e a Vitamina B12, que contém cobalto.

Com estes dados, é determinado o teor de nitrogênio em cada elemento através da Equação (10). TN_i é o teor (porcentagem) de nitrogênio no nutriente "i"; 14,006 é a massa atômica do nitrogênio; $n\,N_i$ é o número de átomos de nitrogênio presentes no nutriente "i"; e MM_i é a massa molar do nutriente "i".

$$TN_i = \frac{14{,}006 * n\,N_i}{MM_i} \tag{10}$$

Obtendo-se o teor de nitrogênio no nutriente, basta multiplicar este valor pela porcentagem do nutriente na porção do alimento e repetir este processo em todas as vitaminas e aminoácidos a partir da Equação (11). Somando o teor de nitrogênio presente em todos os nutrientes de um alimento "a" e multiplicando pelo peso total deste alimento "a" que foi

recepcionado pelo restaurante no período de tempo analisado, obtém-se a massa total de nitrogênio que entrou no restaurante através daquele tipo de alimento na Equação (12):

$$TN_{i,a} = \sum TN_i * \sum C_{i,a} \quad (11)$$

$$N\,total_a = \sum TN_{i,a} * P_a \quad (12)$$

Onde:

$TN_{i,a}$: teor de nitrogênio no alimento "a" originária do nutriente "i" (%)

TN_i: teor de nitrogênio no nutriente "i" (%)

$C_{i,a}$: porcentagem do nutriente "i" no alimento "a" (%)

$N\,total_a$: massa total de nitrogênio no alimento "a" (kg)

P_a: peso total dos alimentos "a" (kg)

Finalmente, repetindo este processo para os outros tipos de alimentos recepcionados pelo RU e conhecendo as quantidades destes alimentos recepcionados no espaço de tempo analisado, é possível determinar a massa de nitrogênio que entra no sistema por meio do fluxo F1 de fornecimento de alimentos somando estes valores na Equação (13):

$$N_{F1} = \sum_{1}^{a} N\,total_a \quad (13)$$

Onde:

N_{F1}: massa total de nitrogênio no fluxo F1 (kg);

$N\,total_a$: massa total de nitrogênio nos alimentos da categoria "a" (kg)

Após a determinação da massa total, os alimentos analisados são distribuídos dentro das categorias definidas no item 4.4.1 para o cálculo do teor médio de nitrogênio em cada categoria de alimento por meio das Equação (14):

$$TN_c = \frac{N_c}{m\,total_c} \quad (14)$$

Onde:

TN_C: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

N_c: massa total de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (kg);

$m\ total_c$: massa total dos alimentos da categoria "c" (kg).

Em alguns casos, será inviável quantificar os alimentos por categoria. Dessa forma, pode ser calculado um teor médio de nitrogênio para os alimentos do restaurante como um todo por meio da Equação (15):

$$TN = \frac{N\ total}{m\ total} \quad (15)$$

Onde:

TN: teor médio de nitrogênio de todos os alimentos recepcionados pelo RU (%);

$N\ total$: massa total de nitrogênio dos alimentos recepcionados pelo RU (kg);

$m\ total$: massa total dos alimentos recepcionados pelo RU (kg).

4.6. FLUXOS DE PREPARO DE REFEIÇÕES (F2 E F3)

Os fluxos de preparo de refeições correspondem aos três fluxos que ocorrem entre os processos de Recepção e Armazenamento, Confecção e Distribuição e Consumo.

Primeiro, calcula-se o fluxo de alimentos servidos (F3), que corresponde ao total de alimentos destinado à Distribuição e Consumo e, de forma retroativa, são calculados os fluxos anteriores. Durante a Distribuição e Consumo, podemos identificar a massa total de nitrogênio correspondente ao F4 somando o peso total das refeições consumidas, lembrando que a refeição padrão é adotada, com o peso médio das sobras durante os turnos de distribuição.

Importante ressaltar que as sobras não correspondem aos restos de comida deixados nos pratos e sim aos alimentos servidos mas não levados para o consumo. O peso médio das sobras pode ser determinado obtendo-se a média de gravimetrias realizadas em diversos turnos. Além disso, são determinadas as massas de cada categoria de alimentos definida no item 4.4.1 devido às diferenças nos teores de nitrogênio entre elas. As Equações (16) e (17) mostram como é feito este cálculo:

$$N\ servidos_c(kg) = P_{rp} * n\ ref * TN_{rp} + S_c * TN_c \quad (16)$$

$$N_{F3} = \sum N\ servidos_c \quad (17)$$

Onde:

$N\ servidos_c$: massa de nitrogênio nos alimentos servidos da categoria "c" (kg);

P_{rp}: peso da refeição padrão (kg);

$n\ ref$: número de refeições servidas;

TN_{rp}: teor de nitrogênio na refeição padrão(%);

S_c: massa das sobras de alimentos da categoria "c" (kg);

N_{F3}: massa de nitrogênio do fluxo F3 (kg).

O fluxo de alimentos tratados (F2) é o único fluxo que entra no processo de Confecção. Pelo princípio de conservação de massas em que se baseia a AFM, este fluxo então corresponde à soma dos dois fluxos de saída do processo, sendo esses os alimentos servidos (F3) e os descartes e perdas da confecção (F6). As quantidades de descartes e perdas são obtidas por meio da coleta de dados do restaurante. As Equações (18) e (19) demonstram como são quantificadas as massas de nitrogênio para este fluxo:

$$N\ tratados_c(kg) = N\ servidos_c + D_c * TN_c \quad (18)$$

$$N_{F2} = \sum N\ tratados_c \quad (19)$$

Onde:

$N\ tratados_c$: massa de nitrogênio nos alimentos tratados da categoria "c" (kg);

$N\ servidos_c$: massa de nitrogênio nos alimentos servidos da categoria "c" (kg);

D_c: massa alimentos da categoria "c" desperdiçados e perdidos no processo (kg);

TN_c: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

N_{F2}: massa de nitrogênio do fluxo F2 (kg).

4.7. FLUXO DE ALIMENTOS CONSUMIDOS (F4)

Este fluxo corresponde a todos os alimentos que saem do sistema através dos consumidores do restaurante universitário. Ele não gera resíduos de alimentos e, consequentemente, não gera impactos diretos do fluxo de nitrogênio no RU. No entanto, é um fluxo importante de ser determinado para auxiliar a identificar a eficiência e o aproveitamento do processo de produção de refeições do restaurante.

Enquanto o fluxo de alimentos consumidos (F4) pode ser facilmente calculado pela diferença entre os alimentos servidos (F3) no processo de Distribuição e Consumo e os desperdícios e perdas (F7) deste processo, é importante mostrar como ele pode ser calculado de forma independente a partir dos dados coletados por meio da Equação (24):

$$N\,consumido(kg) = P_{ref} * n\,ref * TN_{ref} - \sum_{1}^{c}[(S_c + D_c)TN_c] \quad (24)$$

Onde:

$N\,consumido(kg)$:

P_{rp}: peso da refeição padrão (kg);

$n\,ref$: número de refeições servidas;

TN_{rp}: teor médio de nitrogênio na refeição padrão(%);

S_c: massa das sobras de alimentos da categoria "c" (kg);

D_c: massa alimentos da categoria "c" desperdiçados e perdidos no processo (kg);

TN_c: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

4.8. FLUXOS DE DESCARTES E PERDAS (F5, F6 E F7)

Os fluxos de descartes e perdas correspondem às massas de nitrogênio nos resíduos orgânicos que são gerados pelos processos de preparo e consumo das refeições e coletados pelo processo de limpeza.

A partir da coleta de dados do restaurante como gravimetrias e registros, e combinadas com estudos sobre a geração de resíduos no restaurante universitário como o de Dutra (2018) é possível quantificar a geração total e por refeição de resíduos orgânicos, que corresponde aos descartes e perdas que compõem estes fluxos. Além disso, caso deseje-se apenas quantificar os desperdícios e perdas como um todo, sem diferenciar os processos, pode-se calcular todos estes fluxos como apenas um, visto que todos destinam-se ao mesmo processo.

Os dados fornecidos no estudo de Dutra (2018) indicam que o preparo das refeições do restaurante universitário do Campus Darcy Ribeiro - UnB gera cerca de 25% mais resíduos do que a distribuição e o consumo, fornecendo um comparativo para os dados a serem obtidos por este estudo.

Estes fluxos são calculados a partir da obtenção de dados de desperdícios e perdas do restaurante universitário. Para calcular cada fluxo são utilizadas as Equações (22) e (23):

$$ND_{c,p} = D_{c,p} * TN_c \quad (22)$$

$$N_p = \sum ND_{c,p} \quad (23)$$

Onde:

$ND_{c,Fi}$: massa de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" desperdiçada no processo "p" (kg);

D_c: massa alimentos da categoria "c" desperdiçados e perdidos no processo "p" (kg);

TN_c: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

N_p: massa de nitrogênio desperdiçada no processo "p" (kg).

Nestas equações, os processos "p" são os processos que geram fluxos de desperdícios e perdas: Recepção e Armazenamento, Preparo Prévio, Confecção, Distribuição e Consumo. com os fluxos F5 a F8 correspondendo, respectivamente, a cada um destes processos.

4.9. FLUXO DE EXPORTAÇÃO DA LIMPEZA (F8)

O fluxo gerado pelo processo de Limpeza é um fluxo de exportação e corresponde ao nitrogênio presente na matéria orgânica não consumida no restaurante que é coletada e limpada durante este processo. Como consequência direta dos fluxos de desperdícios e perdas dos outros processos, este fluxo indica não apenas as quantidades dos desperdícios ocorrentes no restaurante, mas também oferece uma visão mais específica das formas como os alimentos são desperdiçados.

O fluxo de resíduos sólidos orgânicos (F8) corresponde aos resíduos que são coletados e dados sua destinação final. Este fluxo pode ser determinado através da gravimetria dos resíduos gerados no restaurante universitário como um todo com as Equações (24) e (25). Neste caso, é importante utilizar a categorização de resíduos do item 4.4.1:

$$N\,resíduos_c = m\,res_c * TN_c \tag{24}$$

$$N_{F8} = \sum^{c} N\,resíduos_c \tag{25}$$

Onde:

$N\,resíduos_c$: massa de nitrogênio nos resíduos de alimentos da categoria "c" (kg);

$m\,res_c$: massa total de resíduos de alimentos da categoria "c" (kg);

TN_c: teor médio de nitrogênio nos alimentos da categoria "c" (%);

N_{F8}: massa de nitrogênio do fluxo F11 (kg).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise e construção do diagrama de fluxo de nitrogênio do restaurante universitário foi realizada em duas etapas principais. A primeira etapa consistiu na quantificação da produção e consumo de alimentos e da geração de resíduos sólidos orgânicos no restaurante, assim como suas composições, características e locais de geração e descarte. Isso foi realizado através da coleta direta de dados por meio de gravimetrias e observações realizadas pelo próprio autor, e também por meios analíticos, através de dados fornecidos pelo próprio restaurante e por informações e análises realizadas em outros estudos.

A segunda etapa compreende a utilização das informações referentes à geração de RSO para a análise desta geração em termos do fluxo de nitrogênio. Assim, utilizando os dados da primeira etapa foram feitas as devidas análises para identificar as massas de nitrogênio que fluem pelo restaurante, possibilitando a quantificação dos fluxos e construção do diagrama.

5.1. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RSO NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

O restaurante universitário do campus Darcy Ribeiro da UnB é o principal restaurante do campus e atende tanto a comunidade acadêmica quanto a externa à universidade. O RU atualmente funciona ininterruptamente, servindo todas as três principais refeições do dia (desjejum, almoço e jantar), sete dias por semana, todos os dias do ano.

O RU produz um número cada vez maior de refeições anualmente, devido ao crescimento da comunidade acadêmica da UnB. A Tabela 5.1 apresenta o número de refeições servidas anualmente pelo RU em conjunto com a população acadêmica nos anos de 1999 a 2021:

Tabela 5.1: Históricos da população acadêmica da UnB e do número de refeições servidas no RU. (Fonte: Anuários da UnB)

ANO	1999	2003	2006	2013	2016	2020	2021
População Acadêmica	28.594	34.130	31.612	48.098	50.703	55.228	57.647
Número de Refeições	479.584	624.332	866.701	1.043.611	2.135.714	192.252	91.936

Como pode ser observado na tabela, o impacto da pandemia da COVID-19 na quantidade de refeições servidas é notável para os anos de 2020 e 2021, em que a universidade, durante a maioria do seu período letivo, funcionou de forma remota com apenas o mínimo de atividades presenciais no campus. No entanto, o número de refeições já apresenta ter retornado à normalidade para o ano de 2023, como pode ser visto no relatório de utilização fornecido pela própria ouvidoria do RU, contatada por e-mail, e apresentados na Figura 5.1:

Universidade de Brasília

Relatório de Utilização

	Refeitório Consumo Manual Planaltina		Refeitório Consumo Manual RU Darcy				Total Geral
	Jantar	Total Refeitório	Almoço	Café da Manhã	Jantar	Total Refeitório	
21/10/2023	6	66	1137	335	232	1704	1879
22/10/2023	4	20	321	150	173	644	664
23/10/2023	51	247	4524	1509	2043	8076	9989
24/10/2023	49	202	5670	1630	2304	9604	11778
25/10/2023	69	265	4599	1664	1908	8171	10272
26/10/2023	62	247	3002	1100	1181	5283	7379
27/10/2023	36	176	3673	1386	953	6012	7854
28/10/2023	12	41	849	293	232	1374	1460
29/10/2023	18	57	323	111	164	598	655
30/10/2023	90	316	5146	1558	1917	8621	10801
31/10/2023	118	373	4735	1747	1862	8344	10514
Total ConDataHora	12232	46140	793296	260396	311403	1365095	1675457

Figura 5.1: Fragmento do relatório de utilização fornecido pelo RU. (Data: 11/10/2023)

Como observado na tabela, do dia 01/01/2023 a 31/10/2023 foram servidas 1.365.095 refeições no RU do Campus Darcy Ribeiro - UnB, entrando em concordância valores

anteriores à pandemia. Além disso, foram observados estudos anteriores realizados no mesmo restaurante que quantificam a produção diária de RSO no RU, evidenciadas na Tabela 5.2:

Tabela 5.2: Resultados de levantamentos da geração de RSO no RU, campus Darcy Ribeiro. (Fonte: Adaptado de Dutra, 2018)

ANO	2015	2016	2018	Média dos 3 levantamentos
Nº médio de refeições por dia	7.629,03	8.034,46	8.683,43	8.115,64
Média de RSO por dia (kg)	2.212,96	2.088,96	1.823,50	2.041,63
Média de RSO por refeição (kg)	0,29	0,26	0,21	0,25
Fonte	**Levantamento da professora Izabel Zaneti, novembro 2015.**	**Levantamento realizado na disciplina de Resíduos Sólidos Urbanos, setembro 2016.**	**Levantamento da monografia de Victor Dutra, abril 2018.**	

Observando o comportamento de geração de resíduos destes estudos, foi constatado que a geração de RSO no restaurante ocorre quase exclusivamente durante as etapas de almoço e jantar. A geração de resíduos se inicia por volta de 8 horas da manhã com a preparação do almoço e tem fim somente após as 20 horas, quando as sobras e restos finais geradas nos refeitórios são descartadas (Dutra, 2018).

Para fins deste estudo, serão consideradas “sobras” os resíduos de alimentos que foram levados para produção ou produzidos, mas que não foram levados para o consumo por parte dos frequentadores, ou seja, alimentos que passaram pelo processo de produção na cozinha mas não foram colocados em uma refeição. Já os “restos” são considerados os resíduos de alimentos que foram levados para consumo, mas foram descartados, ou seja, alimentos que foram colocados em uma refeição mas que o consumidor não ingeriu e descartou posteriormente.

Para a construção do fluxo de nitrogênio, foi necessário analisar não apenas a quantidade de resíduos gerada no restaurante, mas também sua composição. Durante os meses de outubro e novembro de 2023 foram realizadas diversas visitas ao restaurante para realizar a gravimetria e caracterização dos resíduos gerados nas diferentes etapas do funcionamento do RU. A seguir são detalhados os resultados destas análises em cada etapa.

5.1.1. Geração de resíduos na Recepção e Armazenamento

O RU recebe diferentes tipos de alimentos em frequências diferentes, a depender de fatores como a perecibilidade do alimento e o cardápio planejado. Alguns alimentos mais perecíveis como as verduras são adquiridos diariamente e são armazenados muito brevemente até serem levados para a cozinha, sendo tratados, lavados e cortados antes mesmo de entrarem no depósito na "Área de pré-preparo". Outros alimentos não perecíveis como os grãos de arroz e feijão e caixas de leite podem permanecer armazenados por até cerca de 15 dias, período em que é esperada ocorrer a rotação completa do estoque.

Dessa forma, a geração de resíduos ocorre principalmente na forma destes alimentos perecíveis que precisam ser tratados, cortados e lavados previamente ao armazenamento, gerando partes indesejáveis que são descartadas. Na entrada do almoxarifado há uma estação para este processo de tratamento prévio onde os resíduos são descartados em um tonel. A Figura 5.2 demonstra o local de descarte destes resíduos no processo de Recepção e Armazenamento:



Figura 5.2: Local de disposição dos resíduos na área de pré-preparo na entrada do almoxarifado. (Data: 22/11/2023)

O peso e a composição destes resíduos foram analisados em três visitas diferentes ao restaurante. Durante as pesagens, os funcionários foram instruídos a separarem os resíduos antes do descarte de acordo com as categorias definidas. No caso dos resíduos do pré-preparo, os legumes, verduras e frutas foram descartados em lixeiras diferentes. A Figura 5.3 mostra uma dessas pesagens, realizada em balança fornecida pelo RU**.** Os resultados das pesagens e os valores obtidos para a composição dos resíduos são evidenciados na Tabela 5.3:



Figura 5.3: Pesagem dos resíduos do pré-preparo realizada no dia 22/11/2023.

Tabela 5.3: Resultados de pesagem e composição dos resíduos gerados na entrada do almoxarifado.

Data	**Quarta - 11/10/2023**		**Quarta - 22/11/2023**		**Quinta - 23/11/2023**	
Período	**Almoço**	**Janta**	**Almoço**	**Janta**	**Almoço**	**Janta**
Verduras (kg)	39,64	22,34	28,90	27,46	31,62	20,89
Legumes (kg)	67,88	46,13	59,81	55,78	82,71	58,22
Frutas (kg)	9,46	19,60	12,67	8,23	13,56	15,13
Total	116,98	88,07	101,38	91,47	127,89	94,24

A quantidade de consumidores do RU é diferente para cada dia da semana e, portanto, enquanto a composição de resíduos pode ser semelhante, a quantidade total de resíduos gerados sofre variações, especialmente entre os dias úteis e os fins de semana.

Dutra (2018) realizou uma pesagem completa dos resíduos gerados pelo preparo de alimentos do restaurante para cada dia durante uma semana no mês de abril de 2018, no entanto, o estudo não diferencia os RSO originários do pré-preparo do almoxarifado e da cozinha.

Observando os valores diários de geração obtidos por Dutra (2018) é possível obter uma proporção de geração de resíduos por dia da semana, permitindo estimar a porcentagem

de contribuição cada dia da semana nessa geração. Os valores do estudo mencionado e a proporção semanal de resíduos são apresentados na Tabela 5.4:

Tabela 5.4: Geração de resíduos orgânicos do preparo de alimentos do restaurante por dia da semana e porcentagem de contribuição de cada dia. (Fonte: Adaptado de Dutra, 2018)

Período	**Almoço**		**Janta**	
Dia da semana	**Quantidade de resíduos (kg)**	**Proporção**	**Quantidade de resíduos (kg)**	**Proporção**
Segunda (12/04/2018)	763,3	17,04%	472,7	18,23%
Terça (13/04/2018)	751,7	16,78%	420,1	16,20%
Quarta (14/04/2018)	837,3	18,69%	532,3	20,53%
Quinta (15/04/2018)	895,1	19,98%	439,6	16,95%
Sexta (16/04/2018)	762,1	17,01%	451,6	17,42%
Sábado (17/04/2023)	313,4	7,00%	182,8	7,05%
Domingo (18/04/2023)	157,2	3,51%	93,9	3,62%
Total	**4.480,1**		**2.593,0**	

Os três levantamentos realizados neste estudo, apresentados na Tabela 6.3, ocorreram em duas quartas-feiras e uma quinta feira. Adotando o valor médio destes três levantamentos como valores base para seus respectivos dias da semana e utilizando as proporções de geração semanais obtidas do levantamento de Dutra (2018), é estimada a quantidade total e por categoria de alimento de cada dia de semana e para todo o mês de outubro de 2023, como apresentado nas Tabelas 5.5 e 5.6 que relatam essa geração durante os almoços e as jantas, respectivamente. A Tabela 5.7 apresenta a geração total estimada para o mês de outubro de 2023 com base nos valores das tabelas anteriores.

Tabela 5.5: Geração de resíduos no almoxarifado do RU durante os almoços por dia da semana - Campus Darcy Ribeiro, UnB.

Almoxarifado - Almoço							
Dia da semana	**Segunda-Feira**	**Terça-Feira**	**Quarta-Feira**	**Quinta-Feira**	**Sexta-Feira**	**Sábado**	**Domingo**
Verduras (kg)	29,10	28,66	31,92	34,13	29,06	11,95	5,99
Legumes (kg)	64,37	63,39	70,61	75,48	64,27	26,43	13,26
Frutas (kg)	10,83	10,66	11,87	12,69	10,81	4,44	2,23
Total (kg)	**104,29**	**102,71**	**114,41**	**122,30**	**104,13**	**42,82**	**21,48**

Tabela 5.6: Geração de resíduos no almoxarifado do RU durante as jantas por dia da semana - Campus Darcy Ribeiro, UnB.

Almoxarifado - Janta							
Dia da semana	**Segunda -Feira**	**Terça-Feira**	**Quarta-Feira**	**Quinta-Feira**	**Sexta-Feira**	**Sábado**	**Domingo**
Verduras (kg)	28,06	24,93	31,59	20,73	26,80	10,85	5,57
Legumes (kg)	67,09	59,63	75,55	50,15	64,10	25,95	13,33
Frutas (kg)	13,47	11,97	15,17	13,31	12,87	5,21	2,68
Total (kg)	**108,62**	**96,53**	**122,31**	**84,19**	**103,77**	**42,00**	**21,58**

Tabela 5.7: Geração total de resíduos do almoxarifado do RU estimada para outubro de 2023.

Categoria	Almoço	Janta
Verduras (kg)	747,02	652,72
Legumes (kg)	1.652,19	1.563,24
Frutas (kg)	277,86	326,79
Total do período (kg)	**2.677,07**	**2.542,75**
Total do mês (kg)	**5.219,82**	

Estes resultados apontam que estes resíduos são compostos exclusivamente de alimentos vegetais na categoria de verduras, legumes e, menos frequentemente, frutas visto que são os principais alimentos propensos ao tratamento prévio mencionado. No entanto, deve-se observar que existe uma diferença considerável na quantidade de resíduos gerados a depender do dia da semana.

Acompanhando o funcionamento da cozinha, foi constatado que as carnes e outras proteínas também recebem um tratamento prévio antes de serem recepcionadas pelo restaurante. Este tratamento, no entanto, ocorre em uma instalação exterior às dependências do RU onde estas carnes são cortadas, desfiadas, moídas e/ou removidas de pele de acordo com a necessidade do restaurante, com as proteínas sendo recebidas já prontas para o preparo. Dessa forma, não há geração de resíduos orgânicos de carnes na Recepção e Armazenamento. Outras categorias de alimentos como leites e derivados e pães e massas não foram observadas recebendo este tratamento antes do seu armazenamento.

5.1.2. Geração de resíduos na Confecção das refeições

Após a armazenagem, alimentos são diariamente levados do almoxarifado à cozinha para a confecção do cardápio do dia. Como apontado no trabalho de Heppner (2010), e analisado no RU do campus Darcy Ribeiro por Dutra (2018), a maior parte dos resíduos orgânicos são gerados durante o preparo das refeições. Em muitos casos, estes resíduos não são necessariamente desperdício, por serem gerados a partir da remoção de partes indesejáveis de alimentos ou do descarte de possíveis contaminações, mas ainda são componentes orgânicos com um considerável potencial de impacto ao meio ambiente e à saúde.

Como mencionado, o funcionamento da cozinha é ininterrupto, inclusive durante as madrugadas. Enquanto o preparo do desjejum não apresentou nenhuma geração significativa de resíduos, as sobras dos balcões são descartadas com os resíduos da cozinha gerados durante o preparo dos almoços e, assim, todas as três refeições servidas pelo RU contribuem para a geração de resíduos coletados nessa etapa.

Este preparo ocorre durante a maior parte do dia, mas o período de geração de resíduos se inicia às 8h da manhã e finaliza até 19h, quando já não há mais jantar a ser preparado para o dia, visto que os refeitórios fecham às 19h30.

Durante esse período, a geração de resíduos é constante e os equipamentos e utensílios são lavados à medida que são utilizados. Além disso, as sobras de alimentos que são preparados e levados para o balcão, mas que não foram levados para consumo, ou seja, não saíram do balcão, são coletados e descartados juntos aos outros resíduos da cozinha. Dessa forma, a produção excedente de alimentos também é contabilizada como resíduos do processo de confecção. A Figura 5.4 mostra o local de disposição dos resíduos na cozinha:



Figura 5.4: Local de disposição dos resíduos da cozinha (Data: 22/11/2023)

A geração de resíduos do preparo foi pesada em três datas diferentes para avaliar a quantidade e a composição dos RSO. Os resíduos da cozinha são descartados nos mesmos tipos de compartimentos e pesados na mesma balança em que foram pesados os resíduos da Recepção e Armazenamento.

Assim como durante a pesagem dos resíduos do almoxarifado, os funcionários foram instruídos a descartarem as diferentes categorias de resíduos em lixeiras diferentes. As informações e resultados destas três análises são apresentadas na Tabela 5.8:

Tabela 5.8: Resultados das gravimetrias dos resíduos coletados da cozinha.

Data	**Quarta - 11/10/2023**		**Quarta - 22/11/2023**		**Quinta - 23/11/2023**	
Período	**Almoço**	**Janta**	**Almoço**	**Janta**	**Almoço**	**Janta**
Verduras (kg)	96,78	65,65	93,45	51,28	102,64	52,38
Legumes (kg)	319,36	184,70	338,84	190,15	321,48	137,68
Carnes e ovos (kg)	123,78	80,94	112,31	72,70	135,67	92,10
Pães e massas (kg)	16,68	0,00	19,91	0,00	14,76	0,00
Leites e derivados (kg)	7,45	0,00	4,04	5,67	5,08	0,00
Frutas (kg)	64,78	53,62	59,59	47,85	58,95	32,78
Total (kg)	628,83	384,91	628,14	367,65	638,58	314,94

É notável que durante os almoços a geração de resíduos é maior devido aos maiores índices de atendimento ao restaurante. Além disso, resíduos de pães e massas e de leites e derivados são quase inexistentes durante as jantas, isso ocorre devido à presença destes tipos de alimentos estar quase sempre limitada ao desjejum, em que as sobras são descartadas junto aos resíduos da cozinha e coletadas durante o horário de almoço.

A partir dos valores da Tabela 5.8, dos resultados obtidos por Dutra (2018) e utilizando das mesmas proporções definidas na Tabela 5.4 é possível estimar a geração de RSO para o mês de outubro de 2023 com base na quantidade gerada para cada dia do mês e, assim, estimar também a quantidade de cada categoria na geração mensal de resíduos. As Tabelas 5.9 e 5.10 apresentam os resultados obtidos:

Tabela 5.9: Geração de resíduos na cozinha do RU durante os almoços por dia da semana.

Cozinha - Almoço							
Dia da semana	**Segunda-Feira**	**Terça-Feira**	**Quarta-Feira**	**Quinta-Feira**	**Sexta-Feira**	**Sábado**	**Domingo**
Verduras (kg)	87,12	85,79	95,56	102,16	86,98	35,77	17,94
Legumes (kg)	287,08	282,72	314,91	336,65	286,63	117,87	59,12
Carnes e ovos (kg)	111,65	109,96	122,48	130,93	111,48	45,84	22,99
Pães e massas (kg)	14,63	14,41	16,05	17,16	14,61	6,01	3,01
Leites e derivados (kg)	4,78	4,71	5,25	5,61	4,78	1,96	0,99
Frutas (kg)	53,48	52,67	58,66	62,71	53,40	21,96	11,01
Total (kg)	**558,75**	**550,25**	**612,91**	**655,23**	**557,87**	**229,41**	**115,07**

Tabela 5.10: Geração de resíduos na cozinha do RU durante as jantas por dia da semana.

Cozinha - Janta							
Dia da semana	**Segunda-Feira**	**Terça-Feira**	**Quarta-Feira**	**Quinta-Feira**	**Sexta-Feira**	**Sábado**	**Domingo**
Verduras (kg)	81,14	72,11	91,37	50,33	77,52	31,38	16,12
Legumes (kg)	256,06	227,57	288,35	146,23	244,63	99,02	50,87
Carnes e ovos (kg)	107,05	95,14	120,55	77,77	102,27	41,40	21,27
Pães e massas (kg)	7,94	7,05	8,94	0,00	7,58	3,07	1,58
Leites e derivados (kg)	3,99	3,55	4,49	1,17	3,81	1,54	0,79
Frutas (kg)	54,22	48,19	61,06	37,34	51,80	20,97	10,77
Total (kg)	510,41	453,61	574,76	312,85	487,62	197,38	101,39

Assim como para o almoxarifado, a geração total estimada dos resíduos da cozinha e do balcão para o mês de outubro de 2023 é apresentada na Tabela 5.11:

Tabela 5.11: Geração total de resíduos do almoxarifado do RU estimada para outubro de 2023.

Categoria de resíduo	Almoço	Janta
Verduras (kg)	2.236,16	1.849,31
Legumes (kg)	7.368,82	5.785,44
Carnes e ovos (kg)	2.865,93	2.485,26
Pães e massas (kg)	375,59	161,17
Leites e derivados (kg)	122,81	85,72
Frutas (kg)	1.372,73	1.250,57
Total do período (kg)	**14.342,04**	**11.617,47**
Total do mês (kg)	**25.959,51**	

Como os resíduos da cozinha são descartados junto às sobras de comida nos balcões, a contribuição de cada categoria de alimentos na composição final desses resíduos é maior. Enquanto ainda há uma presença maior de vegetais e menores presenças de leites e derivados e de frutas, estes alimentos são produzidos e consumidos em menor quantidade no restaurante, enquanto vegetais, verduras e carnes estão presentes em praticamente 100% das refeições.

A geração de resíduos, tanto da cozinha como das sobras dos balcões, se intensifica ao final dos horários de desjejum, almoço e janta devido à coleta das sobras dos balcões e da limpeza dos utensílios maiores, como as caldeiras, no final de seu uso.

Além disso, a cozinha também possui uma geração considerável de resíduos de óleos e gorduras durante sua produção. Estes resíduos, no entanto, não foram contabilizados por não contribuírem de forma significativa com os fluxos de nitrogênio do sistema, visto que óleos e gorduras são compostos quase exclusivamente de ácidos graxos e lipídeos que não possuem nitrogênio em sua composição.

5.1.3. Geração de resíduos na distribuição e consumo no refeitório

Como descrito, após a confecção final os alimentos são disponibilizados para consumo onde são servidos em balcão e, após consumo, os restos de comida nos pratos são coletados nas copas de cada restaurante.

De acordo com relatório fornecido pelo RU, foram realizadas 1.365.095 refeições durante o período do dia 1o de janeiro até o dia 31 de outubro de 2023. No mês analisado de outubro foram realizadas um total de 174.834 refeições, com uma média de 5.640 refeições por dia.

Analisando o padrão de geração de Dutra (2018) de 0,21 kg de RSO por refeição, a média diária de RSO gerada nos refeitórios foi estimada em 1.184,4 kg, totalizando 36.715,1 kg de resíduos apenas no mês de outubro de 2023.

Além disso, foram realizadas gravimetrias dos resíduos de almoço e janta em 3 datas distintas para estimar a sua composição de acordo com as categorias definidas. Essas medidas consistiram na pesagem total de sacos de resíduos coletados na copa dos refeitórios e na pesagem separada dos RSO em cada categoria. A Figura 5.5 mostra a realização de uma dessas pesagens, ocorrida no dia 20/10/2023.



Figura 5.5: Processo de separação e pesagem dos resíduos do almoço. (Data: 20/10/2023)

Ao longo de 5 pesagens, em 3 dias diferentes, a fim de obter a composição estimada destes resíduos em termos das categorias de alimentos definidas no Item 4.4. A Tabela 5.12 apresenta os valores obtidos nas pesagens e a estimativa final da composição dos RSO gerados nos refeitórios.

Tabela 5.12: Resultados das gravimetrias dos resíduos do refeitório.

Pesagem 1 - Almoço					Pesagem 2 - Almoço				
Categoria	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**	**Categoria**	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**
Verduras	NA	0	0	0,00%	Verduras	NA	0	0	0,00%
Legumes	Batata	1,305	9	49,22%	Legumes	Batata	1,905	11,39	52,09%
	Cenoura	0,455				Cenoura	0,61		
	Arroz	7,24				Arroz	8,875		
Carnes e ovos	Frango	0,985	0,985	5,39%	Carnes e ovos	Frango	1,355	1,355	6,20%
Frutas	Melancia	5,875	5,875	32,13%	Frutas	Melancia	6,145	6,145	28,10%
Resíduos não orgânicos		2,095	2,095	11,46%	Resíduos não orgânicos		2,58	2,58	11,80%
		Total	18,285	100,00%			Total	21,865	100,00%
		Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)	0,33	1,80%			Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)	0,395	1,81%

Pesagem 3 - Almoço					Pesagem 4 - Janta				
Categoria	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**	**Categoria**	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**
Verduras	Salada	0,64	0,64	3,72%	Verduras	Alface	0,795	0,795	4,02%
Legumes	Mandioca	2,48	9,885	57,45%	Legumes	Arroz, feijão, beterraba	9,105	9,105	46,02%
	Arroz, feijão	7,405							
Carnes e ovos	Carne	1,315	1,315	7,64%	Carnes e ovos	Frango	1,715	1,715	8,67%
Frutas	Mamão	3,265	3,265	18,98%	Frutas	Laranja	4,005	4,005	20,24%
Resíduos não orgânicos		1,89	1,89	10,99%	Resíduos não orgânicos		3,685	3,685	18,63%
		Total	17,205	100,00%			Total	19,785	100,00%
		Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)	0,21	1,22%			Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)	0,48	2,43%

Pesagem 5 - Almoço					Pesagem 6 - Janta				
Categoria	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**	**Categoria**	**Ingrediente**	**Peso do ingrediente (kg)**	**Peso da categoria (kg)**	**% da categoria**
Verduras	Alface e Rúcula	0,35	0,35	1,88%	Verduras	Salada	0,56	0,56	3,62%
Legumes	Abobrinha	2,58	11,595	62,22%	Legumes	Arroz, feijão	8,725	9,555	61,70%
	Batata	1,275				Tomate	0,83		
	Arroz, feijão	7,74			Carnes e ovos	Frango cremoso	1,945	2,395	15,47%
Carnes e ovos	Carne suína	1,865	1,865	10,01%		Ovo	0,45		
Frutas	Mamão	2,595	2,595	13,93%					
Resíduos não orgânicos		1,68	1,68	9,02%	Resíduos não orgânicos		2,555	2,555	16,50%
Total			18,635	100,00%	Total			15,485	100,00%
Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)			0,55	2,95%	Diferença (perdas durante a pesagem/incerteza)			0,42	2,71%

A partir dos valores da Tabela 5.12 é possível estimar a contribuição média de cada categoria de alimentos nestes resíduos e calcular as quantidades geradas para o mês de outubro a partir do valor total de 36.715,10 kg de resíduos gerados a partir dos restos das refeições. Os resultados obtidos são visualizados na Tabela 5.13:

Tabela 5.13: Composição média de cada categoria de alimento nos resíduos de restos de alimentos dos refeitórios e geração estimada para outubro de 2023.

Categoria de alimento	Porcentagem média	Geração de RSO no mês de outubro (kg)
Verduras	2,21%	809,73
Legumes	54,79%	20.114,58
Carnes e ovos	8,89%	3.265,81
Frutas	18,90%	6.937,90
Resíduos não orgânicos	13,06%	4.796,38
Diferença	2,15%	790,70
Total	100,00%	36.715,10
Total (apenas orgânicos)	84,78%	31.128,02

A partir das gravimetrias observa-se que os resíduos de Almoços e Jantas não contém pães e massas e leites ou derivados. Além disso, observa-se que os legumes e frutas são os principais componentes dos resíduos orgânicos gerados no refeitório. Observando os valores da Tabela 5.12 é possível supor que a grande parcela de legumes se dá pela presença de grãos como o arroz e o feijão nas refeições, que são alimentos fundamentais na culinária brasileira e, naturalmente, são os mais comumente encontrados nos pratos. Além disso, os consumidores do RU podem se servir livremente de legumes e verduras no balcão, mas o fornecimento de frutas e carnes é controlado por funcionários do restaurante. Esse controle contribui para a disparidade entre as quantidades de alimentos nos pratos.

A alta parcela de frutas na composição também pode ser explicada pelo fato de frutas serem constantemente deixadas como sobremesa e não costumam necessitar de uma confecção prévia severa como outros alimentos, muitas vezes se limitando apenas à lavagem e corte e, como consequência, muitas das frutas fornecidas pelo RU possuem partes indesejáveis como cascas, caules, folhas, entre outras, a serem descartadas durante o consumo como é o caso de laranjas, melancias e maçãs, por exemplo. Este descarte de partes indesejáveis pode contribuir significativamente para a composição final dos RSO dos refeitórios.

Além disso, é notável a presença de resíduos não orgânicos na composição final dos RSO de refeitório. O RU disponibiliza lixeiras exclusivas para resíduos não orgânicos e encoraja a separação destes resíduos. No entanto, todas as pesagens possuíam mais de 10% de contaminação entre resíduos sólidos orgânicos e não orgânicos.

5.2. QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE NITROGÊNIO

Com os padrões de geração de resíduos do Restaurante Universitário do campus Darcy Ribeiro - UnB definidos no item 5.1 é feita a análise da composição destes resíduos para a realização da análise de fluxo de nitrogênio do sistema.

Os fluxos de nitrogênio são calculados a partir do conhecimento da quantidade de alimentos recebidos e das massas de RSO geradas em cada etapa do funcionamento do restaurante.

Inicialmente será determinado o fluxo de entrada a partir dos alimentos adquiridos pelo restaurante. Após a identificação deste fluxo serão calculadas as massas de entrada e saída de nitrogênio em cada um dos processos de preparo dos alimentos (Recepção e

Armazenamento, Confecção e Distribuição e Consumo) a partir deste fluxo de entrada e dos descartes e perdas que ocorrem em cada processo na forma de resíduos orgânicos.

5.2.1. Definição das Concentrações de Nitrogênio nas Categorias de Alimentos e na Refeição Padrão

O Restaurante Universitário recebe uma diversidade grande de alimentos para o preparo diário de suas refeições. Analisando o cardápio semanal e os registros de produção do restaurante foram identificados diferentes tipos de refeições recorrentes no cardápio do RU. Estas refeições incluem saladas, molhos, pratos principais de carnes, ovolactovegetarianos e vegetarianos estritos, guarnições, acompanhamentos e sobremesas diferentes, com muitas vezes um ingrediente sendo utilizado para mais de um prato.

Desta forma, para obtenção de um valor constante para as gravimetrias, a distribuição de alimentos em categorias diferentes foi necessária para obter uma densidade média de nitrogênio em uma porção do alimento final. A Figura 5.6 demonstra o fragmento de um registro de produção que foi fornecido pela administração do restaurante, correspondente à produção do dia 01/10/2023. Nestes registros é possível visualizar as quantidades de ingredientes utilizados e a produção esperada para o dia correspondente.

ISM	#REF!				
	UNB				
DATA:	1-out.			DIA	domingo
CARDAPIO	3				
ORDEM DE PRODUÇÃO DESJEJUM					
ALUNOS E VISITANTES	200				
FUNCIONARIOS ISM	30				
TOTAL	230				
COMPLEMENTO PADRAO					
Preparação	Peso Cru		INGREDIENTES	EXPEDICAO	
				QTDE	TIPO
OVOS MEXIDOS	10	Q	VER FT	2	CUBAS COM 04KG
COMPLEMENTO VEGETARIANO					
Preparação	Peso Cru		INGREDIENTES	EXPEDICAO	
				QTDE	TIPO
PASTA DE ERVILHA	2	kg	VER FT	1	CUBAS COM 03KG
BEBIDA LÁCTEA	4	kg	VER FT	120	UNIDADES
Preparação	Peso Cru		INGREDIENTES	EXPEDICAO	
				QTDE	TIPO
CAFÉ	25	LITROS	VER FT	2	GARRAFAS DE 12 LITROS
LEITE PASTEURIZADO	15	LITROS	VER FT	1	GARRAFAS DE 12 LITROS
CHA	3	LITROS	VER FT	1	GARRAFAS DE 03 LITROS

Figura 5.6: Fragmento de registro de produção do RU para o dia 01/10/2023.

Categorizando os alimentos dentro do definido na Tabela 4.1, foi possível calcular a concentração de nitrogênio em cada um dos alimentos a partir do descrito no Item 5.1 da metodologia. Esse cálculo foi realizado a partir dos dados fornecidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Analisando os ingredientes observados nos registros de compras do restaurante e separando-os nas 6 categorias definidas, foram obtidas as concentrações médias de nitrogênio apresentadas na Tabela 5.14:

Tabela 5.14: Concentrações médias de nitrogênio das 6 categorias de alimentos.

nº	Categoria	Descrição	Exemplos	Concentração média de N (%)
1	Verduras	Folhas e flores que compõem, principalmente, as saladas	Folhas verdes (alfaces, couves, rúcula), flores (brócolis, couve-flor)	0,0720%
2	Legumes	Vegetais que geralmente compõem as saladas, guarnições e acompanhamentos, assim como alguns pratos principais vegetarianos	Frutos (tomates, abobrinhas, pepinos), raízes e tubérculos (cenouras, batatas, cebolas, beterrabas), sementes e grãos (milho, feijão, arroz, soja).	0,7503%
3	Carnes e ovos	Compõem os pratos principais não veganos	carnes vermelhas e brancas, peixes e ovos	2,7330%
4	Pães e massas	Pães e outras massas presentes principalmente no café-da-manhã.	Pães e massas à base de trigo	1,3885%
5	Leites e derivados	Utilizados principalmente no café-da-manhã e como ingrediente em alguns pratos	leite, manteigas, queijos, iogurtes	1,5284%
6	Frutas	Utilizadas principalmente como sobremesas	Maçã, banana, laranja, mexerica, entre outras.	0,0762%

Na tabela, é possível observar que alimentos de origem animal possuem maiores porcentagens de nitrogênio em sua composição. Isso se dá especialmente devido à grande quantidade de proteínas e vitaminas presentes nestes alimentos.

Com as categorias de alimentos bem definidas, foi observado o comportamento da comunidade acadêmica que frequenta o RU para que fosse definida a composição e o peso da

refeição padrão com base nestas 6 categorias. A partir de visitas frequentes ao restaurante, onde foi consultada a opinião da equipe de nutricionistas que trabalha no restaurante, e realizando estimativas baseadas nas quantidades de alimentos presenciadas nos pratos dos que frequentavam o restaurante e na quantidade de alimentos que era removida dos balcões, onde estes alimentos eram servidos, em comparação com os registro de produção, foi estimado o peso total da refeição padrão, de 0,615 kg, e sua composição de acordo com as categoria de alimentos. Além disso, foi possível também estimar o teor de nitrogênio com base nestes dados. Os resultados de composição, peso e teor de nitrogênio da refeição padrão são apresentados na Tabela 5.15:

Tabela 5.15: Composição, peso e teor de nitrogênio da refeição padrão com base na categorização de alimentos definida.

Categoria de Alimento	Concentração média de N	Massa estimada na RP (kg)	Massa de N na RP (kg)	Porcentagem na RP
Verduras	0,0720%	0,035	0,00003	0,0039%
Legumes	0,7503%	0,330	0,00248	0,3839%
Carnes e ovos	2,7330%	0,170	0,00465	0,7203%
Pães e massas	1,3885%	0,010	0,00014	0,0215%
Leites e derivados	1,5284%	0,010	0,00015	0,0237%
Frutas	0,0762%	0,090	0,00007	0,0106%
	Total	0,645	0,00751	1,1640%

A refeição padrão possui 1,14% do seu peso em nitrogênio, com a maioria deste nitrogênio presente nas carnes e legumes. Essa padronização das refeições em componentes separados é importante para a determinação dos fluxos de nitrogênio no processo de Distribuição e Consumo.

Apesar de apenas uma pequena porcentagem dos alimentos do restaurante possuir nitrogênio em quantidades consideradas altas, ele pode atingir valores significativos devido ao ritmo de funcionamento ininterrupto do RU e as grandes quantidades de RSO geradas durante este funcionamento que, caso não geridas adequadamente, podem resultar em impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

5.2.2. Fluxo de Importação de Alimentos (F1)

Os mesmos registros de compras fornecidos para a categorização dos alimentos foram utilizados para a quantificação dos alimentos produzidos dentro do período de tempo

analisado para a construção do diagrama de fluxo, ou seja, toda a recepção de alimentos do dia 01/10/2023 até o dia 31/10/2023, compreendendo todo o mês de outubro de 2023.

Conhecendo as concentrações de nitrogênio nos alimentos por meio do definido no item foi possível determinar o fluxo F1, correspondendo ao fluxo de importação de nitrogênio para dentro do sistema. Por meio do definido no Item 5.2, é possível calcular a massa total de nitrogênio deste fluxo através dos registros de produção diários fornecidos pelo restaurante apresentados na Figura 5.6. A Tabela 5.16 apresenta a quantidade média produzida, semanalmente, de cada categoria de alimento, com base nos registros de produção analisados.

Tabela 5.16: Produção média semanal de cada categoria de alimento para o mês de outubro.

Dia da semana	Consumi-dores	Verduras (kg)	Legumes (kg)	Carnes e ovos (kg)	Pães e massas (kg)	Leites e derivados (kg)	Frutas (kg)
Domingo	982,50	57,13	123,68	164,00	34,00	15,00	127,50
Segunda	10.066,67	576,67	1.462,17	1.937,67	192,23	62,33	1.318,67
Terça	6.910,00	448,00	1.665,53	2.073,00	321,33	0,00	1.224,67
Quarta	10.153,33	641,66	1.133,85	1.793,67	239,67	289,33	869,33
Quinta	5.850,00	421,67	800,80	1.081,33	116,47	32,67	709,67
Sexta	4.850,00	334,55	779,89	862,00	124,33	515,33	491,00
Sábado	1.646,67	59,00	231,65	334,00	56,33	29,67	181,33
Total	**40.459,17**	**2.538,66**	**6.197,56**	**8.245,67**	**1.084,37**	**944,33**	**4.922,17**

A massa de nitrogênio do Fluxo de Fornecimento de Alimentos (F1), obtida por meio dos registros de produção, para o mês de outubro de 2023 é apresentada na Tabela 5.17:

Tabela 5.17: Massa de nitrogênio do fornecimento de alimentos para a produção das refeições.

Categoria de Alimento	Concentração de N (%)	Produção no mês de outubro de 2023 (kg)	Nitrogênio da produção (kg)
Verduras	0,0720%	11236,44	8,09
Legumes	0,7503%	28041,62	210,40
Carnes e ovos	2,7330%	37157,33	1.015,51
Pães e massas	1,3885%	4885,03	67,83
Leites e derivados	1,5284%	3854,67	58,91
Frutas	0,0762%	22359,50	17,03
		Total	**1.377,77**

O RU produziu 1377,77 kg de nitrogênio na forma de alimentos durante o mês de outubro de 2023. Essa massa de nitrogênio corresponde a todos os alimentos que foram destinados à produção e consumo no período analisado e que, durante os processos do restaurante, foram preparados com sucesso, descartados ou consumidos, ou seja, é a massa total de nitrogênio adquirida pelo restaurante que será produzida ou descartada nos processos posteriores.

5.2.3. Fluxos da Recepção e Armazenamento

Durante este processo ocorre o tratamento preliminar de alguns alimentos, como descrito no item 5.1.1. Este tratamento preliminar gera resíduos alimentares, quase exclusivamente de verduras e legumes, antes mesmo do próprio armazenamento.

O Fluxo de Descartes e Perdas do processo de Recepção e Armazenamento (F5) representa a massa de nitrogênio presente nessas partes de alimentos que foram descartadas durante o pré-preparo e é determinado pela concentração de nitrogênio e pelas quantidades das categorias de resíduos de alimentos gerados.

A partir das quantidades de RSO da Tabela 5.7, que mostra os resultados estimados para a geração de resíduos no restaurante para o mês de outubro de 2023, e das concentrações de nitrogênio em alimentos definidas na Tabela 5.14 é calculada a massa final de nitrogênio gerada nesse processo. Os resultados da massa de nitrogênio calculada a partir destes resíduos são apresentados na Tabela 5.18 a seguir:

Tabela 5.18: Massa de nitrogênio estimada dos resíduos do pré-tratamento realizado no processo de Recepção e Armazenamento.

Categoria de alimento	Concentração média de N	RSO gerado no mês de outubro 2023 (kg)	Massa de nitrogênio (kg)
Verduras	0,07197%	1.399,73	1,01
Legumes	0,75031%	3.215,43	24,12
Frutas	0,07617%	604,66	0,46
	Total	**5.219,82**	**25,59**

Como observado na tabela, o Fluxo de Desperdícios e Perdas do processo de Recepção e Armazenamento (F5), para o período analisado de outubro de 2023, é de 25,69 kg de nitrogênio.

A massa de nitrogênio gerada destes resíduos é pequena quando comparada a outros fluxos gerados no restaurante devido aos resíduos serem compostos quase exclusivamente de verduras e legumes, alimentos que não possuem concentrações altas de nitrogênio em sua composição. Além disso, por ser o primeiro processo na linha de produção do restaurante, um descarte grande de alimentos logo nesta etapa seria um desperdício muito inviável para a manutenção do funcionamento do restaurante.

5.2.4. Fluxos na Confecção das Refeições

O fluxo de nitrogênio desta etapa também é um reflexo deste padrão de geração de resíduos. No entanto, como observado no item 6.1, as concentrações de nitrogênio variam entre os diferentes tipos de ingredientes utilizados no preparo das refeições. Além disso, os resíduos da cozinha, gerados durante o processo de confecção, são descartados juntos aos resíduos das sobras de alimentos nos balcões. Dessa forma, é importante observar que a produção excedente também pode ser considerada como desperdício de alimentos do processo de Confecção.

A Tabela 5.11, que estima a geração de resíduos da cozinha no mês de outubro de 2023, fornece os dados necessários da quantidade de resíduos para que a massa de nitrogênio do Fluxo de Desperdícios e Perdas do processo de Confecção (F6) seja calculada utilizando as concentrações de nitrogênio nos alimentos definidas no Item 5.2.1. Assim, os resultados da massa de nitrogênio calculada para esse fluxo são apresentados na Tabela 5.19:

Tabela 5.19: Massa de nitrogênio estimada dos resíduos da cozinha gerados no processo de Confecção.

Categoria de resíduo	Concentração média de N	RSO gerado no mês de outubro 2023 (kg)	Massa de nitrogênio (kg)
Verduras	0,0720%	4.085,48	2,944
Legumes	0,7503%	13.154,26	98,70
Carnes e ovos	2,7330%	5.351,19	146,25
Pães e massas	1,3885%	536,76	7,45
Leites e derivados	1,5284%	208,53	3,19

Frutas	0,0762%	2.623,30	2,00
		Total	**25.959,51**	**260,52**

O Fluxo de Desperdícios e Perdas do processo de Confecção (F6) é de 260,52 kg de nitrogênio, sendo o maior fluxo de descarte de alimentos da análise de fluxo realizada por este estudo, mostrando também o principal ponto de desperdício de alimentos e de nitrogênio no sistema do Restaurante Universitário do Campus Darcy Ribeiro - UnB.

A geração de nitrogênio a partir dos resíduos gerados nessa etapa é notavelmente maior do que em qualquer outro processo. Como já apontado no item 3.2.1, a maior parte dos resíduos gerados em uma cozinha industrial corresponde aos resíduos do preparo de alimentos. O excesso de produção também é responsável por uma grande quantidade de resíduos, já que eles são descartados da mesma forma que os resíduos gerados na cozinha.

5.2.5. Fluxos da Distribuição e Consumo

Após os alimentos serem destinados ao consumo no refeitório eles possuem dois fluxos de saída. O primeiro fluxo corresponde ao nitrogênio presente nos resíduos gerados nos refeitórios na forma de restos de alimentos nos pratos, ou seja, o fluxo de Descartes e Perdas do processo de Distribuição e Consumo (F7). Esse fluxo é estimado a partir das características desses resíduos definidas no Item 5.1.3. A Tabela 5.20 mostra o valor obtido para as massas de nitrogênio presentes nos RSO advindos sobras de alimentos nos pratos do refeitório a partir das concentrações médias definidas. A geração calculada corresponde ao mês de outubro de 2023.

Tabela 5.20: Massa de nitrogênio nos resíduos gerados de sobras de alimentos no refeitório.

Categoria de alimento	Geração de RSO no mês de outubro (kg)	Concentração média de N (%)	Massa de N gerada nos RSO (kg)
Verduras	809,73	0,07197%	0,58
Legumes	20.114,58	0,75031%	150,92
Carnes e ovos	3.265,81	2,73301%	89,25
Frutas	6.937,90	0,07617%	5,28
Resíduos não orgânicos	4.796,38	-	-
Diferença	790,70	-	-
Total	**36.715,10**		

Total (apenas orgânicos)	**31.128,02**	**0,91%**	**246,04**

Durante o mês de outubro foram gerados 246,04 kg de nitrogênio, presente em resíduos orgânicos, a partir do desperdício de alimentos no refeitório, correspondendo ao Fluxo de Desperdícios e Perdas do processo de Distribuição e Consumo (F7). Essa massa é quase completamente originária de restos de legumes, especialmente de arroz e feijão, e de restos de carne que, apesar de em menor quantidade, possuem concentrações muito elevadas de nitrogênio em sua composição.

O segundo é o fluxo de Alimentos Consumidos (F4), onde o nitrogênio é removido do restaurante por meio do consumo de alimentos da comunidade acadêmica. Esse fluxo não é gerado a partir de resíduos sólidos, mas é um bom indicador da efetividade do processo de preparo dos alimentos do restaurante.

Os valores da refeição padrão anteriormente definida e os dados da quantidade de refeições consumidas no restaurante durante o período analisado permitem a estimativa da quantidade de alimentos realmente consumidos no restaurante e, consequentemente, a quantidade de nitrogênio. A Tabela 5.21 apresenta as massas de nitrogênio estimadas para todas as 174.834 refeições realizadas no mês de outubro e para todos os RSO gerados a partir destas refeições. A mesma tabela também apresenta as diferenças entre essas massas para estimar a quantidade de nitrogênio consumida nos refeitórios para determinar o valor do fluxo de Alimentos Consumidos (F4).

Tabela 5.21: Estimativa da massa de nitrogênio consumida em refeitório.

Categoria de Alimento	Massa de N por Refeição Padrão (kg)	Massa de N em 174.834 refeições (kg)	Massa de N nos resíduos das 174.834 refeições (kg)	Massa de N consumida (kg)
Verduras	0,00003	4,40	0,58	3,82
Legumes	0,00248	432,89	150,92	281,97
Carnes e ovos	0,00465	812,30	89,25	723,05
Pães e massas	0,00014	24,27	-	24,27
Leites e derivados	0,00015	26,72	-	26,72
Frutas	0,00007	11,99	5,28	6,70

Total	**0,00751**	**1.312,58**	**246,04**	**1.066,53**

A partir da diferença entre a massa de nitrogênio nas refeições consumidas e a massa presente nos resíduos originários destas mesmas refeições, estimou-se que cerca de uma tonelada de nitrogênio é removido do sistema através do consumo de alimentos, resultando em uma perda de quase 20% em resíduos de refeitório. Assim, o Fluxo de Alimentos Consumidos (F4) corresponde a uma massa de 1066,53 kg de nitrogênio.

Nos pratos é possível observar que o desperdício em termos da massa bruta de alimentos é, percentualmente, maior do que quando observados pelas massas de nitrogênio. Isso pode ser explicado pelo alto índice de desperdício de legumes, como arroz, feijão, e pelo baixo desperdício de carnes evidenciados no Item 5.1.3. Os legumes possuem uma concentração muito menor de nitrogênio em suas composições e, consequentemente, geram uma menor massa de nitrogênio em seus resíduos. As carnes possuem a maior concentração de nitrogênio entre os alimentos analisados e, por sua vez, por serem servidas de forma controlada pelos funcionários do restaurante, e por serem o prato principal das refeições, são desperdiçadas em quantidades muito menores.

5.3. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE FLUXO

O diagrama de fluxo é construído por meio do Software STAN a partir dos fluxos de nitrogênio já obtidos que, com auxílio do software, serão utilizados como dados de entrada para estimar os fluxos de nitrogênio restantes do diagrama.

Os fluxos resultados de medidas e dados coletados no restaurante que serão utilizados como dados de entrada foram: Fluxo de Importação de Alimentos (F1), Fluxos de Descartes e Perdas (F5, F6 e F7) e o Fluxo de Alimentos Consumidos (F4). A partir destes valores é possível calcular os resultados dos fluxos restantes do diagrama a partir das diferenças de entradas e saídas de nitrogênio em cada processo.

O STAN também é capaz de calcular e estimar fluxos a partir incertezas e de dados inconsistentes. Como diferentes valores obtidos neste estudo dependem de estimativas e aproximações com base na comparação e análise dos dados coletados com informações obtidas de outras referências e, além disso, o próprio processo de coleta de dados primários não é isento de erros, essa capacidade do STAN de lidar com incertezas e erros é essencial para a construção do diagrama.

Inserindo uma incerteza de 10% em todos os fluxos obtidos, o STAN é capaz de calcular os fluxos restantes e, além disso, ajustar todos os valores e incertezas inseridos a fim de obter um resultado final com valores mais exatos. Essa funcionalidade do STAN pode ser visualizada na Figura 5.7, que mostra o diagrama de fluxo final como calculado pelo software. A Tabela 5.22 evidencia os valores inseridos para cada fluxo e apresenta os resultados calculados pelo STAN e suas respectivas incertezas.

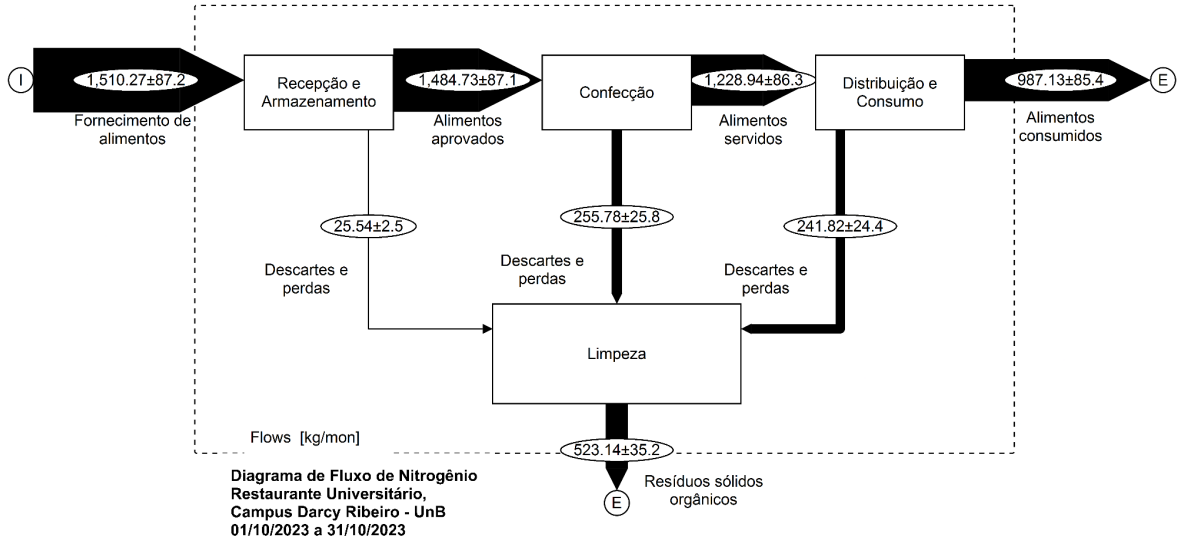


Figura 5.7: Diagrama de fluxo final construído no STAN.

Tabela 5.22: Valores dos fluxos de nitrogênio inseridos e calculados pelo STAN e suas respectivas incertezas.

Fluxo de Nitrogênio	Valor inserido (kg/mês)	Incerteza inserida (kg/mês)	Valor calculado pelo STAN (kg/mês)	Incerteza calculada pelo STAN (kg/mês)
Fornecimento de Alimentos - F1	1.377,77	137,777	1.510,27	87,2
Alimentos Tratados - F2	Calculado pelo STAN	Calculado pelo STAN	1.484,73	87,1
Alimentos Servidos - F3	Calculado pelo STAN	Calculado pelo STAN	1.228,94	86,3
Alimentos Consumidos - F4	1.066,53	106,653	987,13	85,4
Descartes e Perdas (Recepção e Armazenamento) - F5	25,59	2,559	25,54	2,6
Descartes e Perdas (Confecção) - F6	260,52	26,052	255,78	25,8
Descartes e Perdas (Distribuição e Consumo) - F7	172,68	17,268	241,82	24,4
Resíduos Sólidos Orgânicos - F8	Calculado pelo STAN	Calculado pelo STAN	523,14	35,2

Os resultados do Restaurante Universitário do Campus Darcy Ribeiro - UnB apresentados pelo diagrama apontam que 65,36% do nitrogênio é aproveitado e consumido na forma de refeições, enquanto 34,64% é descartado do restaurante na forma de resíduos sólidos orgânicos. Outros estudos mencionados, como o de Lopes (2011), Dutra (2018) e Heppner (2010) também apontam um padrão de geração de resíduos dentro dessa faixa de 30 a 40%.

Além disso, do nitrogênio gerado a partir dos resíduo, que convergem para o processo de Limpeza e geram o fluxo de exportação de Resíduos Sólidos Orgânicos (F8), 53,78% origina dos processos de preparo de alimentos, sendo estes a Recepção e Armazenamento e a Confecção, enquanto os outros 46,22% do nitrogênio é gerado a partir do descarte de resíduos dos refeitórios durante a Distribuição e Consumo.

A Figura 5.8 apresenta um gráfico comparando as massas de resíduo em cada processo e a Figura 5.9 apresenta o gráfico das massas de nitrogênio nestes resíduos.

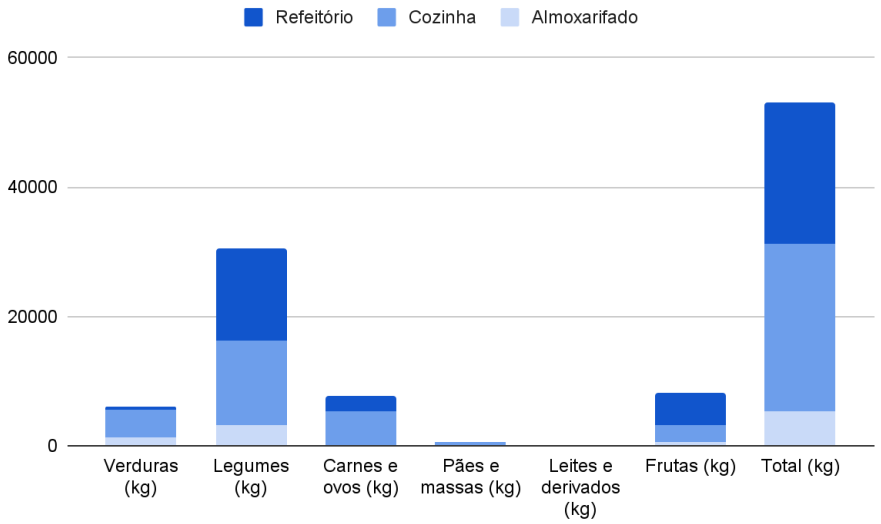


Figura 5.8: Gráfico de massas de resíduo geradas em cada processo.

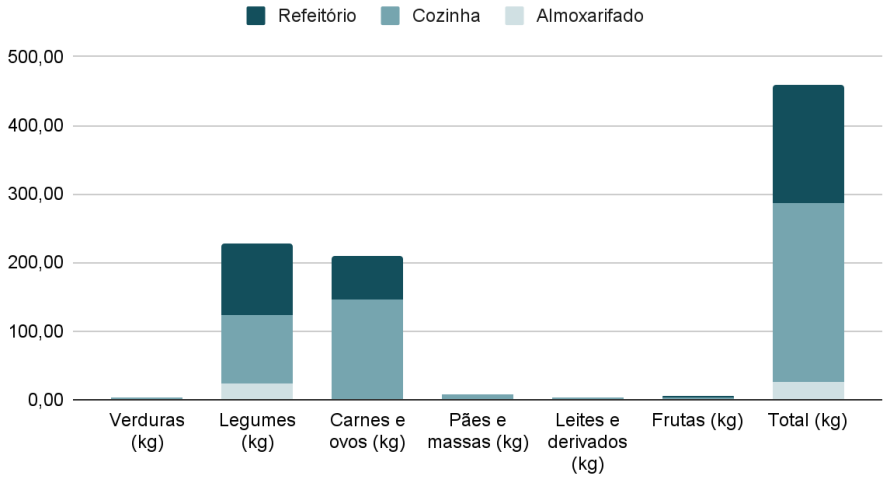


Figura 5.9: Gráfico de massas de nitrogênio geradas dos resíduos de cada processo.

Observando os gráficos é possível avaliar a geração de resíduos e nitrogênio em mais detalhe, a fim de facilitar a compreensão do funcionamento e aproveitamento do restaurante.

Cerca de um terço do nitrogênio que entra para o processo de produção do restaurante é descartado, nunca sendo levado para o consumo. E mais da metade deste nitrogênio é descartada somente durante o preparo. Observando os padrões de geração de resíduos nos três processos de preparo e consumo dos alimentos, é evidente que os principais responsáveis por este desperdício são os legumes e carnes.

Legumes são os principais alimentos desperdiçados e descartados no restaurante. Nos processos de Recepção e Armazenamento, de Confecção e de Distribuição e Consumo, os legumes contabilizam mais da metade dos resíduos gerados, correspondendo a 61,60%, 50,67% e 54,79% dos resíduos gerados, respectivamente, em cada processo.

Esse alto índice de geração de resíduos pode ser explicado pela grande variedade e quantidade de alimentos consumidos nesta categoria. Alimentos como o arroz e feijão são os fundamentos da culinária brasileira e estão presentes, sem exceção, em todos os cardápios de almoço e jantar do restaurante. Além disso, as porções servidas destes alimentos não são controladas pelo restaurante, diferente das carnes e frutas. Frequentadores podem abastecer suas refeições com qualquer quantidade desejada de legumes e, devido a esse alto consumo, a produção exacerbada destes alimentos é propensa a erros e à produção excessiva, a fim de evitar escassez.

Quando avaliado nos termos do nitrogênio presente nos alimentos, os legumes são responsáveis por 49,86% da massa do elemento presente nos resíduos gerados pelo restaurante. Assim, mesmo possuindo uma concentração de nitrogênio de 0,7503%, cerca de

3,64 vezes menor do que a das carnes e ovos, ainda contribuem para quase metade do total de nitrogênio presente nos resíduos.

Os resíduos das carnes e ovos, por receberem um tratamento prévio em uma instalação exterior às dependências do RU, e por terem suas porções controladas enquanto são servidas aos consumidores, as carnes e ovos, são gerados em uma quantidade muito menor durante todo o funcionamento do restaurante. Não há geração de resíduos desta categoria no processo de Recepção e Armazenamento, devido a esse tratamento prévio, e durante os processos de Confecção e de Distribuição e Consumo as carnes e ovos contribuem apenas para 20,61% e 8,89% dos resíduos.

No entanto, devido à sua alta concentração de proteínas e algumas vitaminas, esses alimentos possuem a maior concentração de nitrogênio de todas as categorias com, em média, 2,7330% da sua massa sendo composta de nitrogênio e, devido à essa alta concentração, seu descarte em forma de resíduos contribui para 45,53% do elemento presente nos resíduos.

Quanto às outras categorias analisadas não há uma contribuição significativa de nitrogênio a partir dos resíduos gerados. As verduras são, geralmente, alimentos leves e possuem a menor concentração de nitrogênio das categorias analisadas, com apenas 0,072% do elemento em sua composição. Assim, a quantidade de resíduos geradas em todas as etapas é baixa, e sua contribuição para o nitrogênio total dos resíduos é de apenas 0,95%.

Enquanto leites e derivados possuem concentrações maiores de nitrogênio em sua composição, sua geração de resíduos sólidos orgânicos é extremamente limitada à alimentos como queijos, cremes e outros que, são utilizados quase exclusivamente durante o desjejum, refeição com menor frequência de consumidores e menores taxas de geração de resíduos. Esses alimentos não necessitam do pré-preparo durante o processo de Recepção e Armazenamento e também são consumidos muitas vezes na forma líquida, o que não contribui para a geração de RSO. Portanto, contribuem apenas para 0,69% do nitrogênio presente nos resíduos do sistema.

Da mesma forma, pães e massas também são limitados ao desjejum, não necessitam de pré-tratamento e são gerados em pequenas quantidades na cozinha e, portanto, não contribuem significativamente para o nitrogênio total dos resíduos, contribuindo com apenas 1,62%.

As frutas, por sua vez, sofrem geração significativa em algumas das etapas do funcionamento do RU. Nos processos de Recepção e Armazenamento e de Confecção estes alimentos geralmente não necessitam de preparo intensivo para serem servidos, mas são

sujeitos à lavagem e ao corte em pedaços e, raramente, são cozinhados em uma refeição, contribuindo para 11,58% e 10,11% dos resíduos gerados nestes processos, respectivamente.

Durante a Distribuição e Consumo nos refeitórios, frutas são servidas de forma controlada pelos funcionários do restaurante e em pequenas quantidades, mas em alguns casos como melancias, laranjas e outros podem possuir partes indesejáveis que são descartadas durante o consumo e assim, constituem cerca de 18,90% dos resíduos gerados nessa etapa. No entanto, sua concentração de nitrogênio é mínima quando comparada com outros alimentos, com apenas 0,0762% da sua composição em nitrogênio. Assim, mesmo sendo o terceiro principal tipo de resíduos alimentares do restaurante, contribui apenas para 1,34% do total do nitrogênio gerado.

Os resultados revelam que aproximadamente dois terços do nitrogênio envolvido no processo de produção do Restaurante Universitário (RU) da Universidade de Brasília (UnB) são aproveitados para consumo, enquanto um terço é descartado como resíduos sólidos orgânicos. Essa proporção, alinhada a padrões previamente observados em outros estudos, destaca a importância de uma análise detalhada para compreender a dinâmica de geração de resíduos e o aproveitamento de nutrientes em ambientes como cozinhas industriais.

O exame das etapas específicas do processo de preparo e consumo de alimentos no RU aponta que mais da metade do nitrogênio presente nos resíduos tem origem no processo de Confecção, esse desperdício é tanto por parte dos resíduos gerados dentro da cozinha, como das sobras da produção excessiva de alimentos que, quando não consumidas, também são descartadas com os resíduos da cozinha.

Ao contextualizar as categorias de alimentos, é perceptível que legumes, apesar de possuírem baixa concentração de nitrogênio, contribuem significativamente para os resíduos em todas as etapas do processo. Por outro lado, carnes e ovos, apesar de gerarem menos resíduos, têm uma alta concentração de nitrogênio, destacando-se como contribuintes relevantes para o total do elemento nos resíduos.

Durante o mês analisado de outubro de 2023 foram realizadas 174.834 refeições no RU. Analisando os fluxos de nitrogênio do restaurante na escala de refeições individuais é possível obter uma estimativa da contribuição de cada refeição no fluxo de nitrogênio total, podendo ser utilizado para analisar o fluxo de nitrogênio em diferentes períodos de tempo, como diário, semanal ou anual. A Tabela 5.23 apresenta os valores dos fluxos de nitrogênio

para uma única refeição realizada no restaurante e estima os mesmos fluxos para o período dos dias 1º de janeiro a 31 de outubro de 2023 em que foram realizadas 1.365.095 refeições:

Tabela 5.23: Valores dos fluxos de nitrogênio por refeição.

Fluxo de Nitrogênio	Nitrogênio por refeição individual (kg)	Nitrogênio para o ano de 2023 até 31 de outubro (kg)
F1	0,0086	11792,11
F2	0,0085	11592,70
F3	0,0070	9595,50
F4	0,0056	7707,46
F5	0,0001	199,42
F6	0,0015	1997,12
F7	0,0014	1888,12
F8	0,0030	4084,65

Observa-se que para cada refeição produzida são consumidos 5,6 gramas de nitrogênio e descartados 3 gramas na forma de resíduos sólidos. Aplicando estes valores para as 1.365.095 refeições realizadas no período dos dias 01/01/2023 a 31/10/2023 é possível estimar que mais de 4 toneladas de nitrogênio foram descartadas pelo restaurante na forma de resíduos orgânicos.

Os resultados obtidos proporcionam uma compreensão superficial, mas reveladora, da realidade da geração de resíduos e nitrogênio no restaurante universitário. Embora as informações ofereçam uma visão geral do processo, é fundamental reconhecer que diversas aproximações e estimativas foram adotadas, muitas vezes baseadas em dados incompletos em conjunto com dados obtidos de outros estudos. A categorização dos alimentos facilitou a coleta de dados e a construção dos fluxos de nitrogênio, simplificando o processo, mas também resultando em uma generalização considerável dos dados obtidos. Essas limitações destacam a complexidade inerente à mensuração precisa desses fenômenos em ambientes dinâmicos como cozinhas industriais, onde variáveis e condições estão em constante mudança.

Apesar das aproximações e estimativas, os resultados obtidos são consideráveis e contribuem significativamente para a pesquisa nessa área. A análise detalhada dos gráficos revela padrões específicos na geração de resíduos e no descarte de nitrogênio. Esses resultados não apenas validam a relevância da pesquisa, mas também indicam caminhos para

melhorias práticas na gestão de resíduos e no aproveitamento de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência operacional do restaurante universitário.

Considerando a possibilidade de expansão do estudo, o mesmo processo analítico pode ser aplicado ao fósforo e a outros elementos presentes nos resíduos alimentares, demonstrando a versatilidade e a aplicabilidade da metodologia empregada neste estudo e da Análise de Fluxo de Materiais como um todo e proporcionando outras informações para uma compreensão mais abrangente dos fluxos de nutrientes em resíduos.

A compreensão desses padrões específicos é crucial para informar políticas e estratégias destinadas à redução do desperdício de alimentos e nutrientes no contexto do Restaurante Universitário (RU). Uma análise subsequente poderia buscar fornecer uma visão mais detalhada e personalizada de estudos ambientais adicionais para contabilizar as possíveis emissões de compostos de nitrogênio, permitindo avaliações mais precisas das práticas de gestão implementadas e seus impactos. Além disso, essa abordagem orientará ações futuras em direção à sustentabilidade e eficiência na utilização de recursos.

6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa analisou o fluxo de nitrogênio em resíduos do Restaurante Universitário (RU) da UnB, proporcionando uma compreensão vital da relação entre a produção de resíduos e os impactos ambientais.

Foi observado que um terço do nitrogênio presente nos alimentos preparados e consumidos no restaurante são desperdiçados na forma de resíduos destes próprios alimentos, com as principais causas deste desperdício sendo descartes durante o preparo dos alimentos, as sobras do excedente de alimentos preparados e os restos de comida descartados pelos consumidores das refeições.

A análise detalhada dos fluxos destacou legumes como principais contribuintes devido à sua alta geração de resíduos proveniente da grande quantidade destes alimentos que é consumida. Enquanto isso, as carnes e ovos, apesar da menor massa bruta de resíduos, representaram uma fonte substancial de desperdício de nitrogênio devido à alta concentração do elemento.

O ponto crítico identificado foi o processo de Confecção, indicando a necessidade de otimização na gestão de ingredientes. Mas com uma contribuição significativa do processo de Distribuição e Consumo, onde os desperdícios contabilizados são muito representativos do comportamento dos frequentadores do restaurante.

A gestão eficiente do nitrogênio não só promove a sustentabilidade local no RU, mas também beneficia o ecossistema circundante. A conscientização sobre o consumo responsável torna-se crucial para minimizar o desperdício de nitrogênio ao longo do processo alimentar. Apesar da visão abrangente, as limitações metodológicas ressaltam a necessidade de interpretar os dados com cautela.

Em última análise, a pesquisa contribui para decisões práticas em gestão de resíduos, promovendo a eficiência operacional e a sustentabilidade ambiental no RU e servindo como modelo para instituições similares, fomentando um futuro alimentar mais consciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albertoni, T. A. (2013). Caracterização Física Dos Resíduos Sólidos Gerados Em Restaurante Universitário. 2013. 77 F. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação)- Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Londrina.

Bernhard, A. (2010). The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education Knowledge 3(10):25.

Brunner, P.H., & Rechberger, H. (2016). Handbook Of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, And Waste Engineers, Second Edition (2nd Ed.). Crc Press.

Bringezu, S. And Y. Moriguchi. (2002). Material Flow Analysis. In A Handbook Of Industrial Ecology, Edited By R. U. Ayres And L. W. Ayres. Chelten Ham, Uk: Edward Elgar.

Camilleri, M., Oliver-Solà, J., Farreny, R., & Gabarrell Durany, X. (2017). Where do islands put their waste? – A material flow and carbon footprint analysis of municipal waste management in the Maltese Islands. Journal of Cleaner Production, v. 195, p. 1609–1619.

Carrera, J., Baeza, J. A., Vicent, T., Lafuente, J. (2003). Biological nitrogen removal of high-strength ammonium industrial wastewater with two-sludge system. Water Research, 37(17), 4211-4221.

Cencic, O.; Rechberger, H. (2008). Material Flow Analysis With Software Stan. Journal Of Environmental Engineering And Management, V. 18, N. 1, P. 3–7.

Cencic, O. (2022). Stan 2.7 User Manual. Vienna University Of Technology - Institute For Water Quality, Resources And Waste Management, Vienna, Austria. Disponível Em: Https://Www.Stan2web.Net/Downloads/Documentation. Acesso Em: 20 De Junho De 2023.

Coppens, J. Et Al. (2016). Follow The N And P Road: High-Resolution Nutrient Flow Analysis Of The Flanders Region As Precursor For Sustainable Resource Management. Resources, Conservation And Recycling, V. 115, P. 9–21.

Costa. F.X; Lucena, A. M. A. De; Tresena, N. De L.; Guimarães, F. S; Guimarães, M. M. B; Silva, M. M. P; Guerra, H. O. C. (2004). Estudo Qualitativo E Quantitativo Dos Resíduos Sólidos Do Campus I Da Universidade Estadual Da Paraíba. Revista De Biologia E Ciências Da Terra. João Pessoa, V. 4, N. 2

DAC, Unb. Restaurante Universitário - Ru. Universidade De Brasília. Disponível Em: Https://Ru.Unb.Br/Index.Php/Servicos. Acesso Em 26 De Junho De 2023.

Dutra, V. (2018). Avaliação Da Digestão Anaeróbia Dos Resíduos Sólidos Orgânicos Provenientes Do Restaurante Universitário Do Campus Darcy Ribeiro - Unb. Monografia De Projeto Final, Publicação, Departamento De Engenharia Civil E Ambiental, Universidade De Brasília, Brasília, Df, 65 P.

Duvigneaud, P. And Denayeyer-De Smet, S. (1975). L'ecosystème Urbs, In L'ecosystème Urbain Bruxellois, In Productivité Biologique En Belgique, Duvigneaud, P. And Kestemont,

P., Eds., Traveaux De La Section Belge Du Programme Biologique International, Bruxelles, P. 581–597.

El Diwani, G., El Rafie, Sh., El Ibiari, N. N., El-Aila, H. I. (2007). Recovery of ammonia nitrogen from industrial wastewater treatment as struvite slow releasing fertilizer. Desalination, 214(1–3), 200-214.

El-Fadel, M.; Findikakis, A. N.; Leckie, J. O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. Journal of Environmental Management, v. 50, n. 1, p. 1–25, 1997.

Encyclopaedia Britannica. (2023). Haber-Bosch Process. Disponível Em: Https://Www.Britannica.Com/Technology/Haber-Bosch-Process. Acesso Em: 27 De Jun. De 2023.

Fay, P. (1992). Oxygen Relations of Nitrogen Fixation in Cyanobacteria. Microbiological Reviews, p. 340-373, Vol. 56, No. 2.

Firmansyah, I. Et Al. (2017). Assessment Of Nitrogen And Phosphorus Flows In Agricultural And Urban Systems In A Small Island Under Limited Data Availability. Science Of The Total Environment, V. 574, P. 1521–1532.

Food And Agriculture Organization Of The United Nations - FAO (2014): Food Wastage Footprint Full-Cost Accounting, Final Report. Disponível em: <https://www.fao.org/nr/sustainability/food-loss-and-waste>. Acesso em: 21 de Jun. de 2023.

Food And Agriculture Organization Of The United Nations - FAO. (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023, November 21). Tackling food loss and waste: A triple win opportunity. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/en>. Acesso em: 21 de Dez. de 2023.

Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., ... & Karl, D. M. (2004). Nitrogen Cycles: Past, Present, And Future. Biogeochemistry, 70(2), 153-226.

Grönman, K., Ypyä, J., Virtanen, Y., Kurppa, S., Soukka, R., Seuri, P., Finér, A., Linnanen, L. (2016). Nutrient footprint as a tool to evaluate the nutrient balance of a food chain. J. Clean. Prod. 112, 2429–2440.

Hayashi, K., Shibata, H., Oita, A., Nishina, K., Ito, A., Katagiri, K., Et Al. (2021), Nitrogen Budgets In Japan From 2000 To 2015: Decreasing Trend Of Nitrogen Loss To The Environment And The Challenge To Further Reduce Nitrogen Waste.

Heppner, S. (2010) . Too Good To Waste - Restaurant Food Waste Survey Report. Sustainable Restaurant Association.

Hunfeld, N., Diehl, J.C., Timmermann, M. Et Al. (2023). Circular Material Flow In The Intensive Care Unit—Environmental Effects And Identification Of Hotspots. Intensive Care Med 49, 65–74.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution Of Working Group I To The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, And B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom And New York, Ny, Usa.

Liao, C., Xia, Y., & Wu, D. (2021). Nitrogen flows associated with food production and consumption system of Shanghai. Environmental Pollution, 279.

Lima, R. G.; Lima, A. M.; Gomes, L. J.; Santos, S. L. M. (2018). Estimativa Do Fluxo De Nitrogênio Na Universidade Federal Da Sergipe, Brasil. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, V.9, N.4, P.224-234.

Liu, X. J., Xu, W., Du, E. Z., Tang, A. H., Zhang, Y., Wen, Z., Hao, T. X., Pan, Y. P., Zhang, L., Zhao, Y., Shen, J. L., Zhou, F., Gao, Z. L., Chang, Y. H., Goulding, K., Collett, J. L., Vitousek, P. M., Zhang, F. S., Zhang, Y. Y., Gu, B. J., & Feng, Z. Z. (2020). Environmental impacts of nitrogen emissions in China and the role of policies in emission reduction. Phil. Trans. Math. Phys. Eng. Sci., 378.

Lohmann, G. (2020), Análise De Fluxo De Carbono, Nitrogênio E Fósforo E Avaliação De Impactos Ambientais Em Aterro Sanitário E Na Compostagem De Resíduos Sólidos Urbanos. Tese De Doutorado Apresentada Ao Programa De Pós-Graduação Em Recursos Hídricos E Saneamento Ambiental, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

Lopes, Ana C. C. (2011). Avaliação Do Desperdício Alimentar Num Restaurante Universitário No Brasil. 2011. 30 F. Dissertação (Licenciatura Em Ciência Da Nutrição) - Universidade Atlântica, Bacarena.

Mastellone, M. L.; Brunner, P. H.; Arena, U. (2009). Scenarios Of Waste Management For A Waste Emergency Area. Journal Of Industrial Ecology, V. 13, N. 5, P. 735–757.

Mayor, A.; Beltran, E.; Cortina, J. L.; Valderrama C. (2023). Nitrogen Flow Analysis In Spain: Perspectives To Increase Sustainability, Science Of The Total Environment, Volume 858, Parte 3.

Menezes, R. L; Santos, F. C. A; Leme, P. C. S. (2002). Projeto De Minimização De Resíduos Sólidos No Restaurante Central Do Campus De São Carlos Da Universidade De São Paulo. Xxii Encontro Nacional De Engenharia De Produção.

Miguel, N.; López, A.;Jojoa-Sierra, S.D.; Fernández, J.; Gómez, J.; Ormad, M.P. (2022). Physico-Chemical And Microbiological Control Of The Composting Process Of The Organic Fraction Of Municipal Solid Waste: A Pilot-Scale Experience. Int. J. Environ. Res. Public Health.

MORIGUCHI, Y.; HASHIMOTO, S. (2016). Material Flow Analysis and Waste Management. In: CLIFT, R.; DRUCKMAN, A. (Eds.). . Taking Stock of Industrial Ecology. Cham: Springer International Publishing, p. 246–262.

Naspolini, B. F; Lussi, C; Borges, D. De S.; Souza, D. B. E; Rocha, L. A. (2009). Diagnóstico E Proposta De Melhoria De Gestão Dos Resíduos Sólidos Produzidos No Restaurante Universitário: Campus Cuiabá/Ufmt. 25º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental.

Newcombe, K.; Kalma, I.D.; Aston, A.R. (1978) The Metabolism Of A City: The Case Of Hong Kong, Ambio.

Oita, A., Katagiri, K., Eguchi, T., Morioka, R., Shindo, J., Hayashi, K., & Matsubae, K. (2021). Nutrient-extended input-output (NutrIO) method for the food nitrogen footprint. Environmental Research Letters, Volume 16, 11.

Pan, J., Ding, N., & Yang, J. (2019). Changes of urban nitrogen metabolism in the Beijing megacity of China, 2000–2016. Science of The Total Environment, 666, p. 1048-1057.

Política Nacional De Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010). Disponível Em: Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/L12305.Htm

Rana, S.; Kumar, A.; Arora, H. (2022). Nitrogen Flow Through Waste Management Systems In An Academic Campus, Materials Today: Proceedings, Volume 57, Part 4, P. 1938-1943.

REIS, A. S. (2012). Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Richardson, K., et al. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. Sci. Adv., 9, eadh2458. DOI: 10.1126/sciadv.adh2458.

Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Minas Gerais – SEBRAE/MG. (2018) Como montar: Cozinha Industrial. Disponível em: <https://atendimento.sebraemg.com.br/biblioteca-digital/content/como-montar-cozinha-industrial>. Acesso em: 01 de Julho de 2023.

Sinclair, P.A.; Mohr, S.H.; Kralicek, A.V.; Höök, M.; Hannon, M.J. (2013). Global resource depletion. is population the elephant in the room?. Energy Policy 61, 1–7.

Sinha, R., Thomas, J.B.E., Strand, Söderqvist, T., Stadmark, J., Franzen, F., Ingmansson, I., Gröndahl, F., Hasselström, L. (2022). Quantifying Nutrient Recovery By Element Flow Analysis: Harvest And Use Of Seven Marine Biomasses To Close N And P Loops. Resour Conserv Recycl 178.

Sotti, G. De. (2014). Biogás De Digestão Anaeróbia Dos Resíduos Orgânicos De Restaurante Universitário Com Efluente Sanitário. 2014. 60 F. Tcc (Graduação Em Engenharia Ambiental), Universidade Técnologia Federal Do Paraná, Londrina.

Suesatpanit, T. (2017). Substance Flow Analysis Of Nitrogen In Food Production And Consumption System Of Thailand. Department Of Space, Earth And Environment, Physical Resource Theory. Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden.

Stan. Stan Software For Substance Flow Analysis [Software]. Disponível Em: Http://Www.Stan2web.Net/. Acesso Em: 20 De Junho De 2023.

Sterner, R. W., Small, G. E. & Hood, J. M. (2011) The Conservation Of Mass. Nature Education.

Sutton M.A., Bleeker A., Howard C.M., Bekunda M., Grizzetti B., de Vries W., van Grinsven H.J.M., Abrol Y.P., Adhya T.K., Billen G.,. Davidson E.A, Datta A., Diaz R., Erisman J.W., Liu X.J., Oenema O., Palm C., Raghuram N., Reis S., Scholz R.W., Sims T., Westhoek H. & Zhang F.S., with contributions from Ayyappan S., Bouwman A.F., Bustamante M., Fowler D., Galloway J.N., Gavito M.E., Garnier J., Greenwood S., Hellums D.T., Holland M., Hoysall C., Jaramillo V.J., Klimont Z., Ometto J.P., Pathak H., Plocq Fichelet V., Powlson D., Ramakrishna K., Roy A., Sanders K., Sharma C., Singh B., Singh U., Yan X.Y. & Zhang Y. (2013) Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

Sutton, M.A.; Howard, C.M.; Kanter, D.R.; Lassaletta, L.; Móring, A.; Raghuram, N.; Read, N. (2021). The nitrogen decade: mobilizing global action on nitrogen to 2030 and beyond, One Earth, Volume 4, Iss. 1

Thyberg, K. L.; Tonjes, D. J. (2016). Drivers Of Food Waste And Their Implications For Sustainable Policy Development. Resources, Conservation And Recycling, V. 106, P. 110–123.

UnB. Decanato de Planejamento, Orçamento e Avaliação Institucional. Anuário Estatístico. Disponível em: <https://www.dpo.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=872 > Acesso em: 01/11/2023

UnB Notícias (2017). UnB reduz valor pago por contrato do Restaurante Universitário. Disponível em: <https://noticias.unb.br/69-informe/1670-unb-reduz-valor-pago-por-contrato-do-restaurante-universitario>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

United Nations (2019), Growing At A Slower Pace, World Population Is Expected To Reach 9.7 Billion In 2050 And Could Peak At Nearly 11 Billion Around 2100, News. Disponível Em: Https://Www.Un.Org/Sustainabledevelopment/Blog/2019/06/Growing-At-A-Slower-Pace-World-Population-Is-Expected-To-Reach-9-7-Billion-In-2050-And-Could-Peak-At-Nearly-11-Billion-Around-2100-Un-Report/ Acesso Em: 3 De Junho De 2023.

U.S. Department Of Agriculture, Agricultural Research Service. (2022). What's In The Foods You Eat Search Tool, 2019-2020. Disponível Em: <Https://Www.Ars.Usda.Gov/Northeast-Area/Beltsville-Md-Bhnrc/Beltsville-Human-Nutriti

on-Research-Center/Food-Surveys-Research-Group/Docs/Whats-In-The-Foods-You-Eat-Search-Tool/>. Acesso Em: 29 De Junho De 2023.

van der Wiel, B.Z., Weijma, J., van Middelaar, C.E., Kleinke, M., Buisman, C.J.N., Wichern, F., (2020). Restoring nutrient circularity: a review of nutrient stock and flow analyses of local agro-food-waste systems. Resour. Conserv. Recycl. 160

Venkze, Cláudio S. (2001). A geração de resíduos em restaurantes analisada sob a ótica da produção mais limpa. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia da Produção, 2001, Salvador, BA. Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador.

Vingerhoets, R.; Spiller, M.; Backer, J. D.; Adriaens, A.; Vlaeminck, S. E.; Meers, E. (2023). Detailed Nitrogen And Phosphorus Flow Analysis, Nutrient Use Efficiency And Circularity In The Agri-Food System Of A Livestock-Intensive Region, Journal Of Cleaner Production, Volume 410.

Vries, W. de (2021). Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. Current Opinion in Environmental Science & Health, 21, 100249. ISSN 2468-5844.

Wang, Y., Jacob D. J. (1998), Anthropogenic forcing on tropospheric ozone and OH since preindustrial times, *J. Geophys. Res.*, 103(D23), 31123–31135

Wang, L. K; Tay, J.; Tay, S. T. L.; Hung, Y. (2010). Handbook Of Environmental Engineering Vol 11- Environmental Bioengineering. New York: Human Press C/O Springer Science+Business Media, P. 193–210.

Wolman, A. (1965). The metabolism of the cities. Sci. Am. 213, 179–190.

Xu, R., Cai, Y., Wang, X., Li, C., Liu, Q., Yang, Z., (2020). Agricultural nitrogen flow in a reservoir watershed and its implications for water pollution mitigation. J. Clean. Prod. 267

Zhang, X., Davidson, E., Mauzerall, D. et al. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. Nature 528, p. 51–59.