



Maria Angélica Gomes da Silva

**Gestão de estoque de suprimentos de alívio de
desastres: uma análise baseada em custos de
privação**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientadora: Prof. Adriana Leiras



Maria Angélica Gomes da Silva

**Gestão de estoque de suprimentos de alívio de
desastres: uma análise baseada em custos de
privação**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Adriana Leiras

Orientadora

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Irineu de Brito Junior

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Tharcisio Cotta Fontainha

UFRJ

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Maria Angélica Gomes da Silva

Engenheira de Produção pela Universidade Católica de Petrópolis (2018), Mestranda em Engenharia Industrial pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Atua no *Humanitarian Assistance and Needs for Disasters* (HANDs) como pesquisadora na área de Gestão de Operações Humanitárias e Desastres, focada em operações de resposta a desastres.

Ficha Catalográfica

Silva, Maria Angélica Gomes da

Gestão de estoque de suprimentos de alívio de desastres : uma análise baseada em custos de privação / Maria Angélica Gomes da Silva ; orientadora: Adriana Leiras. – 2021.

78 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2021.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Custo de privação. 3. Gestão de estoques. 4. Modelagem matemática. 5. Demanda não atendida. 6. Pesquisa empírica. I. Leiras, Adriana. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico este trabalho aos meus pais, João e Ângela, por todo apoio e paciência comigo. E por lutarem pelos meus sonhos e meus estudos. Mais uma etapa concluída e a conquista é nossa.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por mais uma etapa concluída.

Aos meus pais, Ângela e João, que nunca mediram esforços para investirem nos meus estudos e por acreditarem nos meus sonhos. Além de sempre me proporcionarem todo o suporte necessário.

À minha família, em especial a minha vó Angélica, pelo carinho e acolhimento de sempre. Aos meus tios, Leda e Severino que me receberam em sua casa no começo do curso, sem esse abrigo não seria possível ter iniciado no mestrado.

A todos da equipe do HANDs, pelo auxílio e cumplicidade. Em especial, a Brenda, Fabiola e Luiza, que me auxiliaram desde o primeiro período até o último momento. Ao Andrei Braga que se tornou meu parceiro de trabalhos.

Aos meus amigos, em especial a Ana Carolina que dividiu apartamento comigo, e que sempre me ouvia no final do dia.

À minha orientadora, Adriana Leiras, que confiou em mim, me deu caminhos e me auxiliou em todos os momentos. Obrigada pela paciência e orientação de todos os passos, sem sua ajuda esse trabalho não seria possível.

Aos professores, alunos e funcionários do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Em especial, ao aluno Flávio Lim-Apo que me auxiliou no desenvolvimento do modelo e das dúvidas que surgiam em torno do mesmo.

À Cruz Vermelha Brasileira e a Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro (CEPEDEC, SECED-RJ, ICTDEC, em especial ao Rodrigo Werner e Samir Fernandes) pela disponibilidade para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço a todos que possibilitaram e contribuíram para a realização deste estudo e do meu sonho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Além do apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Resumo

Silva, Maria Angélica Gomes; Leiras, Adriana. **Gestão de estoque de suprimentos de alívio de desastres: uma análise baseada em custos de privação**. Rio de Janeiro, 2021. 78p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A logística humanitária visa salvar vidas e aliviar o sofrimento em desastres. Além disso, suprimentos humanitários são itens essenciais para a sobrevivência humana (como exemplo, água e alimentos) e sua falta pode causar grande impacto. No entanto, os recursos disponíveis podem não ser suficientes para atender a demanda dos beneficiários. O custo de privação quantifica o sofrimento causado às vítimas de desastres pela falta desses itens. Assim, este trabalho objetiva analisar o efeito da inclusão dele na gestão de estoque de suprimentos de alívio a desastres. Para alcançar o objetivo proposto, a pesquisa analisa o estado da arte da modelagem deste custo por meio de uma revisão sistemática da literatura acadêmica. Um modelo de gestão de estoque considerando custos de privação é então formulado como um modelo estocástico de dois estágios. Ademais, as diversas funções de custo de privação encontradas na literatura são analisadas. Finalmente, o modelo é validado empiricamente através de dois estudos de caso. Os resultados sugerem que a escolha da função de privação pode impactar em até 99,9% de diferença nos custos totais da gestão de estoques. O nível de atendimento gerado também possui uma alta amplitude quando as diferentes funções de privação encontradas na literatura são comparadas. Conclui-se que as funções geram níveis de atendimentos distintos, cabendo aos tomadores de decisão escolher qual se adequa melhor ao problema estudado. Como contribuição prática, destaca-se que o modelo de gestão de estoque considerando o custo de privação proposto pode auxiliar os tomadores de decisão e reduzir o sofrimento das pessoas atingidas por desastres. Como contribuição acadêmica, o estudo analisa e compara as principais funções de privação propostas na literatura, o que pode auxiliar a proposição de novas modelagens.

Palavras-chave

Custo de Privação; Gestão de Estoques; Modelagem matemática; Demanda não atendida; Pesquisa empírica

Abstract

Silva, Maria Angélica Gomes; Leiras, Adriana. **Inventory management of disaster relief supplies: an analysis based on deprivation costs** Rio de Janeiro, 2021. 78p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial Católica do Rio de Janeiro.

Humanitarian logistics aims to save lives and alleviate human suffering in disasters. Furthermore, humanitarian supplies are essential items for humanity (such as water and food), and their lack can have a great impact. However, the available resources may not be enough to meet the beneficiaries' needs. The deprivation cost quantifies the suffering caused to disaster victims by the lack of these items. Thus, this paper aims to analyze the effect of including deprivation costs in disaster relief supplies inventory management. To reach the proposed goal, the research analyzes the state of the art of its modeling through a systematic review of the academic literature. An inventory management model considering deprivation costs is then formulated as a two-stage stochastic model. Furthermore, the various deprivation cost functions found in the literature are analyzed. Finally, the model is empirically validated through a two case studies. The results suggest that the choice of the deprivation function can impact up to a 99.9% difference in the total costs of inventory management. The service level generated also has a high amplitude when the different functions are compared. It is concluded that the functions generate different service levels, and it is up to the decision-makers to choose which one best suits the studied problem. As a practical contribution, we highlight that the proposed inventory management model considering the cost of deprivation may help decision-makers and reduce the suffering of people affected by disasters. As an academic contribution, the study analyzes and compares the main deprivation functions proposed in the literature, which can help to propose new models.

Keywords

Deprivation Cost; Inventory Management; Mathematical model; Unmet demand; Empirical research.

Sumário

1	Introdução	13
2	Metodologia de pesquisa	17
2.1	Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	17
2.2	Modelagem e Simulação	20
3	Estado da arte sobre modelos de gestão de estoque de água	23
3.1	Análise descritiva da RSL	23
3.2	Análise de conteúdo da RSL	27
3.3	Gaps e Estudos Futuros	33
4	Modelo de Gestão de Estoque com custos de privação	36
4.1	Definição do problema	36
4.2	Construção do modelo	38
4.2.1	Nomenclatura	38
4.2.2	Modelagem Matemática	39
4.2.3	Funções de privação	41
4.3	Solução do modelo	43
5	Validação empírica do modelo proposto	49
5.1	Geração de cenários	49
5.2	O Caso da CVB	51
5.2.1	Caracterização do caso	51
5.2.2	Resultados	53
5.3	O caso da Defesa Civil	57
5.3.1	Caracterização do caso	57
5.3.2	Resultados	59
5.4	Discussão dos Resultados	64
6	Conclusões e Pesquisas Futuras	69
	Referências bibliográficas	72

Lista de Figuras

Figura 1 – Diagrama PRISMA das etapas de pesquisa da literatura (Adaptado de Silva e Leiras, 2021)	19
Figura 2 – Número de artigos publicados por ano	23
Figura 3 – Faltas dos produtos de acordo com a função 3	44
Figura 4 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.1	44
Figura 5 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.2	45
Figura 6 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.3	45
Figura 7– Tempo médio de atendimento das faltas por função de privação	46
Figura 8 – Custos totais por função de privação	46
Figura 9– Custos da penalidade final do período por função de privação	47
Figura 10 – Custos de armazenar e de fornecimento por função de privação	48
Figura 11 – Faltas das funções dos produtos no cenário 5.	53
Figura 12 – Faltas totais das funções de privação no cenário 5	54
Figura 13 – Somatório de faltas totais, em litros, das funções de privação no cenário 5	54
Figura 14 – Tempo de atendimento médio das funções no cenário 5.	55
Figura 15 – Faltas ao final do período de acordo com cada função	56
Figura 16 – Somatório das faltas no final do período de cada função	56
Figura 17 – Somatório das faltas, em litros no final do período de cada função	57
Figura 18 – Faltas dos produtos no cenário 5 de acordo com cada função.	59
Figura 19 – Faltas totais em litros de cada função.	60
Figura 20 – Somatório de faltas de acordo com cada função.	60
Figura 21 – Tempo de atendimento médio das funções no cenário 5.	61
Figura 22 – Faltas no final do período de cada produto por função.	62

Figura 23– Somatório de faltas no final do período por função, em número de produtos.	62
Figura 24– Somatório de faltas no final do período por função, em litros.	63
Figura 25 – Custos de armazenagem e fornecimento em relação as funções.	64
Figura 26 – Resultados da Cruz Vermelha Brasileira	65
Figura 27 – Resultados da Defesa Civil-RJ	66

Lista de Tabelas

Tabela 1- Taxonomia (adaptado de Silva e Leiras, 2021)	24
Tabela 2– Resumo equações utilizadas nos estudos analisados	33
Tabela 3 – Índices, parâmetros e variáveis utilizadas no modelo	38
Tabela 4 – Relação de artigo, equação e função	42
Tabela 5 – Parâmetros dependentes dos produtos	43
Tabela 6 – Enchentes e deslizamentos no estado do Rio de Janeiro entre 1966 a 2020	50
Tabela 7 – Cenários e Probabilidades	50
Tabela 8 – Proporção, Custo de armazenagem, Volume dos produtos e Custo de fornecimento	52
Tabela 9 – Custos totais, de privação, de armazenagem, de fornecimento e penalidade final	55
Tabela 10 – Custo de armazenagem, Volume dos produtos e Custo de fornecimento	58
Tabela 11 – Custos totais, de privação e penalidade final.	61
Tabela 12– Comparativo entre os estudos de caso	67

1

Introdução

No ano de 2020, os desastres afetaram aproximadamente 98,4 milhões de pessoas e fizeram 15080 vítimas fatais, além de ocasionar cerca de 171,3 bilhões de dólares de prejuízo em todo o mundo, sem considerar a pandemia de COVID-19 (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED, 2021). Desastres podem ser definidos como “uma grave interrupção no funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo perdas e impactos humanos, materiais, econômicos ou ambientais generalizados, que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com seus próprios recursos” (United Nations International Strategy for Disaster Reduction- UNISDR, 2009).

Com isso, a Logística Humanitária (LH) vêm ganhando atenção crescente da academia, a qual pode ser caracterizada como a linha de pesquisa que investiga o processo de planejar, programar e controlar estoques de mercadorias eficientemente e com custo mitigado, além de acompanhar o fluxo de informações correlatas, do ponto de origem ao ponto de consumo, com o objetivo de atender a propósitos dos beneficentes (Thomas e Mizusjima, 2005). Apesar do interesse em pesquisas relacionadas ao contexto humanitário tenha crescido nos últimos anos, como observado através de diversas revisões sistemáticas da literatura acadêmica sobre o assunto (por exemplo, Leiras *et al.*, 2014, Behl e Dutta, 2019, Jabbour *et al.*, 2019 e Nunes e Pereira, 2021), os trabalhos relacionados a gestão de estoques de produtos essenciais ainda são escassos (Balcik *et al.*, 2016).

No âmbito da gestão de estoques humanitários, Balcik *et al.* (2016) destacam a carência de estudos referentes ao custo de ordens perdidas, que consideram não apenas o lado econômico, mas também no âmbito social - isto é, a privação de não ter determinado recurso. Além disso, sugerem como estudos futuros a incorporação de custos de privação em modelos de estoque. Durante e após a ocorrência de desastres, existem suprimentos que são essenciais para a sobrevivência humana, ou que a falta pode causar grande impacto, como por exemplo, a água. O acesso à água faz parte dos direitos universais essenciais à sobrevivência humana e à dignidade humana, e é de responsabilidade dos agentes estatais e não estatais cumpri-lo (Esfera, 2018).

Além disso, um dos gargalos da LH são os suprimentos, podendo ocorrer tanto no processo de previsão da demanda, no processo de aquisição ou na distribuição à população (Balcik *et al.*, 2008). Por esse motivo, Holguín-Veras *et al.* (2012) propuseram uma maneira inovadora de quantificar o sofrimento das pessoas afetadas por desastres, ou seja, inserir um valor para a falta de um item que é essencial em casos de desastres. Esse sofrimento, quando quantificável, é considerado como custo de privação.

Este conceito tem ganhado espaço na literatura e tem sido incluído na solução de diversos problemas. Holguín-Veras *et al.* (2013) desenvolveram diferentes abordagens para considerar o sofrimento humano e suas implicações, como a utilização de custo constante e a minimização da demanda não atendida. Uma dessas abordagens foi utilizada por Biswal *et al.* (2018) para verificar a aplicabilidade do RFID na cadeia de suprimento humanitária. Este é o único artigo considerando o custo de privação relacionado com a gestão de inventário (Shao *et al.*, 2020).

A inserção desse custo é importante, visto que ao se considerar uma distribuição de suprimentos é necessário saber a prioridade da população, ou seja, saber o quanto e/ou a quem deve ser oferecido. Shao *et al.* (2020), em seu estudo sobre o desenvolvimento das pesquisas sobre os custos de privação, concluem a necessidade de desenvolvimento de novos modelos em LH que unam o estado da arte e prática. Além disso, alertam que comumente o sofrimento humano ou indicadores de sofrimento são negligenciados e geralmente são utilizadas medidas indiretas, que dificultam a utilização na prática. Ademais, esse tema é recente, visto que o artigo mais citado em relação a ele é Holguín-Veras *et al.* (2013), ou seja, ainda não se tem uma década de trabalhos que aprofundem no tema custo de privação.

Com isso, buscando melhorar a gestão de estoques de suprimentos críticos e diminuir o sofrimento da população afetada por desastres, este estudo tem como base a seguinte pergunta de pesquisa: Considerando-se o custo de privação, *como a modelagem da privação na gestão de estoque de suprimentos de alívio influencia na entrega para a população afetada?*

Assim, o objetivo geral do presente estudo consiste em analisar os efeitos da falta de suprimentos de alívio a população afetada por desastres. A fim de alcançar o objetivo geral, o estudo é traduzido e planejado de acordo com quatro objetivos específicos:

1. Entender o estado da arte sobre custo de privação em modelos de LH, bem como avaliar aspectos principais (como parâmetros, restrições e variáveis) para realização de modelagem em gestão de estoque em LH;
2. Desenvolver um modelo matemático de otimização da gestão de estoques considerando o custo de privação;
3. Analisar as diferentes funções de custo de privação encontradas na literatura;
4. Validar os resultados obtidos por meio de dois estudos empíricos.

Para atingir o objetivo geral e objetivos específicos, primeiramente, é utilizada a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para levantamento do estado da arte. Como sugerido por Filippini (1997), a literatura é examinada com a finalidade de extrair proposições preliminares que possam ser utilizadas em estudos empíricos exploratórios.

O modelo matemático de gestão de estoques considera a incerteza em uma abordagem estocástica de dois estágios, devido à natureza de dois estágios da gestão de desastres (Mete e Zabinsky, 2010). Sendo assim, o primeiro estágio abrange decisões de preparação para desastres representadas pelas compras de suprimentos e pelo estoque inicial. A segunda etapa ocorre após o início do desastre e é representada pela distribuição dos suprimentos de alívio. A análise das diferentes funções encontradas faz-se necessária devido a discrepância entre elas. Como citado por Brito Junior *et al.* (2020), os resultados obtidos pelas funções propostas por Holguín-Veras *et al.* (2016) e Pérez-Rodríguez e Holguín-Veras (2016) possuem uma diferença de 3.528%, considerando 72 horas para o fornecimento em ambos os casos.

Em seguida, um estudo empírico é desenvolvido para validação do modelo proposto considerando a água como suprimento de alívio em dois casos reais: com a organização Cruz Vermelha Brasileira e com a Secretaria de Estado de Defesa Civil (SEDEC-RJ). Ambos os estudos são realizados somente para o Estado do Rio de Janeiro, como limitação dos dados disponíveis.

Este estudo se justifica pela importância e necessidade de um gerenciamento eficiente dos estoques para resposta a desastres. Considerando o alto número de pessoas afetadas por desastres, faz-se necessário esforços para diminuir o sofrimento dos afetados. Shao *et al.* (2020) destacam que o conceito de custo de privação oferece uma contribuição inovadora para os objetivos da Logística Humanitária, por isso o estudo de funções de privação possui relevância tanto para o meio acadêmico como para prática.

Como contribuição do estudo pode-se destacar três perspectivas. A primeira está relacionada a literatura acadêmica, onde a pesquisa contribui com resultados pertinentes sobre o tema, incluindo o estado da arte em relação as funções de custo de privação. A análise completa de todos os artigos encontrados na RSL encontra-se em Silva e Leiras (2021), neste estudo somente os artigos que abordam água são destacados, visto que é o suprimento utilizado para validação e simulação do modelo. A segunda perspectiva refere-se à elaboração de um modelo de gestão de estoque objetivando o melhor atendimento de suprimentos essenciais a vida humana. Finalmente, a terceira perspectiva contribui para resultados práticos conforme sugerido por Shao *et al.* (2020), com a aplicabilidade do modelo desenvolvido em caso real, aproximando a academia da prática.

Como limitação, pode-se destacar que a RSL considera documentos publicados em inglês. Além disso, apenas artigos revisados por pares são analisados, não incluindo a literatura cinza. A modelagem proposta é geral, ou seja, para diversos itens de alívio. Porém, para validação e simulação apenas a água é considerada como suprimento humanitário, pois é um item essencial a sobrevivência humana e é destacado por no projeto Esfera (2018) como direito universal. Também pode-se citar como limitação da pesquisa a realização da validação empírica aplicada somente ao estado do Rio de Janeiro para discussão dos resultados, o que não gera evidências suficientes para generalizar os resultados, devido as suas particularidades.

Além deste capítulo introdutório, esta dissertação está estruturada em mais cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada para realização da dissertação. O Capítulo 3 explora a base teórica da pesquisa, apresentando o estado da arte com os resultados obtidos a partir da aplicação da RSL sobre o tema. O Capítulo 4 propõe o modelo de gestão de estoques de suprimentos humanitários, suas notações e formulações. O Capítulo 5 apresenta os resultados da validação empírica do modelo. E por fim, o Capítulo 6 traz as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 Metodologia de pesquisa

Neste capítulo aborda-se os procedimentos metodológicos utilizados na dissertação, considerando dois métodos de pesquisa: RSL e modelagem e simulação. Primeiramente, a RSL aborda as funções de custo de privação e custo de demanda não atendida no âmbito da LH, com o objetivo de investigar o estado da arte acerca do tema, como também apoiar o desenvolvimento do novo modelo. Em seguida, o método de modelagem e simulação, composto por dois casos é utilizado para validar o modelo proposto.

2.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A RSL é realizada com o objetivo de responder à seguinte questão: qual é o estado da arte dos modelos de custo de privação?

Para isso, são utilizados os oito passos de Thomé *et al.* (2016), os quais são:

1. Planejamento e formulação do problema de pesquisa;
2. Pesquisa bibliográfica;
3. Coleta de dados;
4. Avaliação da qualidade;
5. Análise e síntese de dados;
6. Interpretação dos resultados;
7. Apresentação dos resultados;
8. Atualização da revisão.

No primeiro passo, para direcionar e estruturar a pesquisa, define-se o escopo da RSL. O Capítulo 1 destaca o tema do estudo, a pergunta e o objetivo da pesquisa. Considerando esta etapa, aplica-se a RSL para identificar o estado da arte sobre custo de privação e demanda não atendida, no contexto humanitário.

O segundo passo consiste na seleção das bases de dados e palavras-chave, revisão dos resumos, aplicação dos critérios de exclusão, revisão dos textos completos e da técnica bola de neve (*snowball*). Opta-se pela utilização das bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS), pois, segundo Mongeon e Paul-Hus (2016), possuem a mais ampla cobertura da literatura na área de engenharia.

A combinação de palavras-chave é escolhida para que o tópico fosse amplo o suficiente para evitar limitações e resultados indesejados. A pesquisa considera a seguinte estrutura nos títulos, resumos e palavras-chave: ("deprivation cost*" OR "unmet demand*") AND ("disaster" OR "relief" OR "humanitaria*"). A busca é realizada em 10 de junho de 2021, sem limite de data, e resultando em 85 documentos na base Scopus e 64 na WoS. A Figura 1 representa os resultados da pesquisa realizada, com base no diagrama de fluxo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (Moher *et al.*, 2015). Em seguida, o título e resumo dos artigos resultantes são analisados. Para tanto, somente artigos em inglês e da literatura acadêmica são considerados, por serem artigos de melhor qualidade por terem passado por revisão por pares (Thomé *et al.*, (2016). Assim, primeiramente, é feita a exclusão por idioma, restando somente artigos em inglês, e depois é feita a análise de acordo com os seguintes critérios de exclusão:

1. Artigos publicados em anais de conferências e capítulos de livros;
2. Artigos que não possuem discussão sobre custo de privação ou demanda não atendida;
3. Artigos fora da área de logística humanitária, por exemplo: artigos de psicologia e ética;
4. Artigos que não possuem modelos de custo de privação ou demanda não atendida.

Subsequentemente, os artigos selecionados da primeira parte, são lidos completamente, considerando os mesmos critérios de exclusão. Em seguida, a técnica de bola de neve (*snowball*) é aplicada, a qual se caracteriza por buscas para frente e para trás das citações apresentadas nos artigos selecionados. Essa técnica é essencial, pois permite um aumento na cobertura dos documentos selecionados relacionados ao tema (Jalali *et al.*, 2012). Os critérios para inclusão dessa técnica são custo da falta, demanda insatisfeita e custo de atraso.

Após a aplicação dos critérios de exclusão e do *snowball*, restam 47 (quarenta e sete) artigos, dos quais 15 (quinze) tratam de privação de água. Em seguida, é executado o terceiro passo (coleta de dados), em que foi feita a identificação e informação dos artigos selecionados na etapa anterior. Desenvolve-se um modelo de coleta de dados padrão em formato de matriz permitindo a rastreabilidade do processo (Webster e Watson, 2002 e Brocke *et al.*, 2009). Essa matriz é preenchida com o conteúdo dos dados da busca bibliográfica, como título, autores, ano de publicação, tipo de desastre, descrição dos modelos utilizados e a metodologia utilizada.

Na quarta etapa, é possível garantir a avaliação da qualidade por meio da utilização e seleção de artigos revisados por pares e indexados nas bases de dados Scopus e WoS.

O quinto e sexto passos, que consistem na análise, síntese e interpretação dos dados do estudo, são desenvolvidos de acordo com os entregáveis descritos por Torraco (2005), os quais são: análise crítica, síntese de pesquisa e agenda de pesquisa. A análise crítica é desenvolvida com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento do modelo de gestão de estoque.

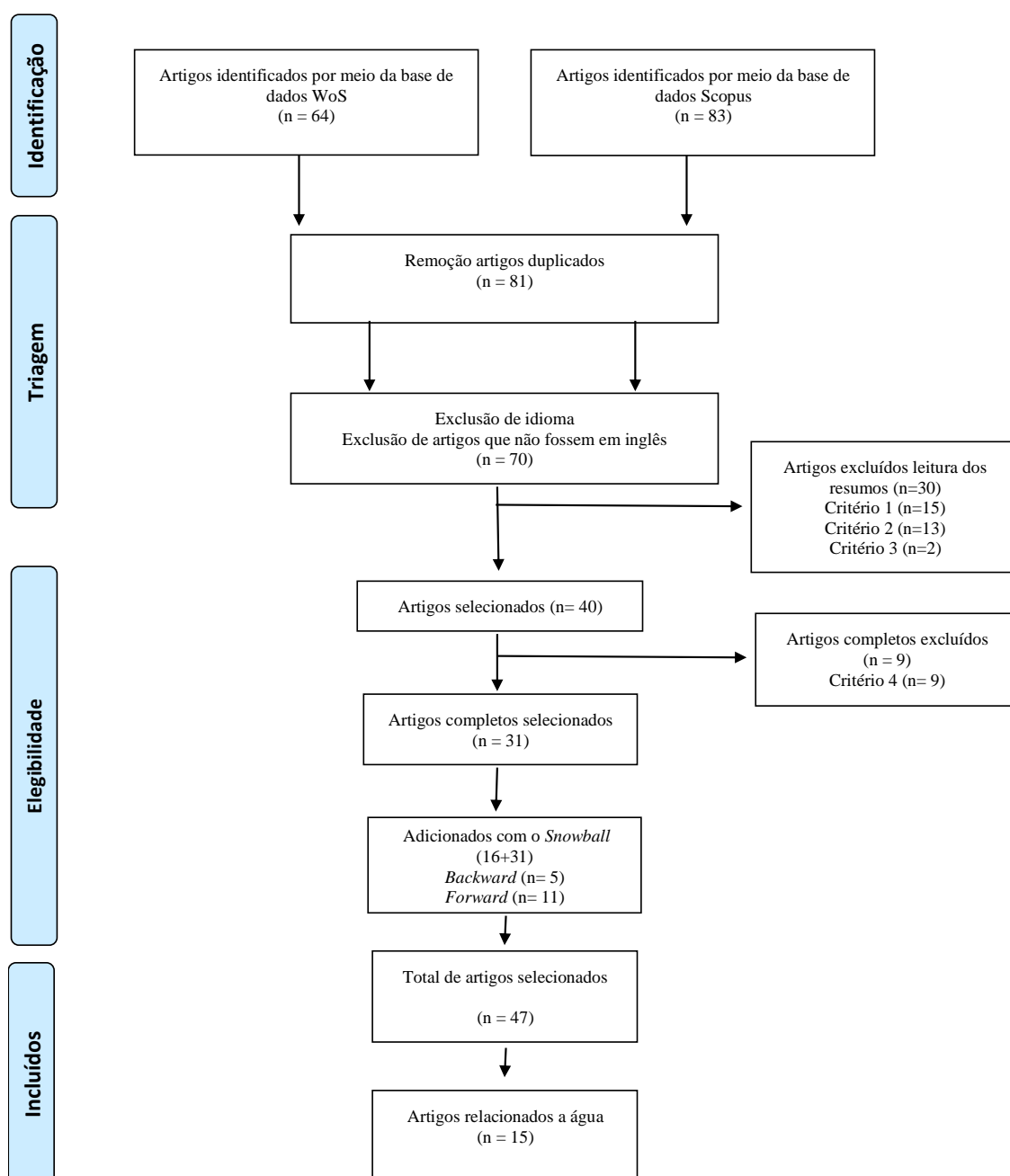


Figura 1 – Diagrama PRISMA das etapas de pesquisa da literatura (Adaptado de Silva e Leiras, 2021)

A análise crítica baseia-se na análise de cada elemento utilizado nos modelos encontrados na literatura e nas funções de custo de privação ou demanda não atendida encontradas.

A síntese é apresentada a partir de uma taxonomia (Tabela 1) dos documentos coletados que inclui os tipos de desastres, casos de estudo e modelagem utilizada. Além da elaboração do modelo proposto no Capítulo 4.

A interpretação dos resultados é desenvolvida pela discussão de um exemplo ilustrativo do modelo de gestão de estoques proposto (seção 4.3). As discussões do modelo são baseadas na validação empírica (seção 5.4) e na proposição de uma agenda de pesquisa (seção 3.3).

No Capítulo 3 encontra-se o sétimo passo, o qual é a apresentação dos resultados obtidos da RSL. O oitavo passo, que consiste na atualização da RSL, encontra-se fora do escopo deste estudo, e é sugerido como estudo futuro.

2.2

Modelagem e Simulação

O método de modelagem e simulação é utilizado para aplicação e validação do modelo proposto em duas organizações de resposta a desastres. Segundo Cauchick Miguel *et al.* (2012), a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente em questão, formular estratégias, apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões. Além disso, modelos quantitativos podem ser utilizados para analisar os resultados de diferentes ações possíveis no sistema.

Bertrand e Fransono (2002) classificam as pesquisas quantitativas em gestão de operações em dois tipos: axiomática e empírica. Para este estudo, a empírica é utilizada, pois preocupa-se tanto em testar a validade de construção dos modelos, quanto em testar a usabilidade e desempenho das soluções de problemas, visando o desenvolvimento de políticas, estratégias e ações que melhorem a situação atual.

Segundo Cauchick Miguel *et al.* (2012), as etapas do processo de modelagem são: definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação do modelo.

Na primeira etapa, definição do problema, são definidos o escopo do problema, as decisões de interesse e os objetivos envolvidos e, por fim, o modelo conceitual do problema abordado (Cauchick Miguel *et al.*, 2012). O problema em questão é analisar a gestão de estoque de suprimentos de alívio e como a

utilização do custo de privação impacta na população afetada por desastres. Com o objetivo de definir o nível de estoque de suprimento, essa análise é desenvolvida na Cruz Vermelha Brasileira, que é uma organização da sociedade civil filantrópica e sem fins lucrativos, que tem como missão atenuar e aliviar o sofrimento humano (CVB, 2021); e na Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro, que atua na prevenção e resposta a desastres (SEDEC-RJ, 2021). As informações e dados necessários são coletados por meio de um questionário online enviado às organizações (Apêndice 1), entrevistas com representantes das organizações e documentos advindos dos sítios eletrônicos da organização.

No caso da Cruz Vermelha, os respondentes e entrevistados foram 2 funcionários, sendo um coordenador nacional de logística e um coordenador financeiro. No caso da Defesa Civil, os entrevistados foram o diretor do Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil e o diretor da Escola de Defesa Civil.

Na segunda etapa, construção do modelo, as informações coletadas na primeira fase são utilizadas para desenvolver e avaliar um modelo matemático do problema, em geral, baseado em modelos matemáticos da literatura (Cauchick Miguel *et al.*, 2012). Com isso, um modelo matemático é desenvolvido para a gestão de estoque de suprimentos de alívio considerando o custo de privação, conforme apresentado no Capítulo 4 dessa dissertação. Para a solução e validação do modelo, o suprimento de alívio utilizado é água, dada sua importância, e diferentes tipos de embalagem são utilizadas.

Na terceira etapa, solução do modelo, os métodos de solução e algoritmos são utilizados para resolver o modelo da segunda fase, com a utilização de *software* e *hardware* computacionais (Cauchick Miguel *et al.*, 2012). Para essa pesquisa é utilizado o software AIMMs 3.14, utilizando o solver CPLEX 12.6, em processador Intel Core i5® CPU 2.5GHz, 8 Gb RAM, sistema operacional 64 bits, em ambiente Windows 10®. Além disso, segundo Cauchick Miguel *et al.* (2012) é comum a realização de testes para identificar possíveis erros e verificar a adequação e o desempenho da implementação do modelo. Por isso, é desenvolvido um exemplo numérico apresentado na subseção 4.3 do Capítulo 4.

Na quarta etapa, validação do modelo, é verificado se o modelo proposto representa apropriadamente o problema, ou seja, se ele representa o comportamento do sistema real (Cauchick Miguel *et al.*, 2012). Para isso, a validação empírica é realizada e é apresentada no Capítulo 5, com os dados das organizações já apresentadas. Além disso, considera-se diferentes cenários para verificar a validade do modelo em situações estressantes, no caso desastres severos.

A última etapa, é a implementação da solução na prática da organização, traduzindo os resultados do modelo em conclusões ou decisões. Neste estudo os resultados são discutidos na subseção 5.4 do Capítulo 5.

3

Estado da arte sobre modelos de gestão de estoque de água

Este capítulo consiste na apresentação dos resultados da RSL e está dividido em três seções. A primeira aborda uma análise descritiva dos artigos selecionados, a segunda apresenta uma análise do conteúdo dos documentos e por fim, a terceira aborda os gaps e sugestões de pesquisas futuras encontradas na literatura. A partir da investigação dos resultados obtidos, um modelo para gestão de estoques considerando custos de privação é proposto. Silva e Leiras (2021) apresentam uma descrição detalhada dos resultados obtidos pela RSL. Nesse capítulo, a discussão é focada nos modelos encontrados para água, devido a relevância deste suprimento para a sobrevivência humana e pelo maior número de artigos publicados.

3.1

Análise descritiva da RSL

No contexto da logística humanitária, os quinze artigos selecionados foram publicados no período de 2013 a 2020. Conforme destacado por Shao *et al.* (2020), a logística humanitária como parte da gestão de operações humanitárias está crescendo e ganhando mais atenção. A Figura 2 mostra a distribuição das publicações ao longo do tempo.

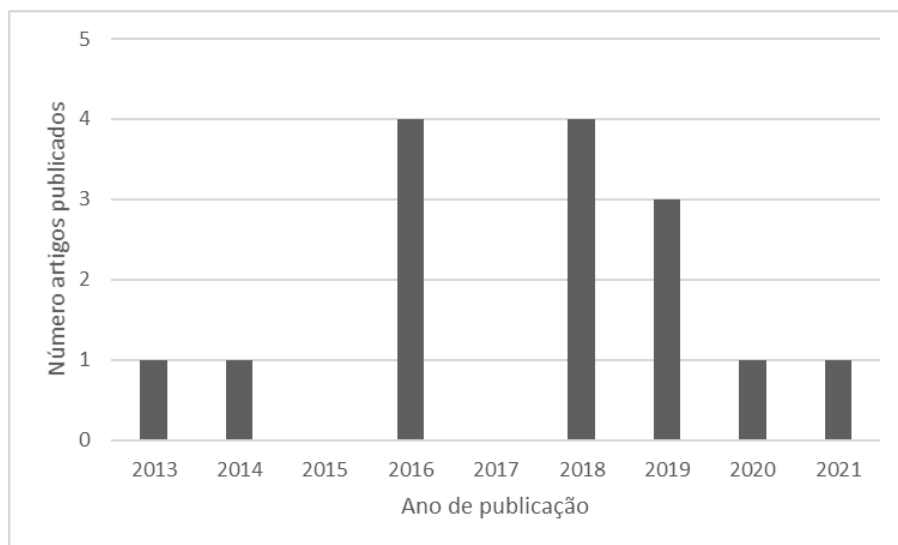


Figura 2 – Número de artigos publicados por ano

Artigo	Ano	Tipos de Desastres	Caso de Estudo	Modelagem Abordada	Suprimento/Serviço	Fase do Desastre	Demanda não atendida ou Custo de Privação	Estrutura de Modelo Utilizada
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	2013	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação é uma função do tempo de privação	Água	Resposta e Recuperação	Custo de Privação	Sugerem a utilização dos custos de sociais na função objetivo
Kelle <i>et al.</i> (2014)	2014	Furacão	Costa do Golfo da Louisiana, EUA	O custo de privação é uma penalidade de escassez constante	Água, comida enlatada, cabana, lona e geradores	Preparação e resposta	Custo de Privação	Modelo de otimização de dois estágios estocástico
Diedrich <i>et al.</i> (2016)	2016	Geral/Furacão	Experimentos Numéricos / costa sudeste dos EUA	O Custo de Privação é modelado como uma função de probabilidade de morte em uma determinada etapa de tempo em um processo semelhante à construção de uma tábua de vida atuarial. A probabilidade de morte por privação de uma mercadoria de cada vez segue uma função sigmóide	Produtos de alta prioridade: água, alimentos / produtos de baixa prioridade: suprimentos médicos, abrigo, cobertores	Resposta	Custo de Privação	Modelo matemático discreto de dinâmica de sistemas para medir o desempenho de um objeto de resposta a desastres com variáveis restritas no físico e na comunicação
Serrato-Garcia <i>et al.</i> (2016)	2016	Inundação	Acambay de Ruiz Castañeda, Mexico	O custo de privação é uma função linear do tempo de privação	Alimentos e bebidas, água e saneamento, remédios e suprimentos médicos, abrigo e necessidades pessoais	Resposta	Custo de Privação	Modelo de Otimização multiobjetivo
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	2016	Inundação	Colômbia Região do Caribe	As funções de custo de privação são funções não lineares do tempo de privação	Água	Resposta	Custo de Privação	Processo de estimativa para Funções de Custo de Privação usando Avaliação Contingente Modelo estocástico de dois estágios com cinco cenários diferentes e incerteza na demanda
Cavdur <i>et al.</i> (2016)	2016	Terremoto	Bursa, Turquia	Custo (penalidade) de cada unidade de demanda não atendida multiplicada pela demanda não atendida de mercadoria	Água, comida e kit médico	Resposta	Demanda não atendida	

Artiç	Ano	Tipos de Desastres	Caso de Estudo	Modelagem Abordada	Suprimento/Serviço	Fase do Desastre	Demanda não atendida ou Custo de Privação	Estrutura de Modelo Utilizada
Moren <i>et al.</i> (2018)	2018	Inundação	Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, Brasil	As duas funções de custo de privação propostas dependem da prioridade das mercadorias. A função depende do tempo de privação, do número de pessoas afetadas e do custo máximo de privação por pessoa por mercadoria	Alimentos, kits de higiene doméstica, kits de higiene pessoal, kits médicos e água	Preparação e resposta	Custo de Privação	Modelo estocástico de dois estágios, utilização de diferentes cenários e incerteza na demanda, fornecimento de suprimentos e disponibilidade de rotas
Yu <i>et al.</i> (2018)	2018	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação cresce exponencialmente com o tempo de privação. Propõe uma variante dos custos de privação, o custo de privação baseado no estado inicial (SSDC)	Água	Resposta	Custo de Privação	Modelo de programação dinâmica inteira não linear
Grall-Goen (2018)	2018	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação é uma função que aumenta não linearmente conforme o tempo de privação aumenta	Abrigo, saúde, água e saneamento, comida	Resposta	Custo de Privação	Algoritmos Heurísticos
Macea <i>et al.</i> (2018)	2018	Inundação e deslizamento de terra	Região do Caribe, Colômbia	Utilizaram o experimento escolha declara para obtenção dos custos de privação em relação ao tempo da privação	Água	Resposta	Custo de Privação	Metodologia para quantificar os impactos econômicos da distribuição de socorro com base em modelos de escolha discreta
Cantillo <i>et al.</i> (2019)	2019	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação é modelado como uma função genérica que depende apenas do tempo de privação	Água	Preparação, resposta, reabilitação	Custo de Privação	Modelo de avaliação de vulnerabilidade de rede de transporte

Artigo	Ano	Tipos de Desastres	Caso de Estudo	Modelagem Abordada	Suprimento/Serviço	Fase do Desastre	Demanda não atendida ou Custo de Privação	Estrutura de Modelo Utilizada
Yu <i>et al.</i> (2019)	2019	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação é representado pelo custo de privação com base no estado (SSDC) - o custo de privação cumulativo com base no estado inicial de cada estágio. A função de privação é uma função exponencial.	Água	Resposta (Primeiros 3 dias)	Custo de Privação	Primeiro um modelo inteiro não linear é proposto, depois um modelo de programação dinâmica e por fim, um algoritmo de programação dinâmica aproximado.
Hu e Donnell (2019)	2019	Furacão	Sudeste dos Estados Unidos	A privação é um custo de penalidade que aumenta cada vez que o intervalo de tempo de espera aumenta	Água	Preparação e resposta	Custo de Privação	Modelo de programação estocástica de dois estágios para produzir planos, incluindo localização e estoque das instalações, seleção de fornecedores e distribuição de suprimentos de alívio
Wang <i>et al.</i> (2020)	2020	Furacão	Região de estudo hipotética	A função de custo de privação é estimada de acordo com a gravidade FEMA, dividindo cada nível em quatro subfunções de acordo com o tempo de privação. A função é convexa não linear, monotonicamente crescente em relação ao tempo de privação	Água	Preparação	Custo de Privação	Primeiro um modelo de estágio único é proposto, e depois um modelo de otimização robusto de dois estágios
Zhang e Cui (2021)	2021	Furacão	Área da Costa do Golfo, EUA	Consideram três formas de função de custo de privação: crescimento exponencial com efeito histerético linear, crescimento exponencial apenas e nenhum efeito histerético e crescimento quadrático com efeito histerético linear	Água	Preparação e resposta	Custo de Privação	Programa estocástico baseado em cenários que integra as decisões de realocar as instalações, as quantidades de suprimentos de emergência e as alocações de serviços

De acordo com a Tabela 1, considerando as fases do ciclo de vida do desastre (mitigação, preparação, resposta e recuperação, percebe-se que a fase de resposta é a mais abordada (14 artigos), a segunda fase mais estudada é a preparação (6 artigos), em terceiro a fase de recuperação (2 artigos) e por último mitigação, que não tem nenhum artigo publicado. Sobre os desastres mais abordados, 6 publicações não abordam um tipo específico, mas quando especificado, os furacões e inundações são os mais abordados (5 artigos). Em relação aos países que mais publicam, o maior número de aplicação dos artigos é dos Estados Unidos (EUA), com 4 artigos publicados. Alguns artigos são multiprodutos (6 artigos), ou seja, não tratam somente da água.

Da Tabela 1 infere-se também a utilização na maioria dos casos de modelagem estocástica e de dois estágios (Kelle *et al.*, 2014; Cavdur *et al.*, 2016; Moreno *et al.*, 2018; Hu e Dong, 2019; Wang *et al.*, 2020; Zhang e Cui, 2021).

Como abordado no artigo Silva e Leiras (2021), a água é o suprimento mais estudado na literatura com 15 artigos dos 47 encontrados, seguido por alimentos. Por isso, a modelagem desenvolvida é abrangente a todos os suprimentos e a solução e validação do modelo tem foco na gestão de estoque de água em desastres. O mesmo critério foi utilizado para somente detalhar as funções encontradas que tenham como objetivo a água.

3.2

Análise de conteúdo da RSL

Para alcançar o objetivo principal dessa dissertação, que é analisar os efeitos da falta de suprimentos de alívio a população afetada por desastres, faz-se necessário destacar os modelos selecionados na RSL.

A Tabela 1, adaptado de Silva e Leiras (2021), apresenta a taxonomia proposta. Como identificado no Tabela 1, apesar da introdução do custo de privação na literatura, um artigo (Cadvur *et al.*, 2016) continua utilizando a demanda não atendida como função, visto que é a função mais simples e tem recebido críticas dos editores. Embora o objetivo seja o mesmo (ou seja, minimizar o sofrimento humano), entre os artigos selecionados, a maioria deles explora o custo de privação quando comparado a demanda não atendida (em quatorze dos quinze artigos). Todas as funções de privação que são apresentadas têm como unidade o capital (\$), visto que se trata de um custo.

O primeiro artigo que modela a função de privação foi Holguín-Veras *et al.* (2013), em que foi proposto uma função para estimar o custo de sofrimento

humano de acordo com o tempo de privação. A função original proposta é apresentada na Equação 1:

$$\text{custo de privação} = e^{(1,5031+0,1172\text{tempo de privação})} - e^{1,5031} \quad (1)$$

Em seguida, eles consideram duas equações com aproximação linear, de dois (Equação 2) e três segmentos (Equação 3), para minimizar o erro obtido pela equação exponencial proposta. Os coeficientes das funções são baseados em dados coletados sobre a disposição de pagamento pela água de acordo com o tempo que a pessoa está sem ela. O tempo de privação considerado é em horas e o custo de privação é em dólar (\$).

$$\text{custo de privação} = \begin{cases} 2393,9(\text{tempo de privação}) & \text{se } 0 < \text{tempo de privação} \leq 105 \\ 333642(\text{tempo de privação} - 105) + 251359,5 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

custo de privação

$$= \begin{cases} 341,32(\text{tempo de privação}) & \text{se } 0 < \text{tempo de privação} \leq 85 \\ 39031(\text{tempo de privação} - 85) + 29012,2 & \text{se } 85 < \text{tempo de privação} \leq 105 \\ 282109(\text{tempo de privação} - 105) + 809632,2 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Utilizando como base a função proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013), Kelle *et al.* (2014) utilizaram um custo constante de demanda não atendida. No entanto, enquanto Holguín-Veras *et al.* (2013) abordam o pós desastre, Kelle *et al.* (2014) tem como objetivo dar suporte a decisão de pré-posicionamento de suprimentos de alívio e otimizar a resposta de suprimentos e evacuação em desastres. Os autores não apresentam claramente o valor da penalidade utilizada.

Diedrichs *et al.* (2016) empregam a função proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013) para estimar o número de mortes devido a privação da água. A probabilidade de morte pela privação segue uma função sigmoide.

Yu *et al.* (2018) utilizam a formulação proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013) como um indicador de desempenho. Para tanto, incluem o estado inicial da área atingida pelo desastre em cada estágio, ou seja, a função torna-se dependente da área afetada pelo desastre, com o objetivo de melhorar sua eficácia de quantos períodos uma determinada área ficou sem abastecimento. Do mesmo modo, Yu *et al.* (2019) também utilizam o estado inicial da área em sua função de custo de privação. A seguir, a função utilizada tanto por Yu *et al.* (2018) e Yu *et al.* (2019) é apresentada na Equação 4, o custo de privação é expresso em dólar (\$):

$$\text{custo de privação} = (e^{b \cdot L} - 1) \times e^{a+bLS_{i,t}} \quad (4)$$

Onde:

a e b: parâmetros de privação

L: divisão em horas de cada período

$S_{i,t}$: Estado da área afetada i no tempo t

Moreno *et al.* (2018) também tomam a função proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013) como base, porém dividem a função de privação de acordo com a prioridade das *comodities* (alta ou baixa prioridade). Além disso, multiplicaram a função pelo número de pessoas afetadas pela falta das *comodities* e pelo custo máximo de privação por pessoa para determinadas *comodities*. Ademais, incluem um novo parâmetro, que é o número de períodos a partir dos quais a demanda não atendida atinge a penalidade máxima. Esse parâmetro substitui o tempo de privação na formulação inicial de Holguín-Veras *et al.* (2013) e entra no divisor da nova função proposta. A função proposta por Moreno *et al.* (2018) é apresentada nas Equações 5 e 6, a primeira é referente aos itens de maior prioridade e a segunda para menor prioridade.

$$g_w^{HP}(\delta) = NP_w \cdot CM_w \cdot \frac{e^{1,5031+0,1172\delta} - e^{1,5031}}{e^{1,5031+0,1172 \cdot |\Delta w|} - e^{1,5031}} \quad (5)$$

$$g_w^{LP}(\delta) = NP_w \cdot CM_w \cdot \frac{e^{0,065\delta} - 1}{e^{0,065 \cdot |\Delta w|} - 1} \quad (6)$$

Onde:

g_w : função de custo de privação (real- BRL)

NP_w : número de pessoas afetadas pela falta do item w

CM_w : máximo custo de privação por pessoa do item w (real- BRL)

$|\Delta w|$: número de períodos que a demanda não atendida possui maior penalidade

δ : tempo de privação em horas

De forma distinta, Gralla e Goentzel (2018) utilizam a formulação de Holguín-Veras *et al.* (2013) apresentada na Equação (1) com o objetivo de medir o desempenho dos processos planejados de resposta a desastres na logística humanitária.

Holguín-Veras *et al.* (2016) utilizam parâmetros similares de tempo de privação ao utilizado por Holguín-Veras *et al.* (2013), em uma nova formulação que considera o valor da vida (*Value of Life*). Primeiro estimam uma função de privação considerando o tempo de privação, idade e gênero, gerando três funções de acordo com os valores de vida. Após isso, propõem uma nova função que considera o preço de mercado, para isso foi utilizado o mínimo quadrado ordinário e as seguintes variáveis são utilizadas para estimar as funções custo de privação: tempo de privação, idade e gênero. No caso em particular da água, eles comparam a estimativa da função do custo de privação com o valor de mercado de uma garrafinha d'água, ponderando a necessidade diária de um indivíduo. As três funções são apresentadas nas Equações 7 a 9, o tempo de privação utilizado é em horas, e o custo é em dólar (\$):

Para o valor da vida = \$200.000

$$\text{custo de privação 1} = 0,2869e^{0,0998\text{tempo de privação}} \quad (7)$$

Para o valor da vida = \$1.000.000

$$\text{custo de privação 2} = 0,2354e^{0,1129\text{tempo de privação}} \quad (8)$$

Para o valor da vida = \$5.000.000

$$\text{custo de privação 3} = 0,1932e^{0,1259\text{tempo de privação}} \quad (9)$$

Baseado em Holguín-Veras *et al.* (2013), Zhang e Cui (2021) propõem três funções distintas de funções de privação, todas considerando o tempo de transporte para entrega para a otimização de pré-posicionamento de suprimentos em desastres. A primeira, é a considerando que a função possui crescimento exponencial e sem o efeito histerético (Equação 10). Depois, crescimento exponencial considerando o efeito histerético linear (Equação 11), ou seja, considerando que o sofrimento das vítimas após a entrega do suprimento diminui linearmente. E, por fim, crescimento quadrático com efeito histerético linear (Equação 12), ou seja, o custo de privação se acumula a cada ciclo com uma forma quadrática crescente e diminui linearmente. Os autores concluem que as diferentes formas de funções não têm impacto significativo nas soluções ótimas finais, mesmo alterando o método de medição das perdas das vidas.

$$\text{Custo total de privação} = P_j e^{b_j^{ks}} \left(\frac{e^{a_j^{ks} t_{ij}} - 1 - a_j^{ks} t_{ij}^*}{a_j^{ks}} \right) \quad (10)$$

$$\text{Custo total de privação} = P_j \left(\int_0^{t_{ij}} (e^{a_j^{ks}t + b_j^{ks}} - e^{b_j^{ks}}) dt + (e^{a_j^{ks}t + b_j^{ks}} - e^{b_j^{ks}}) \frac{12d_j^{ks}}{\theta_{ij}^{ks}p^k} \right) \quad (11)$$

$$\text{Custo total de privação} = \frac{1}{3} P_j h_j^{ks} t_{ij}^3 + \frac{12d_j^{ks}}{\theta_{ij}^{ks}p^k} h_j^{ks} t_{ij}^2 \quad (12)$$

Onde:

P_j : número estimado de vítimas no ponto j .

a_j^{ks} e b_j^{ks} : são os coeficientes da curva de acumulação de custo de privação do grupo vítima j para o produto k no cenário s .

t_{ij} : tempo de viagem do centro de armazenamento i para ponto de demanda j .

t_{ij}^* : duração tomada em cada fase de aumento de perda que inclui o tempo de viagem do veículo, tempo de carregamento de suprimentos e intervalos de entrega

d_j^{ks} : demanda de acordo com o ponto j , do produto k no cenário s .

θ_{ij}^{ks} : frequência de entrega do produto k do centro de armazenamento i para o ponto de demanda j no cenário s .

p^k : taxa de consumo do produto k .

h_j^{ks} : coeficiente da curva de acumulação de custo de privação do grupo vítima j para o produto k no cenário s .

Wang *et al.* (2020) propõem uma nova formulação utilizando os níveis de severidade de desastres da Agência Federal de Gestão de Emergências dos Estados Unidos (FEMA). Assim, as funções são divididas em três níveis, no qual o primeiro nível engloba a água. Para os coeficientes foram utilizados os custos iniciais de privação de cada intervalo, esse valor foi obtido com o auxílio de especialistas. A função que engloba a água é apresentada na Equação 13, proposta em Wang *et al.* (2020), e seu valor é em dólar (\$):

custo de privação

$$= \begin{cases} 4\text{tempo de privação} & \text{se } 1 \leq \text{tempo de privação} \leq 119 \text{ minutos} \\ 484 + 438(\text{tempo de privação} - 120) & \text{se } 120 \leq \text{tempo de privação} \leq 239 \text{ minutos} \\ 53051 + 49558(\text{tempo de privação} - 240) & \text{se } 240 \leq \text{tempo de privação} \leq 359 \text{ minutos} \\ 6000000 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

Macea *et al.* (2018) propõem três funções utilizando a escolha declarada, em que um grupo de pessoas escolhe o que faria em caso de desastre, uma função linear, uma exponencial e uma utilizando Box-Cox, com o intuito de quantificar os impactos econômicos na distribuição de água. Porém, as funções de custo de privação não são apresentadas. Cantillo *et al.* (2019) utilizam uma das funções de privação propostas, e apresentam essa função escolhida para elaborar um modelo de uma análise econômica que utiliza os custos logísticos das operações humanitárias de distribuição e os efeitos externos gerados devido ao atraso no fornecimento de suprimentos básicos, como água e alimentos. Para obter os coeficientes da função foram utilizados dados coletados de disposição de pagar para ter acesso a água em caso de desastres. A função utilizada por Macea *et al.* (2018) e Cantillo *et al.* (2019) é apresentada na Equação 14:

$$\text{custo de privação} = 0,0216255t^2 + 0,052425t + 0,8272 \quad (14)$$

Onde t é o tempo de privação, medido em horas, e o custo de privação em dólar (\$).

Serrato-Garcia *et al.* (2016) propõem um sistema de informação de resposta a desastres, utilizando uma otimização multiobjetivo em que a primeira função objetivo visa minimizar o custo total da operação, incluindo o custo de privação, o qual é calculado de acordo com a demanda não atendida multiplicado por um custo constante. A segunda função visa minimizar a privação devido ao não atendimento da demanda no tempo previsto. Esse artigo abrange diversos itens de alívio e dentre eles a água.

De maneira semelhante, Hu e Dong (2019) utilizam uma penalidade de demanda não satisfeita, incluem esse valor na função objetivo, visando minimizar o custo total esperado, abrangendo custos fixos de estabelecer uma facilidade, custo de aquisição, custo de transporte e custo retidos. A função utilizada é a penalidade de cada unidade não atendida nos pontos de demanda multiplicado pela demanda não satisfeita em cada localidade.

Entre os artigos de demanda não atendida, Cavdur *et al.* (2016) também utilizam a demanda não atendida multiplicada por um custo constante como penalidade, aplicam incerteza a demanda de acordo com cinco cenários distintos. Além da água, exploram alimentos e kits de medicamentos.

Na Tabela 2 encontra-se um resumo das equações apresentadas anteriormente.

Tabela 2– Resumo equações utilizadas nos estudos analisados

Artigo	Equação
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2013)	(1),(2) e (3)
Diedrichs <i>et al.</i> (2016)	
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	(7), (8) e (9)
Moreno <i>et al.</i> (2018)	(5) e (6)
Yu <i>et al.</i> (2018)	(4)
Yu <i>et al.</i> (2019)	
Gralla e Goentzel (2018)	(1)
Macea <i>et al.</i> (2018)	(14)
Cantillo <i>et al.</i> (2019)	
Wang <i>et al.</i> (2020)	(13)
Zhang e Cui (2021)	(10), (11) e (12)
Kelle <i>et al.</i> (2014)	Custo constante
Cavdur <i>et al.</i> (2016)	
Serrato-Garcia <i>et al.</i> (2016)	
Hu e Dong (2019)	

3.3

Gaps e Estudos Futuros

De acordo com Silva e Leiras (2021), em que todos os artigos encontrados na RSL são analisados, estudos com aplicações práticas são necessários para investigar se a modelagem de custos de privação descreve a realidade e se é possível generalizar a modelagem. Além disso, as fases de recuperação e mitigação são menos estudadas. Outro gap é o tipo de desastre, nenhum estudo em desastres de origem humana é encontrado.

Analisando os gaps e estudos futuros propostos somente dos 15 artigos relacionados a água, é possível perceber que ainda existe muito a ser explorado no tema. Holguín -Veras *et al.* (2013) destacam a necessidade de pesquisas sobre como estimar empiricamente as funções de custo de privação. Kelle *et al.* (2014) sugerem como estudo futuro a aplicação de funções não lineares de custo de privação, como proposto por Holguín-Veras *et al.* (2013), visto que utilizam o custo constante de demanda não atendida. Destacam também o desafio de conseguir dados de suprimentos em desastres. De forma semelhante, Serrato-Garcia *et al.* (2016) sugerem como estudo futuro a utilização de funções de custo de privação não lineares ao longo do tempo, e destacam a necessidade de estudos utilizando tecnologia móvel para auxiliar na captação de informação de desastres. Diedrichs *et al.* (2016) indicam a implementação de uma interface móvel amigável para permitir aos tomadores de decisão um melhor suporte aos desastres. Além disso, sugerem a extensão do modelo proposto por eles para outros suprimentos e fases

dos desastres. Da mesma forma, Moreno *et al.* (2018) aconselham a utilização das ferramentas matemáticas em conjunto com sistemas de informação para obtenção de melhores resultados. Além disso, refletem sobre modelar os custos de privação com base na gravidade da vítima, penalizando com um custo de privação mais alto as faltas associadas a piores níveis de gravidade.

Cavdur *et al.* (2016) sugerem como estudo futuro a inclusão do risco de perder uma instalação, usar uma distribuição de probabilidade no modelo estocástico e aumentar o tamanho da rede, incluindo mais distritos e vizinhos. Yu *et al.* (2018) propõem alterar a capacidade do local de resposta, pois foi usado somente o valor de uma unidade. Sugerem também que a expressão da função de custo privação precisa ser caracterizada por meio de alguns estudos empíricos, e, por fim, a inclusão da incerteza de suprimentos e demanda. Propostas semelhantes são feitas em Yu *et al.* (2019), que indicam a inclusão do tempo de espera como variável ou estocástico, visto que o tempo é determinístico, e considerar a demanda como incerta, já que a demanda considerada foi de uma unidade.

Holguín-Veras *et al.* (2016) destacam a necessidade de considerar os aspectos filosóficos e éticos, e não somente utilizar as funções de custo de privação. Além disso, não descartam a utilização de técnicas mais precisas para acessar a condição da população afetada, visto que a utilização de modelos de custo social tem como intenção o suporte a rápida decisão nos primeiros estágios da resposta.

Macea *et al.* (2018) citam como uma limitação do modelo proposto o reconhecimento do sofrimento pelas pessoas que nunca passaram por nenhuma situação de desastre anteriormente.

Zhang e Cui (2021) sugerem a tentativa de adicionar uma estrutura não linear superior no cálculo do custo de privação com base nas formulações exponenciais ou quadráticas apresentadas, o que tornará o modelo mais desafiador.

Assim, é possível perceber que existem muitos gaps em relação as funções de custos de privação, tanto nos modelos já desenvolvidos como em sugestões de modelos a serem desenvolvidos. A principal sugestão para desenvolvimento de funções é a utilização de dados empíricos para validar a utilização das funções, que são desenvolvidas no meio acadêmico, porém não é verificada a utilidade na prática em desastres. Além disso, deve-se considerar aspectos filosóficos e éticos ao desenvolver novas funções e modelos. Por fim, muitas funções já foram desenvolvidas, então esforços devem ser feitos para melhoria destas funções, a

fim de obter mais usabilidade das mesmas, possibilitando, futuramente, uma possível padronização das funções a serem utilizadas.

4

Modelo de Gestão de Estoque com custos de privação

Segundo Falasca e Zobel (2011), modelos matemáticos são uma das ferramentas mais populares no apoio a tomadores de decisão em operações humanitárias. As etapas do processo de modelagem são: definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação da solução (Cauchick Miguel *et al.*, 2012). Essas etapas são apresentadas nas seções seguintes.

4.1

Definição do problema

Com o intuito de generalizar os modelos, como proposto por Silva e Leiras (2021), e investigar se a modelagem de custos de privação segue a realidade, um modelo de gestão de estoque considerando os custos logísticos e o custo de privação é desenvolvido. O modelo propõe a determinação da quantidade de suprimentos de alívio a ser comprado e estocado no atendimento às vítimas de desastres. Ademais, Yu *et al.* (2018) sugerem a inclusão da incerteza de suprimentos e demanda. Segundo Holguín-Veras *et al.* (2013), o custo de privação deve ser inserido na função objetivo, assim, a função objetivo minimiza o custo total de atendimento composto pelos custos de fornecimento, armazenagem e privação. O objetivo do modelo é definir o nível de estoque de suprimentos de alívio.

Baseado em Condeixa *et al.* (2017), a modelagem considera um limite orçamentário de compra, consoante com o valor de mercado dos produtos, e um valor de estoque inicial, que também pode ser nulo caso não tenha o item em estoque. Além disso, considera-se um custo de armazenagem por produto, de acordo com o espaço utilizado, e uma capacidade de armazenagem, que é medida pelo volume do armazém disponível, conforme o volume de cada produto.

O modelo utilizado é dois estágios visto que, como apresentado na seção anterior, é o modelo mais utilizado na literatura, em Grass e Fischer (2016) é possível encontrar uma revisão da literatura sobre a utilização desses modelos no gerenciamento de desastres. Além disso, a incerteza é abordada de diversas

maneiras em modelos de programação matemática (por exemplo em Dantzig e Infanger, 1995; e Birge e Louveaux, 2011), entre elas encontra-se a programação estocástica de dois estágios, que, segundo Barbarosoglu e Arda (2004), é a mais difundida, pois lida com a incerteza em qualquer um dos parâmetros do modelo. Os modelos de dois estágios têm sido cada vez mais utilizados no contexto de operações humanitárias (Hoyos *et al.*, 2015; Grass e Fischer 2016). A modelagem de dois estágios é adotada neste trabalho, pois trata-se de um modelo de gestão de estoques de suprimentos humanitários, cujo objetivo é ter os itens necessários previamente armazenados para atender a população afetada pelo desastre. Nesse modelo, as decisões são divididas em primeiro estágio, que são as decididas antes do desastre ocorrer e em segundo estágio, que são as decisões implementadas após a ocorrência do desastre. Geralmente, as variáveis do primeiro estágio são ligadas as questões relacionadas a planejamento e decisões estratégicas, no caso do modelo proposto são as compras dos suprimentos. Enquanto, as de segundo estágio são associadas as decisões táticas e operacionais, que nesse estudo é a estocagem ou não dos suprimentos, de forma a melhor atender a população afetada pelos desastres (Leiras *et al.*, 2013; Ribas *et al.*, 2012).

A programação matemática estocástica possui a capacidade de lidar com a incerteza por meio de cenários probabilísticos que traduzem desastres e seus resultados, tornando-se assim, uma ferramenta essencial para o planejamento. Além disso, as decisões do primeiro estágio devem estar relacionadas aos custos associados para todos os cenários considerados, dessa forma espera-se otimizar o custo das decisões do segundo estágio (Birge e Louveaux, 2011). De acordo com Sen e Higle (1999), os cenários representam cada evento que pode ocorrer conforme o problema abordado, como também, a probabilidade de ocorrência deles. Segundo Birge e Louveaux (2011), o conjunto de cenários S , onde s ($s \in S$) representa as incertezas e determina uma possível realização de um cenário a partir de um espaço amostral finito e modelado consoante com uma árvore de cenários. Dessa forma, um cenário é representado pelo caminho da raiz até a folha. A probabilidade que o s -th cenário ocorra é representada por P^s ($P^s \geq 0$, $\sum_{s=1}^{|\Omega|} P^s = 1$). Assim, a incerteza é utilizada por meio de cenários, que é uma característica dos modelos estocásticos. Cada cenário significa um desastre, e sua probabilidade de ocorrência. A incerteza é considerada na demanda pelos suprimentos e na doação de suprimentos, assim, esses parâmetros possuem uma variação de acordo com o desastre, por exemplo, em desastres mais graves a

demanda por suprimentos é maior, visto que mais pessoas são afetadas, por outro lado, as doações também são maiores, devido a atenção dada a essas operações.

Por fim, a função de custo de privação é inserida, com o intuito de penalizar as demandas não atendidas de acordo com o tempo de privação. Para isso, é utilizado o *backordering*, isto significa, que a demanda não atendida no período atual pode ser atendida nos períodos seguintes, porém existe um custo de acordo com o número de períodos sem atendimento, e caso ultrapasse do tempo máximo estipulado de espera, utiliza-se o custo de perda da vida, que é o custo em que o indivíduo vem a óbito, para água esse valor é após cinco dias de privação, apesar da vida não ter preço para efeitos de modelagem é definido um valor suficiente, com o intuito de não ocorrer o atendimento somente em caso de restrição de recursos. O valor utilizado é o definido em Holguín-Veras *et al.* (2013) de cinco milhões de dólares.

Para a análise do modelo, todas as formulações de custo de privação encontradas na RSL são consideradas.

4.2 Construção do modelo

A formulação do modelo é baseada em Brown e Dell (2007), dessa forma, os nomes de variáveis são apresentados em letras maiúsculas e os parâmetros, dados e índices em letra minúscula.

4.2.1 Nomenclatura

Desse modo, a Tabela 3 apresenta os parâmetros, variáveis e índices usados da modelagem.

Tabela 3 – Índices, parâmetros e variáveis utilizadas no modelo

Conjuntos	
$t \in T$	Tempo
$tt \in T$	Auxiliar de t , o tempo em que ocorreu a falta
$i \in I$	Produto
$s \in S$	Cenário
Parâmetros determinísticos (unidade)	
c_i	Custo de armazenar o produto i (\$)
v_i	Volume de do produto i (m ³)

$fdc_{i,t}$	Função do custo de privação no tempo t de acordo com o produto i (\$)
cm	Capacidade máxima de estoque (m^3)
lim	Limite orçamentário de compra (\$)
M	Número grande auxiliar (adimensional)
ce_i	Custo de fornecimento de cada produto i (\$)
es_i	Estoque inicial de cada produto i (unidades de produto)

Parâmetros dependentes do cenário (unidade)

$prob_s$	Probabilidade de ocorrência do cenário s
$d_{i,t,s}$	Demanda de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$do_{i,t,s}$	Doação de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)

Variáveis de Primeiro estágio

$Z_{i,t}$	Quantidade comprada de cada produto i no tempo t (unidades de produto)
-----------	--

Variáveis de Segundo estágio

$Y_{i,t,s}$	Quantidade armazenada de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$F_{i,t,tt,s}$	Quantidade que faltou do produto i no tempo tt e não atendida no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$B_{i,t,tt,s}$	Quantidade produto i no cenário s que faltou no tempo tt e foi atendida no tempo t (unidades de produto)
$K_{i,t,s}$	Quantidade não utilizada (sobra) do produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$X_{i,t,s}$	Variável binária para auxiliar no fluxo de produto, de acordo com o produto i , tempo t e cenário s (binária-adimensional)

4.2.2 Modelagem Matemática

A função objetivo (15) minimiza os custos, expressa o custo de fornecimento somado com a função de segundo estágio.

$$\text{Min } \{\sum_{i,t} ce_i Z_{i,t} + Q(Z,s)\} \quad (15)$$

A segunda parte da função objetivo (16) minimiza a soma do custo de armazenagem que é decorrente do somatório de todos os produtos armazenados em todos os períodos, do custo de privação das demandas não atendidas e do custo que penaliza as faltas não atendidas no final do período estipulado (Moreno *et al.*, 2018), onde $|T|$ significa o último período do horizonte de planejamento, ou seja, o tempo final será subtraído do tempo em que ocorreu a falta.

$$Q(Z, s) = \sum_{i,t,s} prob_s c_i Y_{i,t,s} + \sum_{i,s,t,tt} prob_s fdc_{i,t-tt} B_{i,tt,t,s} + \sum_{i,tt,s} prob_s F_{|T|,tt,s,i} fdc_{i,|T|-tt} \quad (16)$$

Sujeito a:

A restrição (17) limita a disponibilidade de quantidade de cada produto i a ser comprada de acordo com tempo t .

$$\sum_{i,t} ce_i Z_{i,t} \leq lim \quad (17)$$

O fluxo de oferta e demanda é dividido em duas restrições. A restrição (18) representa o fluxo de oferta e demanda de produtos i no tempo $t=1$, enquanto a restrição (19) adiciona a quantidade não utilizada para cada produto i , a sobra de cada produto e a quantidade em estoque do período anterior, e é para todo período maior que 1. Essas restrições têm por objetivo atender a demanda caso haja disponibilidade do produto i no tempo t , caso contrário esse valor é considerado a falta. Além disso, caso sobre produto ele é armazenado, ou seja, se no tempo t sobrar produto, o custo de armazenagem é aplicado de acordo com o tempo que ele fica estocado no armazém. Faz-se necessário o uso de duas restrições visto que no $t=1$ já existe um estoque inicial, o que não ocorre para os demais t , além da sobra que não existe no primeiro período.

$$d_{i,t,s} + Y_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + es_i + do_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = 1 \text{ e } t = tt \quad (18)$$

$$d_{i,t,s} + Y_{i,t,s} + K_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + Y_{i,t-1,s} + do_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = tt \quad (19)$$

A restrição (20) limita a disponibilidade de estocagem de acordo com a capacidade do espaço disponível.

$$\sum_i Y_{i,t,s} v_i \leq cm \quad \forall t, s \quad (20)$$

As restrições (21) e (22) garantem que a falta não seja considerada como uma forma de oferta e seja estocada ou utilizada para atender a demanda. Assim, na restrição (21), quando $X_{i,t,s}$ é igual a zero, a quantidade armazenada pode assumir qualquer valor de acordo com a capacidade de armazenagem, e quando $X_{i,t,s}$ é igual a um, a quantidade armazenada é zero, garantindo que a falta seja considerada.

$$Y_{i,t,s} \leq (1 - X_{i,t,s})M \quad \forall i, s, t \quad (21)$$

Já a restrição (22) garante quando $X_{i,t,s}$ é igual a 1, que a falta do período t não pode ser maior que a demanda do mesmo período. Além disso, quando $X_{i,t,s}$ é igual a 0 garante que só poderá haver falta se não houver estoque.

$$F_{i,t,tt,s} \leq X_{i,t,s} d_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | tt = t \quad (22)$$

A restrição (23) faz com que a sobra do tempo t atenda as faltas dos tempos anteriores.

$$K_{i,t,s} + \sum_{tt|tt < t} -F_{i,t-1,tt,s} + F_{i,t,tt,s} = 0 \quad \forall i, s, t | t > 0 \quad (23)$$

Já a restrição (24) calcula o tempo dos atendimentos feitos em atraso, ou seja, o tempo que a pessoa ficou sem o suprimento necessário, e ao mesmo tempo garante que a falta do período anterior deve ser maior do que o período atual. Assim, as faltas mais antigas devem ser atendidas antes das mais recentes.

$$B_{i,t,tt,s} = F_{i,t-1,tt,s} - F_{i,t,tt,s} \quad \forall i, s, t, tt | t > 1 \text{ e } tt < t \quad (24)$$

As restrições (25) e (26) definem as variáveis não negativas e binárias, respectivamente.

$$Y_{i,t,s}, Z_{i,t}, F_{i,t,tt,s}, B_{i,t,tt,s}, K_{i,t,s} \geq 0 \quad (25)$$

$$X_{i,t,s} \in \{0,1\} \quad (26)$$

4.2.3 Funções de privação

São consideradas sete formulações para a privação apresentadas na literatura acadêmica. Na Tabela 4, encontra-se as relações entre os artigos, equações apresentadas no Capítulo 3 e as funções que são utilizadas para validação do modelo.

A Função 1 é a apresentada por Macea *et al.* (2018), utilizada por Cantillo *et al.* (2019) e apresentada na Equação (14) – página 32. A Função 2 é a proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013) e utilizada por Diedrichs *et al.* (2015) e Gralla e Goentzel (2018), apresentada na Equação (3) – página 28. A Função 3 considerada é o custo constante que é utilizada por Kelle *et al.* (2014), Hu e Dong (2019), Cavdur *et al.* (2016) e Serrato *et al.* (2020). Nesse caso, o custo constante

utilizado é quatro vezes o valor comercial de cada produto. De acordo com o proposto por Hu e Dong (2019), esse custo possui um crescimento linear, ou seja, a cada vez que a espera aumenta, o valor da privação aumenta de forma constante.

Tabela 4 – Relação de artigo, equação e função

Artigo	Equação	Função
Macea <i>et al.</i> (2018) e Cantillo <i>et al.</i> (2019)	14	1
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2013), Diecrichs <i>et al.</i> (2015) e Gralla e Goentzel (2018)	3	2
Kelle <i>et al.</i> (2014), Hu e Dong (2019), Cavdur <i>et al.</i> (2016) e Serrano <i>et al.</i> (2020)	Custo Constante	3
Moreno <i>et al.</i> (2018)	5	4
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	7	5.1
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	8	5.2
Holguín-Veras <i>et al.</i> (2016)	9	5.3

A Função 4 é a proposta por Moreno *et al.* (2018) para itens de alta prioridade, Equação (5) – página 29, que é utilizada com os seguintes coeficientes:

NP_w : o valor utilizado foi 1 de acordo com o artigo Moreno *et al.* (2018)

CM_w : o valor utilizado foi 140000 com base no artigo Moreno *et al.* (2018)

$|\Delta_w|$: 72 horas foi o valor utilizado com base no artigo de Moreno *et al.* (2018)

O último artigo analisado foi o Holguín-Veras *et al.* (2016), que possui três funções distintas de acordo com o valor da vida – Equações (7), (8) e (9) da página 30 –, as funções são consideradas como 5.1, 5.2 e 5.3, respectivamente.

As funções apresentadas por Yu *et al.* (2018) e Yu *et al.* (2019) não testadas, pois dependem do estado de cada área para comparação. Como se trata de um modelo de estoque de uma única região não é possível sua aplicação. O mesmo ocorre com a função formulada por Wang *et al.* (2020), como o custo utilizado está em minutos, e o modelo formulado está em horas, os custos são muito altos, dificultando a comparação com as outras formulações. Isto ocorre também para as funções propostas por Zhang e Cui (2021), porque dependem do tempo de entrega do suprimento, que não é considerado para o modelo proposto neste estudo.

Para a utilização de cada função de acordo com o produto é necessário adaptar, visto que as funções são dadas em litros de água, e os produtos não são em litros. Com isso, é gerada uma planilha para fazer a relação entre litros e a litragem de cada produto.

A seguir encontram-se os resultados obtidos.

4.3 Solução do modelo

Nessa seção é apresentada a validação inicial do modelo anteriormente apresentado. Para isso, é utilizado um exemplo numérico com o objetivo de analisar os resultados obtidos pelo modelo utilizando diversas funções de privações e compará-las, considerando o tempo de privação como o tempo em que a população afetada ficou sem atendimento.

As funções de privação da água, apresentadas na seção 4.2.3, são calculadas de acordo com a necessidade das pessoas por hora. Por isso, são considerados 3 produtos distintos (copo de 200ml - produto 1, garrafa de 510ml - produto 2 e galão de 10L - produto 3) para validação, sendo necessário adaptar as funções encontradas na RSL, essa adaptação é feita por meio da proporção de cada embalagem pela necessidade de água por hora. Assim, de acordo com Holguín-Veras *et al.* (2016), uma pessoa precisa em média de 200ml de água por 1,25 horas, ou seja, 160ml por hora, considerando 16 horas de consumo. Além disso, as funções que estavam em dólar (funções 1, 2, 5.1, 5.2 e 5.3) são transformadas para o real, usando a cotação do dia 22 de maio de 2021, com o valor de 1US\$ = R\$ 5,37. Utilizando esse valor, é calculada uma função para cada produto analisado.

O intervalo de tempo utilizado é de 0 até 120 horas, que é o sugerido por Holguín-Veras *et al.* (2013) para evitar o maior número de mortes devido à falta de água. A capacidade máxima de estocagem considerada é 2250 m³. São utilizados três cenários, de forma aleatória, com as seguintes probabilidades: 0,22; 0,56 e 0,22. A Tabela 5 apresenta os outros parâmetros, dependentes dos produtos, utilizados para validação do modelo. A demanda e a doação são escolhidas de forma aleatória, o limite orçamentário de compra foi definido como R\$ 3.000.000.

Tabela 5 – Parâmetros dependentes dos produtos

i	c_i (R\$)	v_i (m³)	es_i	ce_i (R\$)
1	0,01	0,0002	100	0,99
2	0,02	0,00051	150	1,49
3	0,05	0,01	200	15,99

Cada solução foi obtida em menos de um minuto para todas as funções. A seguir os resultados obtidos são apresentados. Nas Figuras 3-6 encontra-se as

faltas ocorridas de acordo com cada função utilizada. As faltas ocorreram todas no cenário 3, dos produtos 1 e 2, em nenhuma das funções houve falta do produto 3. Vale ressaltar que não ocorre armazenamento do produto 3 neste cenário. As funções 5 em geral apresentam um maior número de falta, já que os custos de privação considerados são menores do que as outras funções. A discrepância entre as faltas pode ser justificada pela diferença das funções utilizadas. A função 3 penaliza mais as faltas do que a função 5, por isso essa diferença entre os resultados.

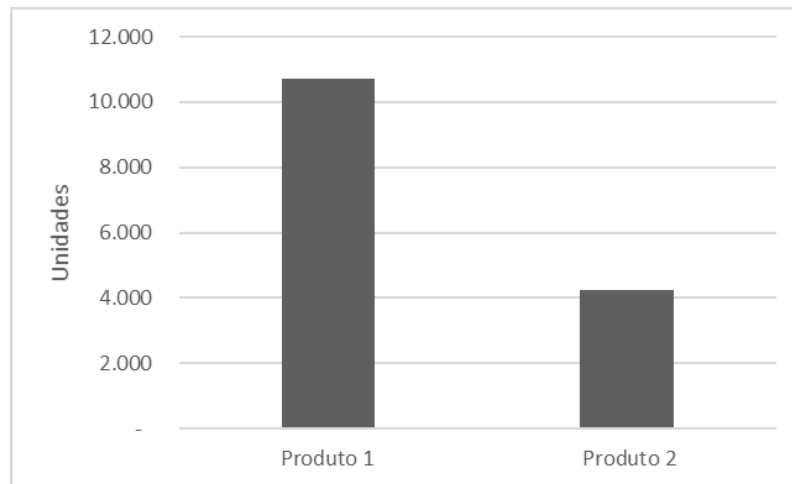


Figura 3 – Faltas dos produtos de acordo com a função 3

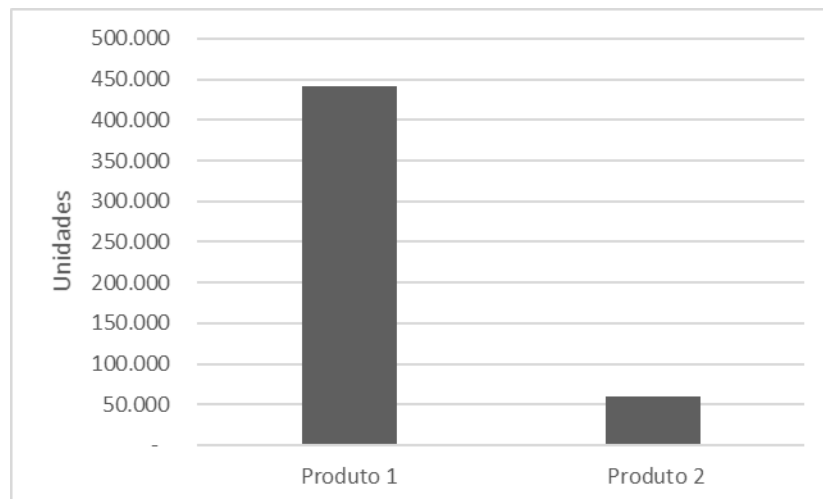


Figura 4 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.1

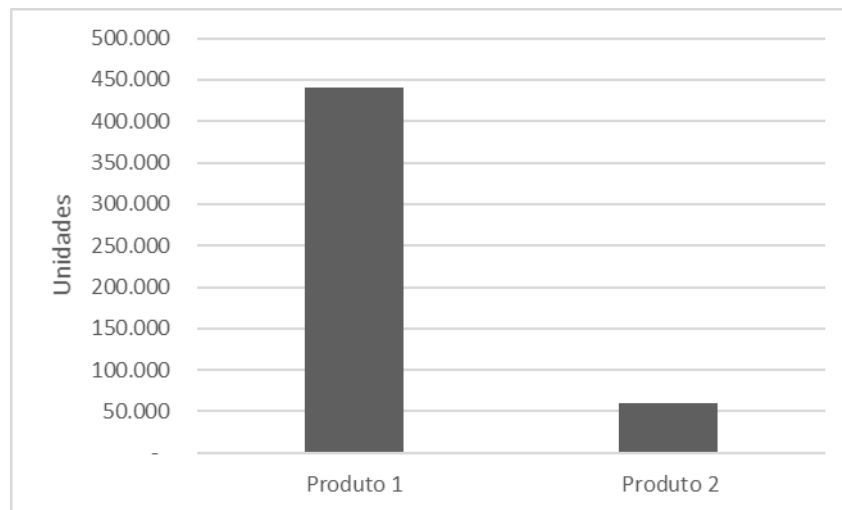


Figura 5 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.2

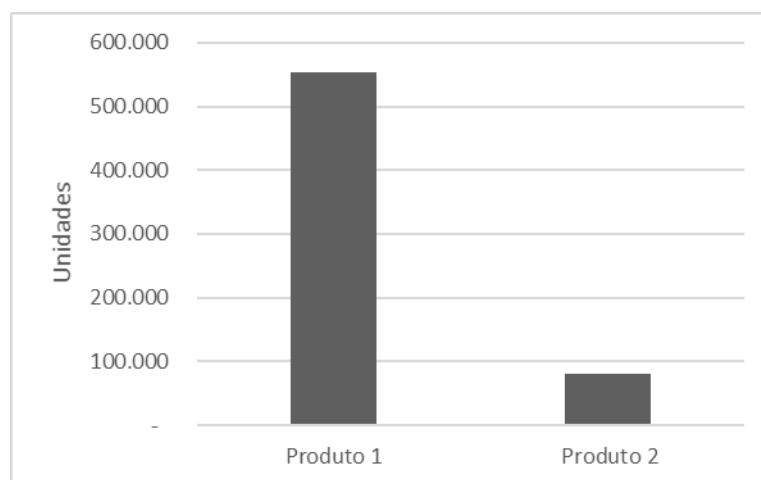


Figura 6 – Faltas dos produtos de acordo com a função 5.3

Outra variável analisada é o tempo médio de atendimento da falta dos períodos anteriores, apresentada na Figura 7. Quanto menor este tempo, menos a população afetada passa pela privação da água. A função 5.3 foi a única que teve atendimento após a falta. As funções 1, 2, 3, 4, 5.1 e 5.2 foram a que obtiveram melhor resultado, com o menor tempo de privação - o tempo foi zero, visto que não houve atendimento atrasado, porém deve-se ressaltar que nas funções 3, 5.1 e 5.2 houve faltas no último período de planejamento. Assim, a menor falta ocorre quando as funções 1, 2 e 4 são utilizadas.

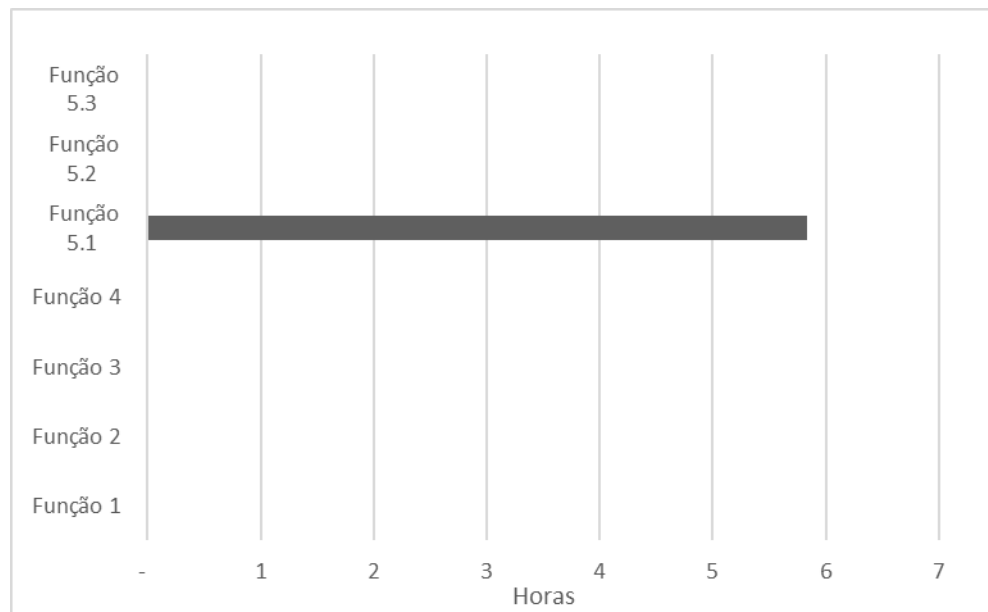


Figura 7– Tempo médio de atendimento das faltas por função de privação

Como o objetivo é minimizar custo total, primeiramente são analisados os custos totais do modelo proposto, conforme apresentado na Figura 8. A Figura 9 mostra os custos decorridos da penalidade de não atendimento da demanda ao final do período de 120 horas. Por fim, a Figura 10 apresenta os custos de armazenagem e de fornecimento de produtos.

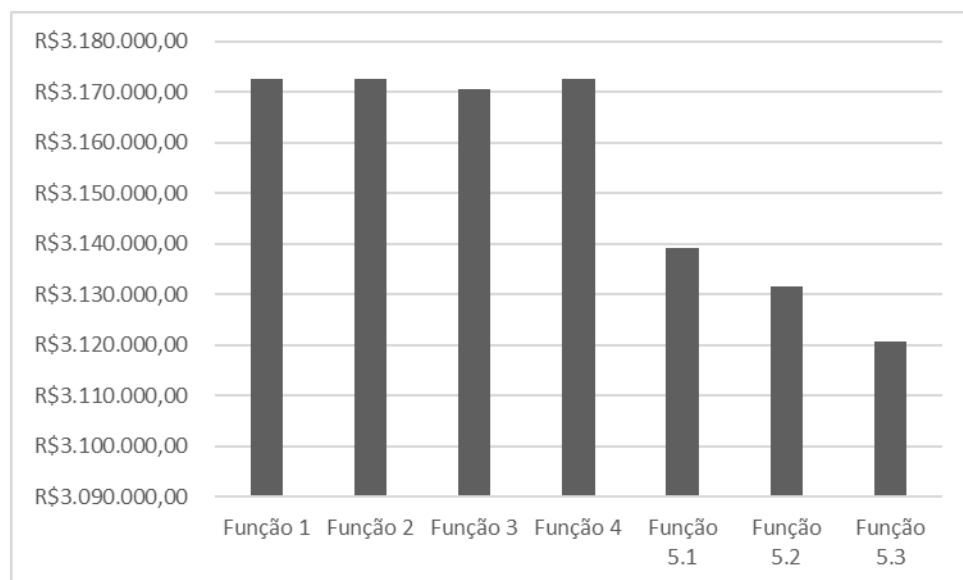


Figura 8 – Custos totais por função de privação

Na Figura 8 é possível perceber que as funções 1,2 e 4 possuem custos bem mais altos do que as outras funções, isso porque a função de privação ($fdc_{i,t}$)

utilizada penaliza as faltas ocorridas com custos de privação maiores quando comparado com as outras funções analisadas. A função 3 possui valor de R\$ 2179,58 menor do que as funções 1,2 e 4. As funções 5 possuem valor mais abaixo do que as outras analisadas.

Para esse exemplo nenhuma função obteve custo de privação, porém pela Figura 9 percebe-se a penalidade final nas funções 3, 5.1, 5.2 e 5.3. Isso acontece porque as funções 1, 2 e 4 não tiveram nenhuma falta, pois o modelo consegue atender toda a demanda, porém nas funções 3, 5.1, 5.2 e 5.3 no último período ocorre a falta que é penalizada, já que o horizonte de planejamento acabou. Dentre elas, a que possui menor falta no último período é a função 3.

Na Figura 10 percebe-se valores aproximados do custo de armazenar e de fornecimento, porém os custos de fornecimentos das funções 5 em geral, são bem menores, isso porque ela possui o menor atendimento em relação as outras funções. Além disso, as funções 1, 2, 3 e 4 que possuem melhor atendimento possuem os maiores valores de custo de fornecimento, ou seja, pode-se dizer que o atendimento não foi melhor devido as limitações existentes.

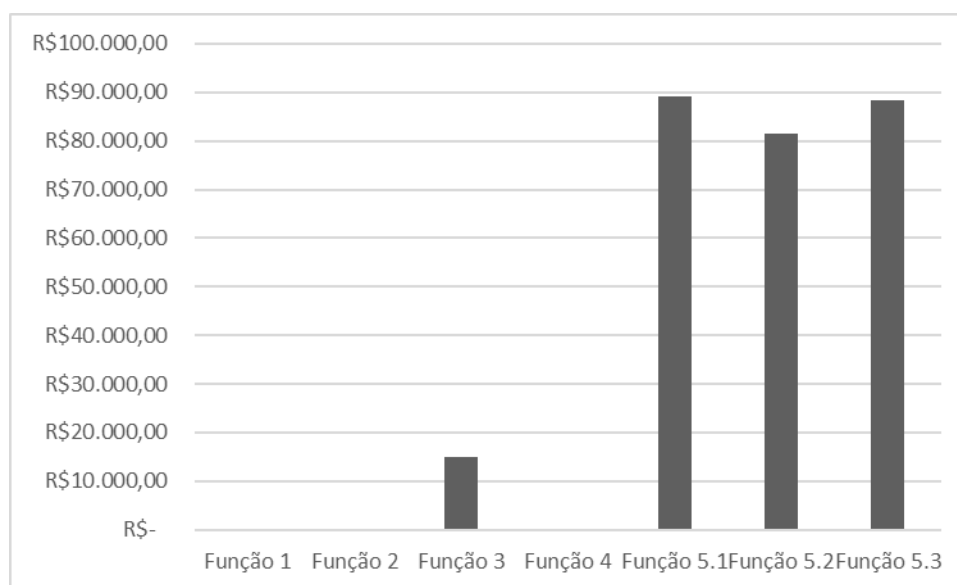


Figura 9– Custos da penalidade final do período por função de privação

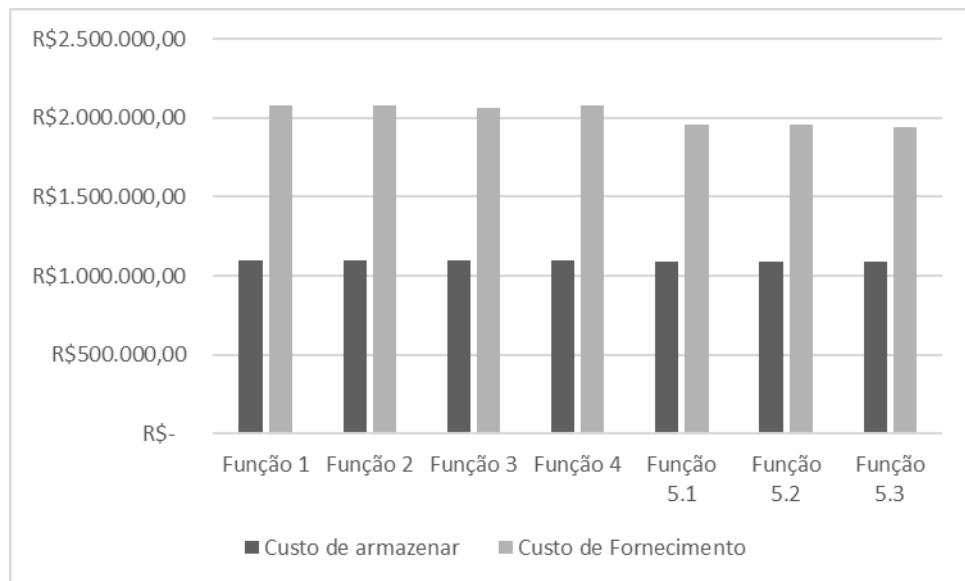


Figura 10 – Custos de armazenar e de fornecimento por função de privação

A discrepância entre os custos totais das funções de maior custo, funções 1, 2 e 4, e o de menor custo, função 5.3, é de 1,6 %. Como demonstrado, as funções que apresentam melhores resultados em relação a entrega e a custos são as funções 1, 2 e 4.

As etapas de validação do modelo e implementação da solução são discutidas no capítulo seguinte, Validação empírica do modelo proposto.

5

Validação empírica do modelo proposto

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos por meio do estudo de caso com a Cruz Vermelha Brasileira e a Defesa Civil.

Sendo assim, a subseção 5.1 apresenta a geração de cenários, demandas e doações para ambos os estudos de caso. A subseção 5.2 engloba o estudo de caso para a organização Cruz Vermelha do Brasil. A subseção 5.3 traz o estudo para Defesa Civil do Rio de Janeiro. Por fim, a subseção 5.4 discute os resultados à luz da literatura acadêmica.

As funções de privação utilizadas são as mesmas apresentadas exemplo numérico do Capítulo 4.

5.1

Geração de cenários

Para a geração de cenários, foram utilizados os passos descritos em Moreno *et al.* (2018), que consiste em quatro etapas: (i) análise histórica dos dados; (ii) categorização do desastre; (iii) fase bootstrap; (iv) avaliação de cenários.

Na primeira etapa, análise dos dados históricos, foi feita uma pesquisa no número de enchentes e deslizamentos no estado do Rio de Janeiro, no período de 1966 a 2020, e seu número de pessoas afetadas. Esses dados foram obtidos pelo EM-DAT (2021). Com esses dados foram geradas as colunas 2 e 3 da Tabela 6.

Na segunda etapa é feita a categorização do desastre em situação de emergência, situação de crise, desastre menor, desastre moderado e desastre severo de acordo com a escala proposta por Eshgi e Larson (2008), que comparam o número de óbitos com as vítimas afetadas pelo desastre. O dimensionamento proposto por eles é relacionado aos fatores de vulnerabilidade da população quando ocorre um desastre. A nomenclatura não é justificada, porém justificam a utilização dessa categorização de desastres devido a mensuração da força física dos desastres. Essa classificação é apresentada na quarta coluna da Tabela 6.

Tabela 6 – Enchentes e deslizamentos no estado do Rio de Janeiro entre 1966 a 2020

Ano	Vítimas Fatais	Afetados	Tipo de desastre
1992	25	1000	Situação de Emergência
2009	74	1000	Situação de Emergência
2018	15	300	Situação de Emergência
1981	67	2300	Situação de Crise
2001	50	1946	Situação de Crise
2002	74	1500	Situação de Crise
2003	7	2000	Situação de Crise
2007	6	2272	Situação de Crise
2009	16	1048	Situação de Crise
2013	30	1510	Situação de Crise
2013	2	2000	Situação de Crise
2000	26	70000	Desastre Menor
2010	256	74938	Desastre Menor
2011	900	45000	Desastre Menor
2020	61	11012	Desastre Menor
2007	59	200080	Desastre Moderado
2013	4	200000	Desastre Moderado
1966	350	4000000	Desastre Severo
1988	289	3020734	Desastre Severo

Na terceira, fase bootstrap, foi calculada a probabilidade de ocorrência de cada tipo de desastre por meio do método Bootstrap (Efron, 1992), com o intuito de dar variabilidade extra na amostra. Para isso, foram geradas 1000 amostras aleatórias a partir dos dados originais apresentados na Tabela 6, cada amostra com 13 entradas.

Por fim, a avaliação de cenários, todas as variáveis aleatórias são consideradas dependentes do tipo do desastre, os desastres piores geram um número maior de vítimas, o que aumenta a demanda por suprimentos, nesse caso da água. Na Tabela 7, são apresentados os cenários utilizados (situação de emergência, situação de crise, desastre pequeno, desastre moderado e desastre severo) e suas respectivas probabilidades.

Tabela 7 – Cenários e Probabilidades

Cenário	Tipo de desastre	Probabilidade
1	Situação de Emergência	15,6%
2	Situação de crise	42,7%
3	Desastre pequeno	20,8%
4	Desastre moderado	10,3%
5	Desastre Severo	10,6%

O cálculo das doações é baseado em Kawasaki *et al.* (2012), que teve como objetivo avaliar o desastre inundação ocorrido no Vale do Paraíba, em relação as

doações recebidas. Nessa pesquisa foram registradas a doação de 146.800 litros de água potável, somando todos as organizações, que foram SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e PM-SP (Polícia Militar do Estado de São Paulo), em aproximadamente 8 dias de campanha. Com isso, foi obtido o valor de doação aproximadamente por hora de 764,6 litros por hora. Para obtenção dos dados das doações de acordo com cada cenário é utilizado a distribuição uniforme, com valores aleatórios.

Para o cálculo da demanda é utilizado um gerador de números aleatórios baseado em uma distribuição uniforme que considera picos de vítimas em alguns períodos (Moreno *et al.*, 2018; Alem *et al.*, 2016), de acordo com os valores apresentados na Tabela 6. O valor obtido foi dividido por 24, para obter a demanda em horas e dividido proporcionalmente para cada produto.

5.2

O Caso da CVB

5.2.1

Caracterização do caso

É realizado um estudo de caso com a Cruz Vermelha do Brasil (CVB), considerada como uma sociedade civil filantrópica e sem fins lucrativos. A CVB possui como missão a busca pela redução do sofrimento humano, além de proporcionar a paz duradoura entre todos os povos, por meio de suas filiais distribuídas em todo o território nacional (CVB,2021).

A CVB atua em diversos desastres, dentre eles a pandemia de COVID-19 e em um dos maiores desastres do estado do Rio de Janeiro, os deslizamentos de terra na região serrana em 2011. A organização atua entregando diversos suprimentos de alívio, dentre eles comida, agasalhos, kits de higiene e água. Para esse estudo, somente a água foi analisada.

Com o intuito de validar o modelo apresentado no Capítulo 4, alguns dados foram coletados na CVB. Com o objetivo de calcular o custo de armazenagem, a Cruz Vermelha forneceu as seguintes informações:

- Aluguel: o galpão é exclusivo para armazenagem, e seu aluguel é de R\$ 23.210,48 mensais;
- Mão de obra: eles possuem dois funcionários para o setor de logística e quando necessário solicitam voluntários. R\$ 7.000,00 mensais.

Sobre os espaços disponíveis, eles possuem três, o primeiro com 44,40m², o segundo com 15,68m² e o último com 100,00m². Com isso, o custo total de armazenagem é de R\$ 30.210,48 mensais e o espaço total é de 160,08 m², porém como o modelo está em m³ é necessário considerar a altura do armazém, que é de 12 metros, o indicado como altura ideal para galpões (Viskup e Gálová, 2019). O custo de armazenagem é de R\$ 15,72 mensais por m³ (obtido pela divisão do valor total mensal pelo espaço de armazenagem total). Como o modelo está em horas é necessário adaptação. Esse valor, então, é dividido pelo número total de horas em um mês (720 horas), o custo de armazenagem é de R\$ 0,022 por m³ por hora. O valor deste custo por produto encontra-se na Tabela 8.

Para o cálculo da capacidade de armazenagem é calculado o espaço total (160,08 m²) vezes a altura (12 metros), resultando em 1920,96 m³. Como não existe um histórico da porcentagem de estoque destinada a água, a capacidade foi considerada em sua totalidade para água.

Além disso, como não existe histórico sobre a divisão de espaço entre produtos no depósito, para o cálculo do valor do produto é utilizada uma proporção de acordo com o espaço utilizado por cada produto. Assim, são consideradas proporções de custo (apresentadas na Tabela 8). Os produtos utilizados são garrafa de 510ml (produto 1), garrafa de 1,5L (produto 2) e galão de 5L (produto 3), que são os normalmente utilizados em desastres de acordo com a experiência de especialistas.

A Tabela 8 também apresenta o volume do produto e o custo de fornecimento, que foram determinados de acordo com o encontrado no mercado.

Tabela 8 – Proporção, Custo de armazenagem, Volume dos produtos e Custo de fornecimento

Produto (i)	Proporção	c_i (R\$)	v_i (m ³)	ce_i (R\$)
1	0,2	0,000011	0,00051	1,49
2	0,3	0,000032	0,0015	1,99
3	0,5	0,000109	0,005	6,99

O estoque inicial foi baseado em Alem *et al.* (2016) e é definido como 19000 unidades de 20 litros, totalizando 380000 litros de água, a proporção utilizada foi a mesma demonstrada na Tabela 8. O limite de compra foi utilizado de acordo com o encontrado na literatura. Em Brito Junior (2015) são apresentados dois valores, primeiramente de R\$ 1.000.000,00 quando os desastres não possuem atenção da mídia e R\$ 1.700.000,00 quando é amplamente divulgado. Ambos foram testados, porém o de R\$ 1.700.000,00 era alto demais para os níveis de demanda, e não limitava as compras. Então, o primeiro valor foi utilizado. Da

mesma forma que a capacidade de armazenagem, o orçamento foi todo considerado para água, devido à falta e dados históricos.

Além disso, considerou-se que apenas 20% da demanda total dos cenários seria a atendida pela organização Cruz Vermelha. Esse valor é baseado em Kawasaki *et al.* (2012), em que 5 organizações atuaram no auxílio as vítimas.

5.2.2 Resultados

Aplicando o modelo de gestão proposto pode-se concluir alguns *insights* gerenciais em relação a organização Cruz Vermelha. As funções de privação analisadas são as mesmas apresentadas na seção 4.2.3, e o horizonte de tempo é 0 a 120 horas, como proposto por Holguín-Veras *et al.* (2013). O modelo demora menos de um minuto para achar a solução ótima. Os resultados são apresentados a seguir.

A primeira variável analisada é a falta de produtos, ou seja, quando a demanda não é atendida. Nos cenários 1, 2, 3 e 4 não houve falta, em nenhuma das funções de privações utilizadas. No cenário 5 a falta ocorreu em todas as funções. A Figura 11 apresenta as faltas totais.

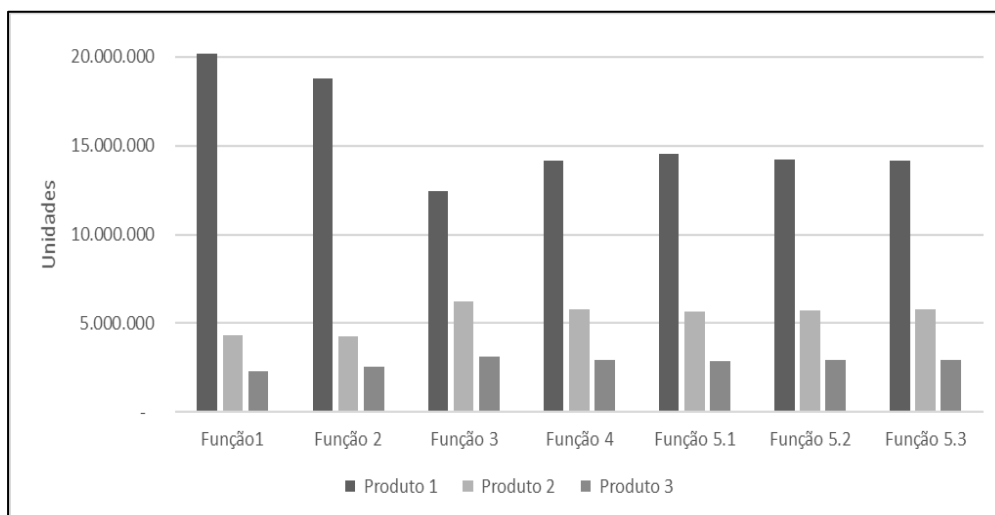


Figura 11 – Faltas das funções dos produtos no cenário 5.

Da Figura 11 pode-se concluir que a maior falta ocorre na função 1 no produto 1, o produto 2 e 3 possuem maior falta na função 3. A menor falta ocorre na função 1 no produto 3, para o produto 1 a menor falta ocorre na função 3, já para o produto 2 ocorre na função 2.

Na Figura 12 são apresentadas as faltas totais de cada função, dela infere-se que a função que possui menor falta no total é a 3 e maior na função 1. Uma outra análise é a em relação a quantidade de litros totais que faltam de cada função, esses dados constam na Figura 13. Dela pode-se concluir que a menor falta ocorre na função 1 e a maior na 3.

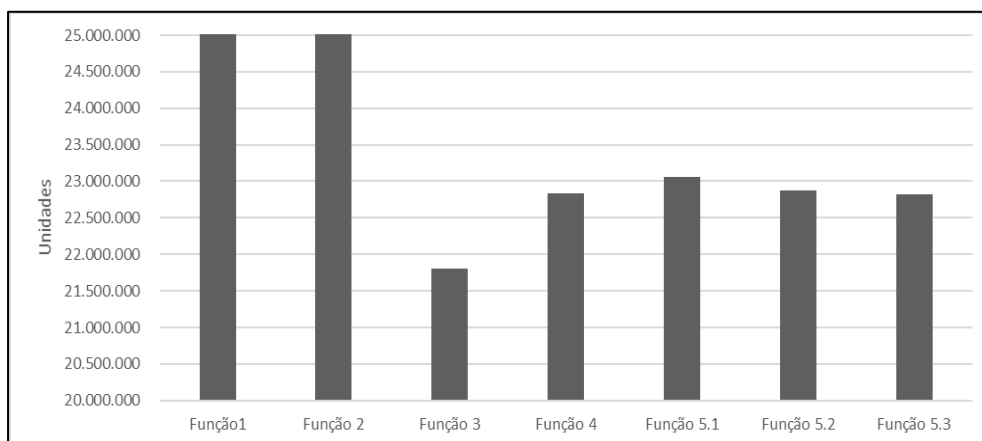


Figura 12 – Faltas totais das funções de privação no cenário 5

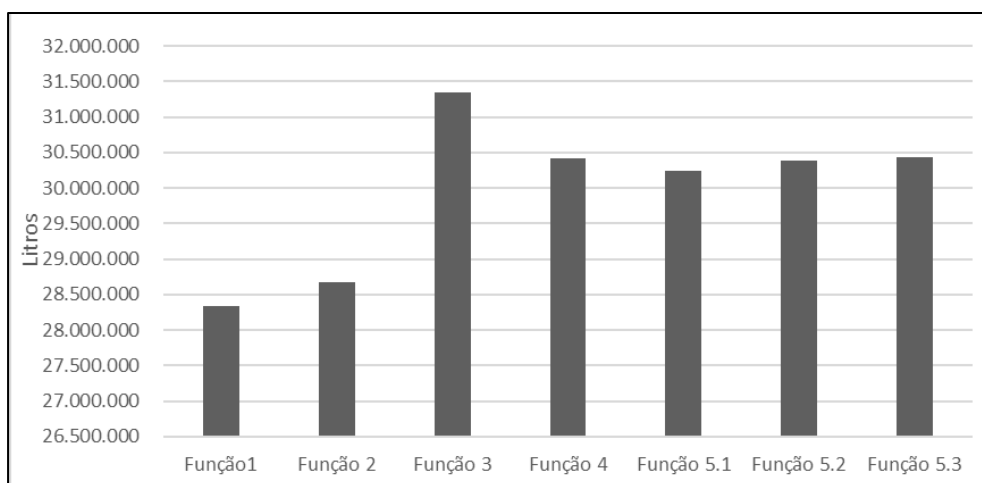


Figura 13 – Somatório de faltas totais, em litros, das funções de privação no cenário 5

Em relação ao tempo de atendimento médio, que é o tempo em que as pessoas ficaram sem água, nos cenários 1, 2, 3 e 4 não houve falta, então a população não fica sem atendimento.

No cenário 5 ocorre atendimento atrasado de todos os produtos, conforme apresentado na Figura 14. Para todos os produtos a função 3 possui melhor tempo médio de atendimento.

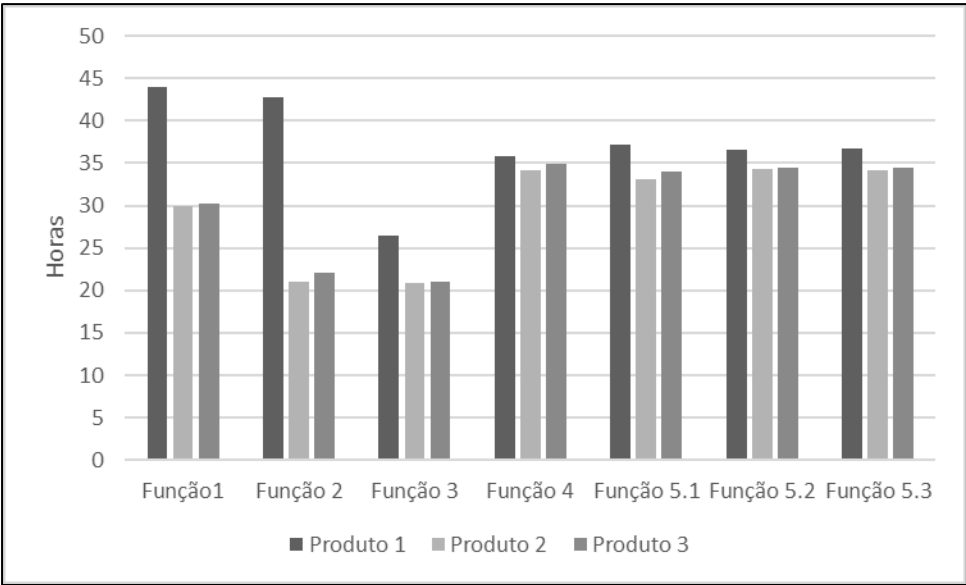


Figura 14 – Tempo de atendimento médio das funções no cenário 5.

Dessa forma, se a decisão a ser tomada é ter o mínimo de falta possível, a melhor função é a 3, pois é a que apresenta menor falta dos produtos no somatório geral. Em relação ao tempo de atendimento médio, a função 3 é que apresenta menor tempo, porém é a que possui maior falta no produto 2, e em relação aos litros faltantes. Em relação aos litros totais faltantes, a função 1 apresenta menor valor e a 3 o maior valor.

Analisando os custos totais, houve uma grande discrepância entre as funções, que pode ser observada na Tabela 9. Com isso, pode-se concluir que a função 2 é a que possui maior custo total enquanto a função 3 possui o menor.

Tabela 9 – Custos totais, de privação, de armazenagem, de fornecimento e penalidade final

Custos (R\$)	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5.1	Função 5.2	Função 5.3
Total	1,12E+08	3,48E+10	2,34E+07	7,22E+09	1,30E+08	2,33E+08	4,23E+08
Custo de privação	2,70E+06	6,94E+08	3,87E+05	1,62E+08	2,77E+06	5,16E+06	9,31E+06
Custo de armazenagem	1.133,88	1.127,14	1.075,74	1.093,70	1.097,10	1.094,38	1.093,47
Custo de fornecimento	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Custo penalidade final	1,08E+08	3,41E+10	2,20E+07	7,06E+09	1,26E+08	2,27E+08	4,13E+08

Os custos de privação também possuem uma grande discrepância, pois retratam o nível de atendimento de cada função, e elas penalizam o não atendimento de forma distinta. Esses valores também constam na Tabela 9. As

funções 2 e 4 são as que possuem maior custo de privação. E a função 3 é a que possui menor custo.

Outro custo importante de ser analisado é a penalidade final, ou seja, as demandas que ao final do período proposto não foram atendidas e por isso foram penalizadas. E da mesma forma que os outros custos houve uma grande discrepância, devido a isso também constam na Tabela 9. As funções 2 e 4 são as que possuem maior custo de penalidade final.

Como os custos são diferentes é necessário analisar também a falta final de cada produto e cada função, conforme apresentado na Figura 15. Além disso, na Figura 16 encontram-se os valores totais de faltas de todos os produtos ao final do período determinado. Com isso, percebe-se que a maior falta final ocorre na função 1 e a menor na função 3 (seguido pela função 5.3). Porém pela Figura 17, pode-se notar que a menor falta total, em litros, ocorre na função 1, isso porque a grande falta do produto 1 diminuiu seu atendimento.

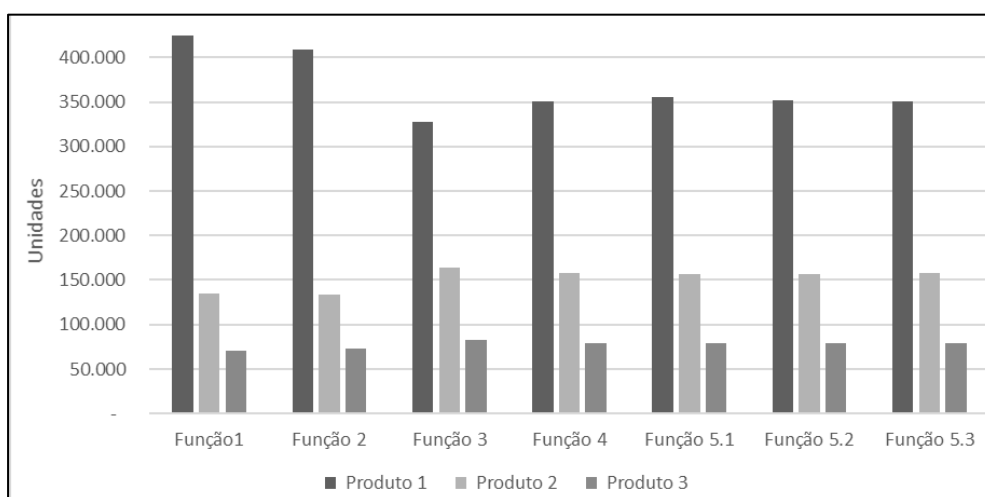


Figura 15 – Faltas ao final do período de acordo com cada função

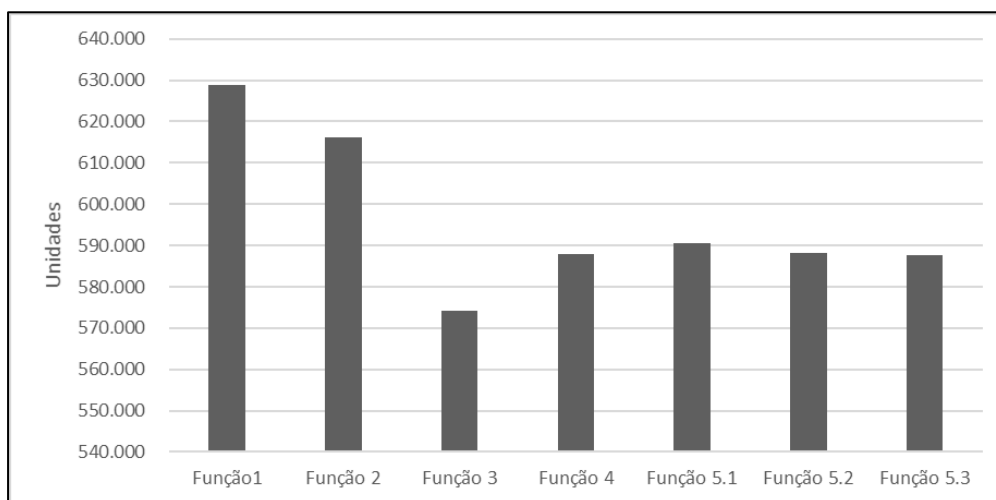


Figura 16 – Somatório das faltas no final do período de cada função

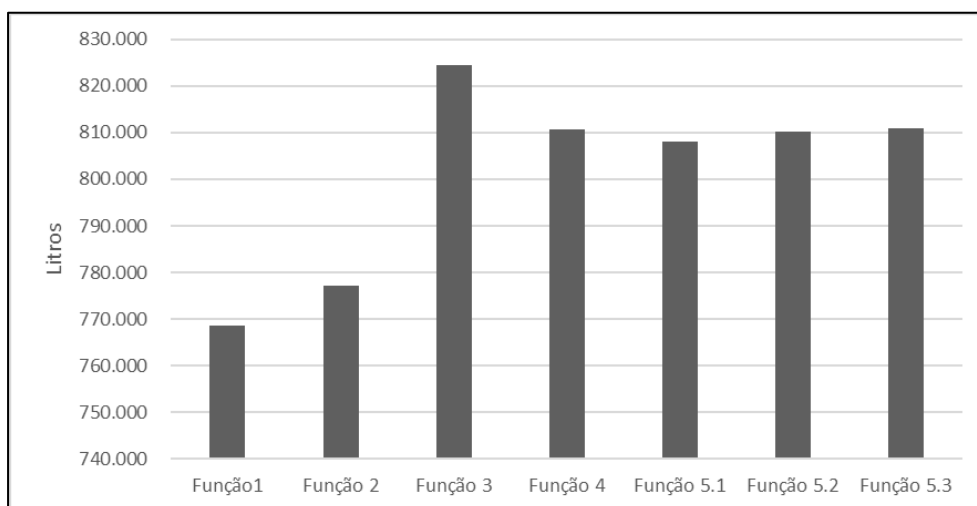


Figura 17 – Somatório das faltas, em litros no final do período de cada função

Os últimos custos analisados são bem próximos em todas as funções, são os custos de armazenar e de fornecimento, e são apresentados na Tabela 9. Isso porque, o custo de fornecimento está limitado a R\$1.000.000,00, então todas as funções obtiveram esse valor. O custo de armazenamento é o somatório de todos os produtos armazenados multiplicados pelo custo de armazenamento de cada produto, e em todos os cenários, então esse valor engloba a sobra que ocorre no cenário 1 pela discrepância entre as demandas dos cenários. Entretanto, percebe-se que a função 1 possui menor custo de armazenagem, visto que as compras do produto 1 não são priorizadas, como pode-se perceber pela falta dele.

5.3

O caso da Defesa Civil

5.3.1

Caracterização do caso

O segundo estudo de caso é realizado para a Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (SEDEC-RJ). Ela se organiza com a participação dos governos locais e da população no desencadeamento das ações preventivas e de resposta aos desastres (SEDEC-RJ, 2021). Segundo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Brasil, 2012), a proteção e defesa civil em todo o território nacional abrange as seguintes ações: prevenção, preparação, mitigação, resposta e recuperação.

A Defesa Civil atua em diversos desastres. Pode-se citar a atuação na resposta da pandemia do COVID-19 e na resposta aos desastres ocasionados por chuvas intensas. O órgão atua desde a prevenção de desastres até a entrega de suprimentos humanitários, como água, alimentos, kits de higiene, cobertores, álcool em gel (devido a pandemia), entre outros. Além disso, é importante destacar que a SEDEC-RJ auxilia os municípios adquirindo o que é necessário de acordo com a demanda, porém a coordenação de armazenamento de estoque é de responsabilidade do ente federativo municipal.

Da mesma forma que com a CVB, somente a água é considerada na validação do modelo proposto no Capítulo 4. Para tanto, são coletados alguns dados sobre a Defesa Civil. Primeiramente, a água não é armazenada, ou seja, eles não possuem um estoque inicial devido a validade, então a compra é feita quando solicitada. O valor total de água é obtido por meio de memória de cálculo constante no processo de aquisição de material. Esse valor orçamentário é de R\$979.084,00. Os produtos utilizados são considerados de acordo com a experiência dos funcionários entrevistados, os quais são: garrafa de 510ml (produto 1), garrafa de 1,5L (produto 2), garrações de 5 L (produto 3) e garrações de 10L (produto 4).

Os parâmetros de probabilidade de cenários e os cenários utilizados, demanda e doação utilizados são os mesmos apresentados na subseção 5.1. Além disso, considerou-se que apenas 20% da demanda total dos cenários seria atendida pela SEDEC-RJ. Esse valor é baseado em Kawasaki *et al.* (2012), em que 5 organizações atuaram no auxílio às vítimas.

Os custos de fornecimentos são obtidos de acordo com o valor de mercado dos produtos. Para o custo de armazenagem os valores são baseados em Moreno *et al.* (2018), em que o valor diário de R\$1,88 é considerado por unidade. O valor foi transformado para hora, e como se trata de uma embalagem de 510ml, o custo para os outros produtos foi obtido por uma relação de acordo com o espaço ocupado de cada produto, o resultado encontra-se na Tabela 8.

Tabela 10 – Custo de armazenagem, Volume dos produtos e Custo de fornecimento

Produto(i)	$c_i(\text{R\$})$	$v_i(\text{m}^3)$	$ce_i(\text{R\$})$
1	0,07	0,00051	1,49
2	0,21	0,0015	1,99
3	0,68	0,005	6,99
4	1,37	0,001	11,87

O valor utilizado para a capacidade de armazenagem é o de 3.700m³ (1.000.000 galão americano), baseado em Hu e Dong (2019), que é o considerado para um armazém pequeno, os outros valores não foram utilizados porque são mais altos e não limitaria o modelo.

5.3.2 Resultados

Nessa subseção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do modelo e alguns *insights* gerenciais em relação a Defesa Civil. Destaca-se que as funções de privações analisadas são as mesmas apresentadas na seção 4.2.3. O horizonte de tempo utilizado é de 0 a 120 horas, de acordo com Holguín-Veras *et al.* (2013). O modelo demora menos de um minuto para obter a solução ótima.

Primeiramente, a variável de falta de produtos é analisada, isso ocorre quando a demanda não é atendida. Não houve falta para os cenários 1, 2, 3 e 4, em nenhuma das funções. Porém, no cenário 5 ocorreu falta em todas as funções. A Figura 18 apresenta as faltas de cada produto em cada função.

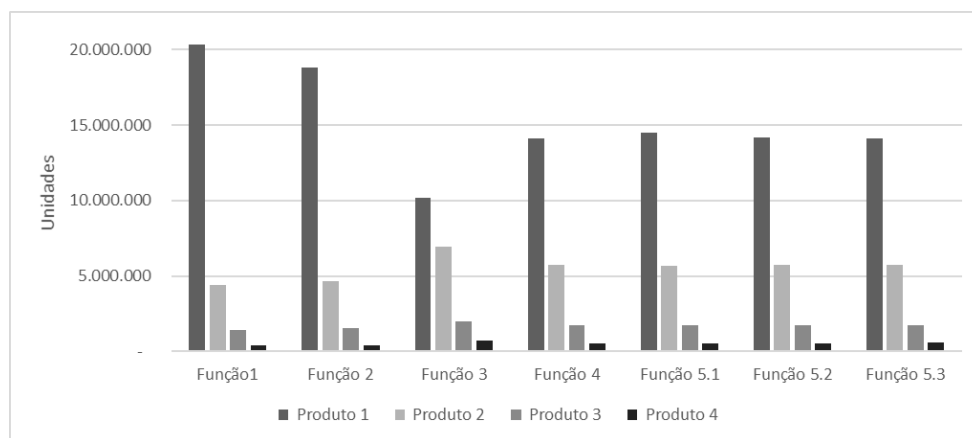


Figura 18 – Faltas dos produtos no cenário 5 de acordo com cada função.

Percebe-se da Figura 18 que a maior falta ocorre na função 1, no produto 1, enquanto ocorre a menor falta dos produtos 2 e 3. Para o produto 1, a função 3 é a que possui a menor falta, e para o 4 é a função 2.

Para uma melhor análise na Figura 19 são apresentadas as faltas finais, ou seja, o somatório de faltas de cada função, porém considerando a litragem de cada produto. Dela infere-se que a função 3 é a que possui maior falta total em litros, e a função 1 possui a menor. Com isso, percebe-se que mesmo a função 1

obtendo um valor alto no produto 1, ela consegue uma melhor entrega em litros devido aos outros produtos.

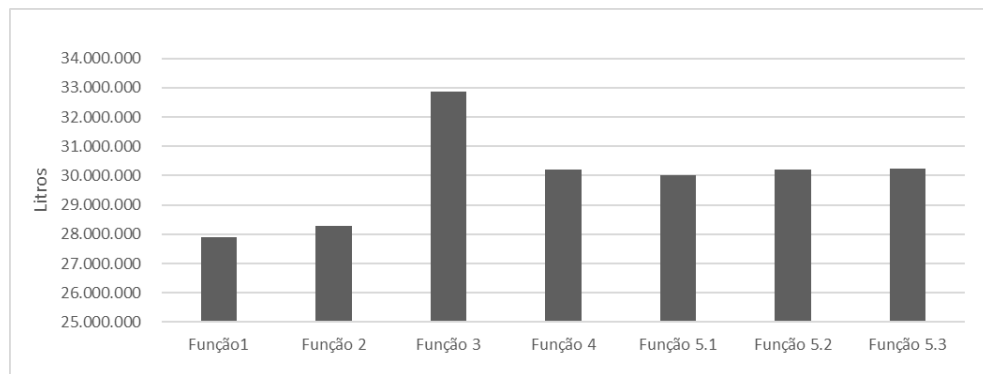


Figura 19 – Faltas totais em litros de cada função.

Já na Figura 20, é apresentado o somatório de faltas de cada função, em que se percebe que a função 3 possui menor valor.

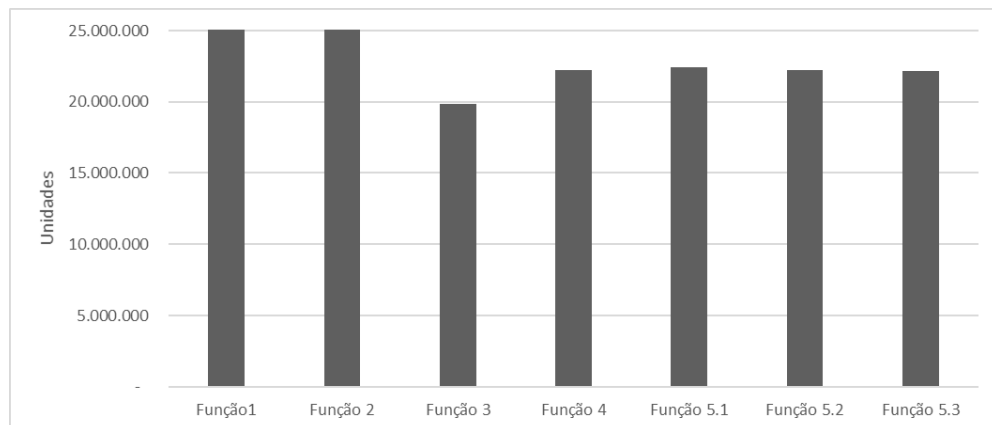


Figura 20 – Somatório de faltas de acordo com cada função.

Outra variável analisada é o tempo de atendimento médio, que é o tempo em que as pessoas ficam sem água. Como nos cenários 1, 2, 3 e 4 não houve falta, não há esse tempo. Por outro lado, no cenário 5 ocorre o atendimento atrasado de todos os produtos em todas as funções, esses valores constam na Figura 21. O menor tempo de atendimento ocorre na função 3, para os produtos 1 e 2, já para os produtos 3 e 4 ocorre na 2.

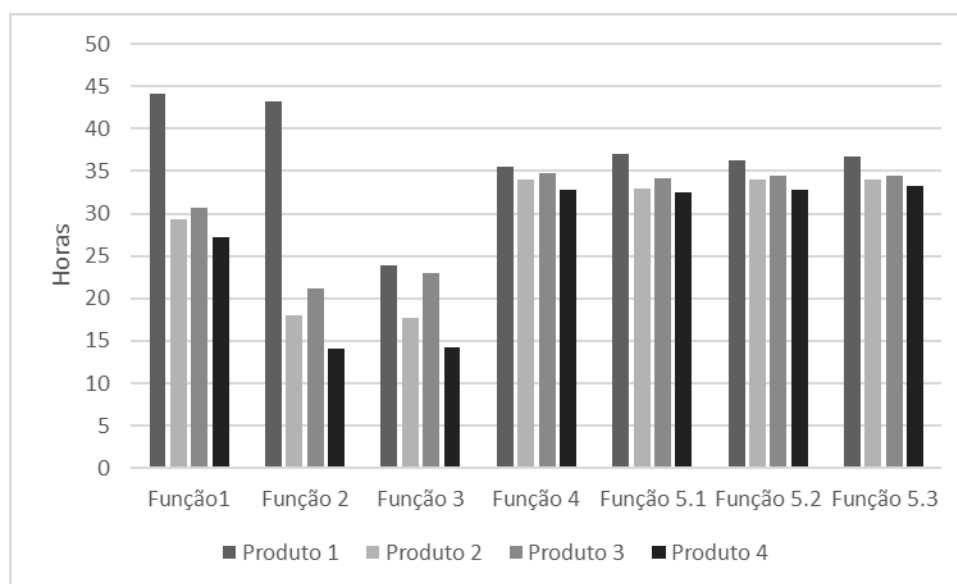


Figura 21 – Tempo de atendimento médio das funções no cenário 5.

Assim, de acordo com o apresentado anteriormente, a função que obteve melhor resultado é a 3, visto que possui menor falta total e melhor tempo de atendimento. Isso porque mesmo a função 2 obtendo o tempo de atendimento dos produtos 3 e 4, a diferença é menor do que 1 hora, fazendo com que no total a função 3 obtenha melhor resultado. Porém, se for considerado a menor falta em relação aos litros totais, a função 1 é a que possui melhor resultado total.

Em relação os custos, primeiro analisando os custos totais houve uma grande diferença de valores das funções 2 e 4 em relação as demais. O mesmo ocorre para os custos de privação e penalidade final, por isso os custos são apresentados na Tabela 11. A função 3 possui menor custo em todos eles, e a função 2 é o maior.

Tabela 11 – Custos totais, de privação e penalidade final.

Custos (R\$)	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5.1	Função 5.2	Função 5.3
Total	1,17E+08	3,43E+10	2,95E+07	7,06E+09	1,34E+08	2,35E+08	4,20E+08
Custo de privação	2,67E+06	6,47E+08	2,96E+05	1,56E+08	2,75E+06	5,10E+06	8,95E+06
Custo penalidade final	1,06E+08	3,37E+10	2,16E+07	6,89E+09	1,24E+08	2,22E+08	4,03E+08

A grande variação dos custos de privação retrata o nível de atendimento de cada função, e a penalidade do não atendimento é feita de forma distinta. O custo de penalidade final é relacionado às demandas que ao final do período proposto não foram atendidas e, assim, são penalizadas. Devido a esse custo, faz-se necessário analisar também a falta final de cada produto e cada função, esses dados constam na Figura 22. Dessa forma, a função 1 possui maior falta do

produto 1, e possui maior falta total também, o que pode ser analisado pela Figura 23, que apresenta o somatório de faltas. Por outro lado, a função 1 é que tem menor falta nos produtos 2 e 3. Assim, podemos inferir que a maior falta é da função 1, devido ao produto 1. A função 3 possui menor falta total, porém em relação aos produtos, esse valor é menor somente no produto 1. Com isso, pela Figura 24 pode-se notar que essa função possui maior valor quando somadas as faltas em litros no final do período. De forma análoga, a função 2 possui menor falta para o produto 4 e é a que possui menor falta em litros ao final do período.

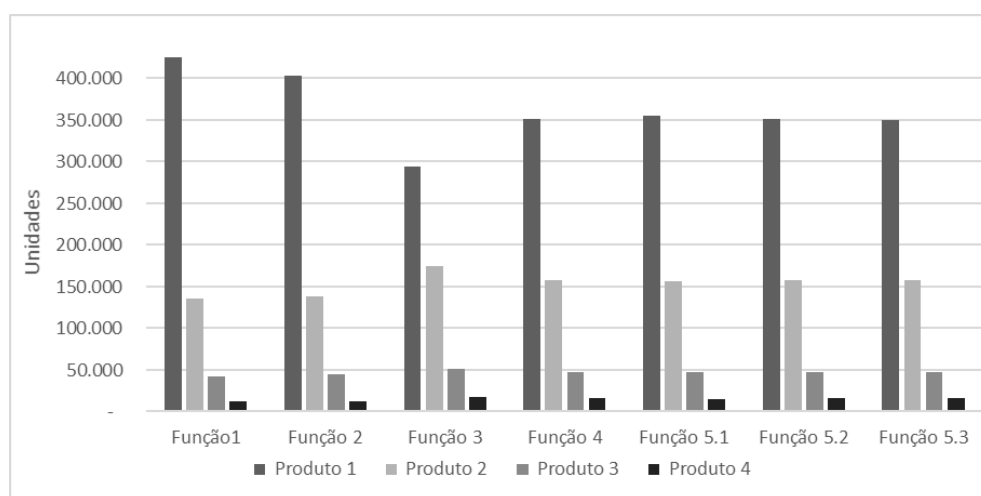


Figura 22 – Faltas no final do período de cada produto por função.

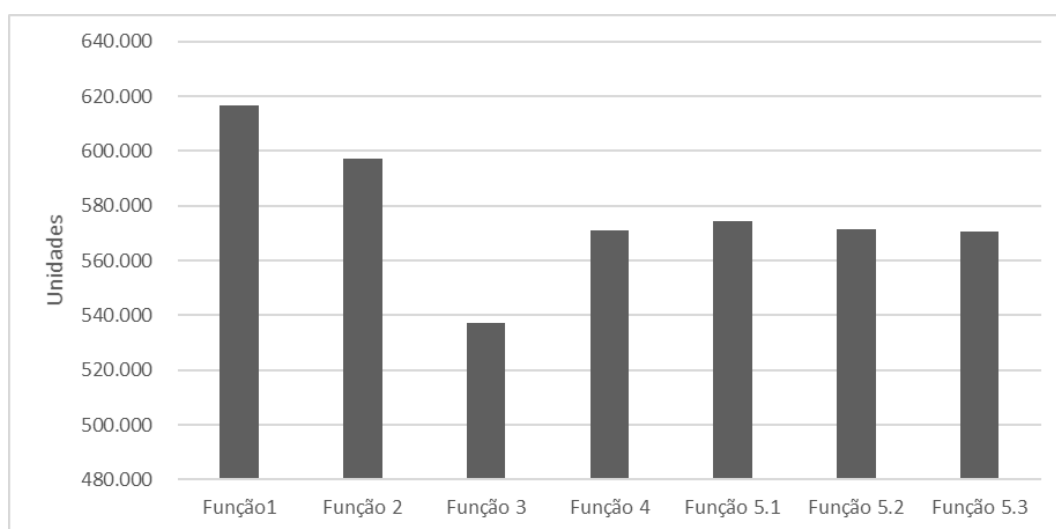


Figura 23– Somatório de faltas no final do período por função, em número de produtos.

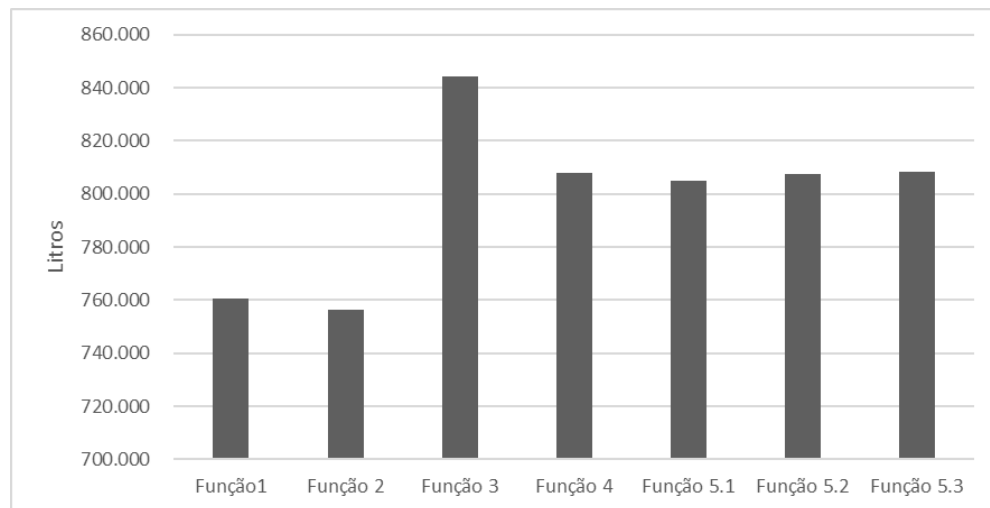


Figura 24– Somatório de faltas no final do período por função, em litros.

Por último, os custos de armazenagem e de fornecimento são bem próximos, como mostrado na Figura 25. O custo de fornecimento está limitado a R\$ 979.084,00, por isso, todas as funções obtiveram esse valor. Entretanto, nota-se que a função 3 possui menor valor do custo de armazenagem total, o qual é decorrente do somatório de todos os produtos armazenados em todos os períodos multiplicados pelo custo de armazenamento de cada produto, e em todos os cenários. Assim, esse valor engloba a sobra que ocorre nos cenários em que as demandas são menores e, devido a discrepância entre elas, os cenários com menor demanda armazenam mais produtos para caso ocorra os cenários piores. A função 3 ter obtido o menor valor pode ser explicado, já que ela possui maior falta em litros, então armazena menos metros cúbicos (ou litros) que as demais funções.

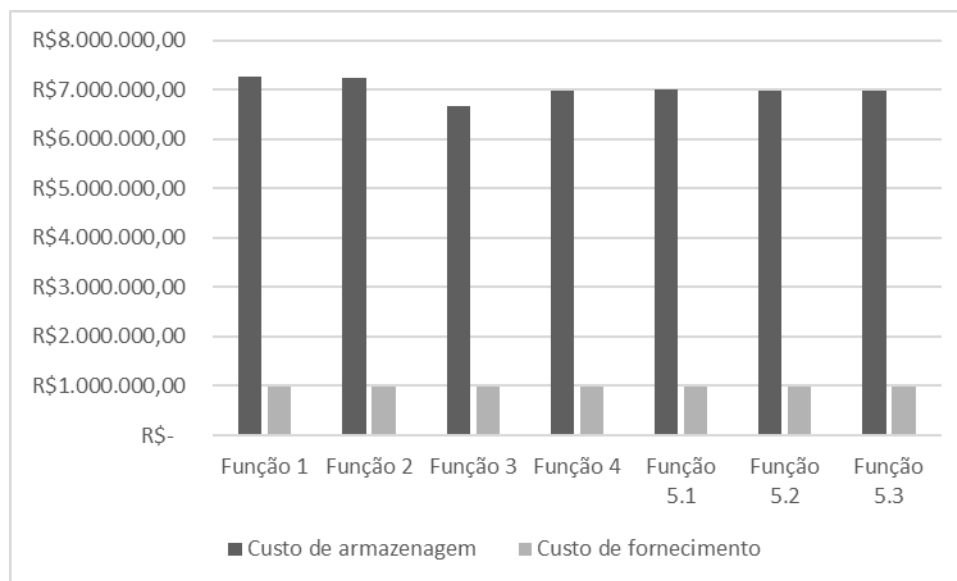


Figura 25 – Custos de armazenagem e fornecimento em relação as funções.

5.4

Discussão dos Resultados

Como destacado em Brito *et al.* (2020), há diferença nos resultados obtidos com diferentes funções de privação, confirmando a relevância da análise comparativa do uso dessas funções. Para tanto, são utilizadas sete formulações encontradas na literatura. A função 1 é a apresentada na Equação (14) - página 32, que é uma função quadrática com comportamento exponencial. A função 2 consta na Equação (3) - página 28, e é a que possui maior custo de privação. A função 3 é o custo constante, para esse estudo é considerado o valor de quatro vezes o valor comercial do produto, e é a função que possui menor custo de privação. A função 4 encontra-se na equação (5) - página 29, e é uma derivação da função (2), considerando a criticidade do item estudado. E por último as Equações (7), (8) e (9) – página 30, que são as funções 5, que consideram valores distintos para a vida. As funções 1, 2, 4, 5.1, 5.2 e 5.3 possuem crescimento exponencial e a 3 possui um crescimento linear em relação ao tempo de privação.

Com isso, pode-se concluir para o estudo de caso da Cruz Vermelha do Brasil (Figura 26- as funções são listadas em ordem decrescente, ou seja do resultado pior para o melhor) que se o objetivo da organização é reduzir as faltas de produtos, tanto de cada período como a do final do período, a função 3 é a que possui melhor resultado. Além disso, a função 3 é que possui menor custo e ao mesmo tempo melhor tempo de atendimento médio das demandas atrasadas.

Enquanto, se o objetivo for a melhor entrega em litros, a função 1 possui melhor resultado e a função 3 o pior resultando, tanto nas faltas de cada período como no final do período. Assim, se um tomador de decisão for mais propenso ao risco usaria a função 1, enquanto outro avesso usaria a função 3.

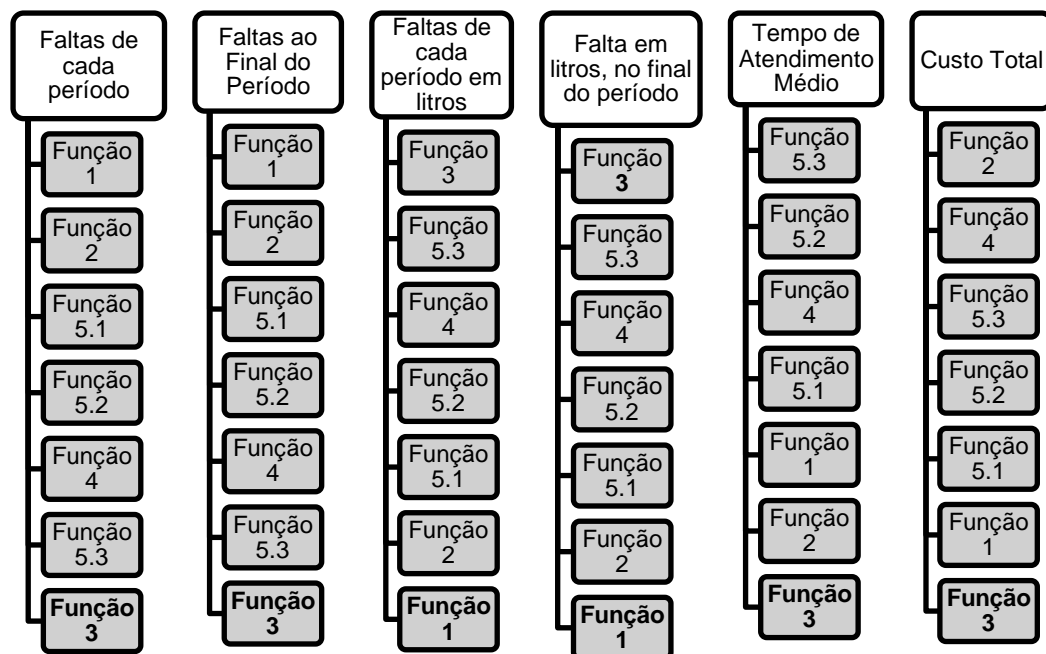


Figura 26 – Resultados da Cruz Vermelha Brasileira

Em relação aos custos totais da CVB, existe uma grande discrepância, entre o de menor custo (função 3) e de maior custo (função 2) que é de 99,9%. Em relação a função 1 e 5.1, a diferença entre a função 2 é de 99,6%. De forma semelhante, para a função 5.2 é de 99,3%. Em relação a função 5.3 a discrepância é de 98,7%. Já em relação a função 4 que também possui um alto custo é de 79,26%. A discrepância de custo em relação as funções 1 e 3, que possuem melhores resultados, é de 96,6%. Com isso, a relevância das análises das funções de privação é confirmada.

Analisando o estudo de caso da Defesa Civil (Figura 27- as funções são listadas em ordem decrescente, ou seja do resultado pior para o melhor), a função 3 é que obteve menor falta total. Porém, analisando os produtos separadamente, somente para o 1 que ela obteve menor valor. Enquanto a função 1 obteve maior valor de falta para o produto 1, porém para os produtos 2 e 3 é a que obteve menor valor, além de obter menor resultado em relação a falta total em litros. A função 2 é que obteve menor valor de falta para o produto 4, e fica em segundo em relação a falta de litros. Ademais, é a função que possui menor falta no final do período. Entretanto, o custo dessa função é o mais elevado, devido a penalidade aplicada

ao não atendimento. Com isso, a função 1 fica logo em seguida na menor falta ao final do período e possui uma diferença de custos totais de 99,66% em relação a função 2. Por outro lado, a função 3 possui o menor custo quando comparada as demais funções. Assim, cabe ao tomador de decisão decidir qual função escolher, se for mais avesso ao risco a função 2 é a melhor, se for médio a função 1, e se preferir correr o risco para ter o menor custo, escolheria a função 3.

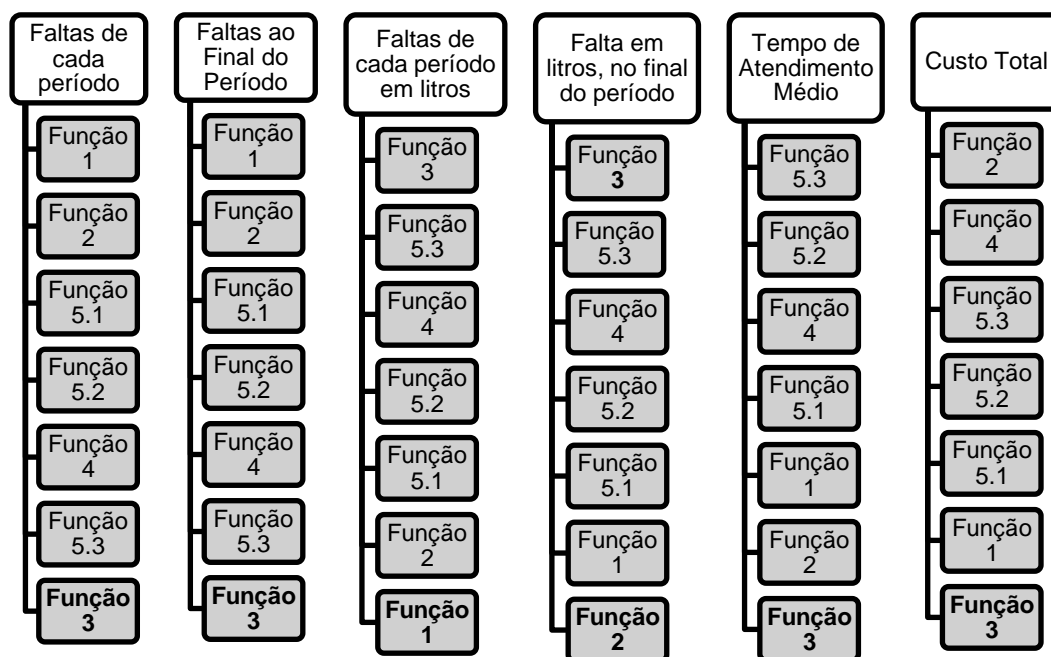


Figura 27 – Resultados da Defesa Civil-RJ

Uma comparação digna de nota é a discrepância dos custos totais das funções em que a função 3 (menor custo) é 99,9% menor que a função 2 (maior custo), a função 5.1 possui o mesmo percentual. De forma semelhante, a função 1 é 99,6% menor que a 2, a função 4 é a mais próxima de 2 sendo 79,5% menor que a 2. A função 5.2 é 99,3% menor que a 2 e a 5.3 98,7% menor.

Comparando os dois estudos de casos (Tabela 12), em relação a falta total em litros, ambos os estudos possuem o melhor resultado na função 1, sendo a diferença entre os resultados de apenas 1%. Em relação ao número total de produtos faltantes, para a CVB o melhor resultado é obtido com a função 3, o mesmo ocorre para SEDEC-RJ. Para o tempo médio de atendimento, os dois estudos indicam função a 3 como melhor, sendo o tempo da CVB 31% menor que o da Defesa Civil. Uma diferença importante para esse resultado é que a Defesa Civil não possui estoque inicial, enquanto a CVB possui.

Sobre os custos totais, ambos os casos possuem a função 3 com o menor custo, porém para a Cruz Vermelha o custo é 11% menor comparado a Defesa

Civil. O mesmo ocorre para a função 1, em que a diferença é de 2% e para a 5.1, em que o valor é de 1%. Para as funções 2 e 5.2 ocorre o oposto. O estudo da Defesa Civil é 1% maior, o mesmo ocorre para as funções 4 e 5.3 com 2% de diferença. A função 2 é a de maior custo nos dois casos, devido a seu alto valor de penalização.

Tabela 12– Comparativo entre os estudos de caso

Falta total de cada período em litros	Número total de produtos faltantes	Tempo médio de atendimento	Custo total	Falta total em litros no final do período	Falta total dos produtos no final do período
Em ambos os casos o melhor resultado é com a função 1	Em ambos os casos o melhor resultado é com a função 3	Em ambos os casos o melhor resultado é com a função 3	Menor custo com a função 3 para ambos os casos. O maior custo é com a função 2 para ambos os casos	Para a CVB a função 1 e para SEDEC-RJ a função 2 é o melhor e em segundo lugar a função 1	Em ambos os casos o melhor resultado é com a função 3

No que concerne a falta no final do período, as funções resultantes são diferentes para os casos. Para a CVB a melhor função foi a 1, em relação ao total em litros, já para a Defesa Civil foi a 2, porém a função 1 possui o segundo melhor resultado. A diferença dessa variável para os estudos foi de 1%. No que se refere ao total de produtos no final do período, para ambos a função 3 é a que obtém melhor resultado.

Com esses resultados, cabe a cada organização avaliar como quer realizar seu atendimento, visto que os níveis de atendimentos e os custos são discrepantes de acordo com cada função. Para uma análise mais aprofundada, seria necessário mais tempo para avaliar como o modelo se comporta a longo prazo. Para as validações empíricas pode-se concluir que a função obtém uma melhor entrega em litros, e a função 3 uma melhor entrega em unidades. Porém, não se pode generalizar, já que são realizados somente dois casos.

De acordo com Holguín-Veras *et al.* (2013), em que a função 2 é apresentada, é destacado que a questão prática de estimar empiricamente as funções custo de privação é uma área que precisa de pesquisas adicionais. Além disso, para que o modelo de penalidade variável tenha uma precisão, é necessário selecionar os parâmetros de maneira correta e especificar o tempo de privação como a variável independente chave. Assim, a análise dos parâmetros utilizados na função faz-se necessária para obter um melhor resultado com a utilização da função 2.

Holguín-Veras *et al.* (2016), em que as funções 5 são propostas, relembram que é necessário que os tomadores de decisão considerem as implicações

filosóficas e éticas dessas decisões, e que as modelagens fornecem informações básicas para eles. Moreno *et al.* (2018), que propuseram a função 4, sugerem que pode ser útil modelar os custos de privação com gravidade da vítima do desastre, penalizando mais os piores níveis de gravidade. Macea *et al.* (2018), o qual a função 1 é proposta, abordam que o principal desafio da função estimada é a não linearidade quando incluídas nos modelos de pós desastre, pois aumenta a complexidade dos algoritmos de solução.

Portanto, consonante com a literatura e com os resultados obtidos, ainda há gaps de pesquisa para encontrar uma função de privação que atenda as organizações de forma a garantir o melhor atendimento possível a população afetada.

6 Conclusões e Pesquisas Futuras

O objetivo geral dessa dissertação é analisar os efeitos da falta de suprimentos de alívio a população afetada por desastres. Além disso, considera-se os objetivos específicos: entender o estado da arte sobre custo de privação em modelos de logística humanitária; desenvolver um modelo matemático de gestão de estoques de água; analisar as diferentes funções de custo de privação encontradas na RSL; e validar os resultados obtidos por meio de um estudo empírico.

Na análise da RSL, 81 artigos são verificados e por meio da utilização dos critérios de exclusão 47 foram selecionados (Silva e Leiras, 2021). Desses 47, 15 artigos apresentam pesquisas relacionadas a água, que são apresentados no presente estudo. Essa análise permite a identificação do estado da arte das modelagens de custos de privação em relação a água. Além disso, a partir da análise conteúdo, uma taxonomia é apresentada caracterizando as modelagens encontradas, os tipos de desastres e entre outras informações. A RSL embasou ainda o desenvolvimento do modelo de gestão de estoque proposto no Capítulo 4.

Para a construção do modelo matemático de gestão de estoques considerando o custo de privação, é utilizada a metodologia de modelagem e simulação, que tem por objetivo a determinação da quantidade de água a ser adquirida e estocada para atender as vítimas de desastres. Além disso, é proposto um modelo de dois estágios e a incerteza é abordada de acordo com diferentes cenários possíveis.

Após a modelagem, a validação é executada por meio de estudo de caso múltiplo que utiliza como organização de análise a Cruz Vermelha do Brasil, que é uma sociedade civil filantrópica que atua em respostas a desastres, com o intuito de minimizar o sofrimento da população afetada. E, a Defesa Civil, que possui atividade em ações preventivas a desastres e a respostas deles. Assim, é possível analisar as funções de privação encontradas na literatura, de acordo com os custos, faltas e níveis de atendimento.

A partir da análise dos resultados do estudo de caso da CVB, é possível identificar a disparidade dos resultados gerados por cada função, chegando a 99%

de diferença em relação aos custos. A função 3, constante, possui melhor resultado, por possuir menor falta e melhor tempo de atendimento, além de possuir o menor custo. Por outro lado, a função 1, quadrática, possui menor falta em litros, e possui custo maior que a 3. Com isso, um tomador de decisão que se preocupe com a falta em relação as unidades, escolheria a função 3, e outro com o foco na falta em litros, escolheria a função 1.

Da mesma forma, para o estudo de caso da Defesa Civil, a disparidade no custo total também é de 99%. A função 3 (constante) é a que obteve melhor resultados quando analisado a falta de número de produtos e obteve também o menor tempo médio de atendimento atrasado. Além disso, possui o menor custo total comparado com as outras funções. Entretanto, se analisar a falta em litros, ela é a que possui maior falta total em litros. Nessa questão, a função 1 (quadrática) possui melhor resultado no somatório de faltas e a 2 (exponencial) o melhor na falta ao final do período.

Com a comparação dos resultados dos estudos de caso, conclui-se que para a falta total em litros a função 1 é a que apresenta o melhor resultado para ambos. Em relação aos custos, para os dois a função 3 apresenta menor custo e a função 2 o maior custo. O mesmo acontece para o tempo médio de atendimento, número total de produtos faltantes e a falta total dos produtos no final do período, em que a função 3 apresenta o melhor valor para ambos os casos. Para a falta total em litros no final do período os casos obtiveram funções distintas, para a CVB a função 1 é a com melhor resultado e para SEDEC-RJ a função 2. Faz-se importante destacar que a Defesa Civil não possui estoque inicial, o que impacta os resultados, e possui um produto a mais que a Cruz Vermelha.

Com isso, pode-se afirmar que o objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação são atendidos, visto que são analisados os efeitos da falta de água a população afetada. Com o atendimento a todos os objetivos, consequentemente a pergunta de pesquisa em que este estudo é baseado é respondida, com a apresentação do modelo de gestão de estoque que considerada a privação da água a população afetada por desastres, garantindo uma melhor entrega por meio da organização.

Com relação as limitações encontradas ao decorrer do desenvolvimento do estudo, pode-se incluir a obtenção de dados históricos, que no caso são substituídos por dados obtidos da literatura. Com isso, outra limitação é a não possibilidade de comparação de resultados reais com os resultados obtidos pelo modelo proposto. Ademais, as análises dos documentos resultantes da RSL incluem apenas documentos em inglês, revisados por pares e indexados nas

bases de dados Scopus e Web of Science. Além disso, a validação empírica, mesmo sendo com duas organizações, é restrita ao estado do Rio de Janeiro, limitando a generalização dos resultados.

Como contribuição acadêmica deste trabalho, pode-se pontuar os resultados referentes ao tema, com o desenvolvimento da RSL; desenvolvimento de um modelo de gestão de estoque básico, porém, que permite a análise das funções de privação encontradas na RSL; validação do modelo, possibilitando a análise de dois casos reais e, conseqüentemente, a aproximação da academia com as organizações de resposta por meio de uma pesquisa empírica. Pode-se concluir que esta pesquisa complementa a literatura acadêmica com um novo modelo de gestão de estoque que considera o custo de privação e uma análise das funções encontradas. O modelo pode ser aplicado a qualquer suprimento de alívio e para qualquer tipo de desastre, porém para este estudo somente a água foi considerada.

Este estudo contribui ainda com a comparação de funções de privação, cuja análise não foi encontrada em nenhum dos trabalhos analisados na RSL. Como há uma grande diferença do resultado, cabe aos tomadores decisão escolherem a melhor função para o caso em análise considerando custos e perfil de risco.

Como proposta de estudo futuro, sugere-se a aplicação do modelo para alimentos e outros suprimentos de alívio, adicionando suas especificações que podem alterar a modelagem, como a inclusão do prazo de validade dos produtos e a necessidade de armazenagem diferenciada, além de outros estudos empíricos para que se possa avaliar a padronização da função de privação que é a melhor a ser utilizada. Outro gap encontrado, é o estudo da fase mitigação, que não foi encontrado nos artigos analisados na RSL. Sugere-se também a atualização da RSL, que não fez parte do escopo do presente estudo.

Como *insights* para o desenvolvimento de novas funções, percebe-se a necessidade de integração das funções, para aproximar o nível de atendimento gerado, como também o custo aferido, além da consideração de implicações filosóficas e éticas a qual o tema necessita. O desenvolvimento de novas funções pode ser feito de maneira empírica, como sugerido por Holguín-Veras *et al.* (2013). Porém, como destacado por Kelle *et al.* (2014), existe o desafio na obtenção de dados, então a cooperação entre as organizações e a academia é de suma importância.

Referências bibliográficas

ALEM, D.; CLARK, A.; MORENO, A.. Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. **European Journal of Operational Research**, v. 255, n. 1, p. 187-206, 2016.

BALCIK, B.; BEAMON, B. M.; SMILOWITZ, K.. Last mile distribution in humanitarian relief. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, v. 12, n. 2, p. 51-63, 2008.

BALCIK, B.; BOZKIR, C. D.; KUNDAKCIOGLU, O. E.. A literature review on inventory management in humanitarian supply chains. **Surveys in Operations Research and Management Science**, v. 21, n. 2, p. 101-116, 2016.

BARBAROSOGLU, G.; ARDA, Y.. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. **Journal of the operational research society**, v. 55, n. 1, p. 43-53, 2004.

BEHL, A.; DUTTA, P.. Humanitarian supply chain management: a thematic literature review and future directions of research. **Annals of Operations Research**, v. 283, n. 1, p. 1001-1044, 2019.

BIRGE, J. R.; LOUVEAUX, F.. **Introduction to stochastic programming**. Springer Science & Business Media, 2011.

BISWAL, A. K.; JENAMANI, M.; KUMAR, S. K.. Warehouse efficiency improvement using RFID in a humanitarian supply chain: Implications for Indian food security system. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 109, p. 205-224, 2018.

BORGES, M.; HOPPEN, N.; LUCE, F. B.. Information technology impact on market orientation in e-business. **Journal of business research**, v. 62, n. 9, p. 883-890, 2009.

BRASIL. Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 abril 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 17 de junho de 2021.

BRITO JUNIOR, I.. **Localização de depósitos de suprimentos de alívio para resposta a desastres através de programação linear estocástica e análise de decisão com múltiplos critérios**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. doi:10.11606/T.3.2016.tde-31032016-092607. Acesso em: 2021-06-05.

BRITO JUNIOR, I. D.; LEIRAS, A.; YOSHIKAZI, H. T. Y.. A multi-criteria stochastic programming approach for pre-positioning disaster relief supplies in Brazil. **Production**, v. 30, 2020.

BROCKE, J. V., SIMONS, A., NIEHAVES, B., NIEHAVES, B., REIMER, K., PLATTFAUT, R.; CLEVEN, A.. Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. 2009.

BROWN, G. G.; DELL, R. F. Formulating integer linear programs: A rogues' gallery. **INFORMS Transactions on Education**, v. 7, n. 2, p. 153-159, 2007.

CANTILLO, V.; MACEA, L. F.; JALLER, M.. Assessing vulnerability of transportation networks for disaster response operations. **Networks and Spatial Economics**, v. 19, n. 1, p. 243-273, 2019.

CAUCHICK MIGUEL, P. A., FLEURY, A., MELLO, C., NAKANO, D. N., TURRIONI, J. B, LIMA, E.P., HO L.L, MORABITO R., MARTINS, R.A., SOUSA, R., COSTA, S.E.G., PUREZA, V.. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elzevir**, 2012.

CAVDUR, F.; KOSE-KUCUK, M.; SEBATLI, A.. Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 19, p. 159-166, 2016.

CONDEIXA, L. D.; LEIRAS, A.; OLIVEIRA, F.; DE BRITO JR, I. Disaster relief supply pre-positioning optimization: A risk analysis via shortage mitigation. **International journal of disaster risk reduction**, v. 25, p. 238-247, 2017.

CRED - Centre of Research for the Epidemiology of Disasters. **International Disaster Database 2020**, 2021. Disponível em: <http://www.emdat.be/>. Acesso em: 11 de julho 2021.

CVB. **Cruz Vermelha Brasileira**. Disponível em: <https://www.cruzvermelharj.org.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

DANTZIG, G. B.; INFANGER, G.. **A probabilistic lower bound for two-stage stochastic programs**. Stanford Univ., Dept. of Operations Research, CA (United States), 1995.

DIEDRICHS, D. R.; PHELPS, K.; ISIHARA, P. A. Quantifying communication effects in disaster response logistics: A multiple network system dynamics model. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2016.

EFRON, B.. Bootstrap methods: another look at the jackknife. In: **Breakthroughs in statistics**. Springer, New York, NY, 1992. p. 569-593.

EM-DAT (2021). **The international disaster database**. Disponível em: <https://public.emdat.be/data> .Acesso em: 24/05/2021.

ESFERA, A. O manual Esfera: Carta Humanitária e Normas Mínimas para resposta Humanitária. **Manual Genebra, Suíça: Associação Esfera**, 2018.

ESHGHI, K.; LARSON, R. C. Disasters: lessons from the past 105 years. **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, 2008.

FALASCA, M.; ZOBEL, C. W. A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2011.

FILIPPINI, R.. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations & Production Management**, 1997.

GRALLA, E.; GOENTZEL, J.. Humanitarian transportation planning: Evaluation of practice-based heuristics and recommendations for improvement. **European Journal of Operational Research**, v. 269, n. 2, p. 436-450, 2018.

GRASS, E.; FISCHER, K.. Two-stage stochastic programming in disaster management: A literature survey. **Surveys in Operations Research and Management Science**, v. 21, n. 2, p. 85-100, 2016.

HOLGUÍN-VERAS, J.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.; PÉREZ, N.; WACHTENDORF, T.. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. **Journal of Operations Management**, v. 30, n. 7-8, p. 494-506, 2012.

HOLGUÍN-VERAS, J.; PÉREZ, N.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.; AROS-VERA, F.. On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. **Journal of Operations Management**, v. 31, n. 5, p. 262-280, 2013.

HOLGUÍN-VERAS, J.; AMAYA-LEAL, J.; CANTILLO, V.; VAN WASSENHOVE, L. N.; AROS-VERA, F.; JALLER, M. .Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment. **Journal of Operations Management**, v. 45, p. 44-56, 2016.

HOYOS, M. C.; MORALES, R. S.; AKHAVAN-TABATABAEI, R.. OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. **Computers & Industrial Engineering**, v. 82, p. 183-197, 2015.

HU, S.; DONG, Z. S.. Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief. **Omega**, v. 83, p. 287-298, 2019.

JABBOUR, C. J. C.; SOBREIRO, V. A.; DE SOUSA JABBOUR, A. B. L.; DE SOUZA CAMPOS, L. M.; MARIANO, E. B.; RENWICK, D. W. S..An analysis of the literature on humanitarian logistics and supply chain management: paving the way for future studies. **Annals of Operations Research**, v. 283, n. 1, p. 289-307, 2019.

JALALI, S.; WOHLIN, C.. Systematic literature studies: database searches vs. backward snowballing. In: **Proceedings of the 2012 ACM-IEEE international symposium on empirical software engineering and measurement**. IEEE, 2012. p. 29-38.

KAWASAKI, B. C.; BRITO JR, I.; LEIRAS, A.; YOSHIZAKI, H. T. Y.. Logística de resposta a desastres: o caso das chuvas no vale do Paraíba Paulista em janeiro de 2010. In: **Anais do XXXII Congresso Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2012.

KELLE, P.; SCHNEIDER, H.; YI, H.. Decision alternatives between expected cost minimization and worst case scenario in emergency supply—Second revision. **International Journal of Production Economics**, v. 157, p. 250-260, 2014.

LEIRAS, A.; RIBAS, G.; HAMACHER, S.; ELKAMEL, A. Tactical and operational planning of multirefinery networks under uncertainty: an iterative integration approach. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 25, p. 8507-8517, 2013.

LEIRAS, A.; DE BRITO JR, I.; PERES, E. Q.; BERTAZZO, T. R.; YOSHIZAKI, H. T. Y.. Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2014.

LOREE, N.; AROS-VERA, F.. Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 116, p. 1-24, 2018.

MACEA, L. F., AMAYA, J., CANTILLO, V., & HOLGUIN-VERAS, J.. Evaluating economic impacts of water deprivation in humanitarian relief distribution using stated choice experiments. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 28, p. 427-438, 2018.

METE, H. O.; ZABINSKY, Z. B. Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 1, p. 76-84, 2010.

MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; STEWART, L. A.. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic reviews**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2015.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A.. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213-228, 2016.

MORENO, A.; ALEM, D.; FERREIRA, D.; CLARK, A. An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 269, n. 3, p. 1050-1071, 2018.

NUNES, R. M. S.; PEREIRA, S. C. F.. Intellectual structure and trends in the humanitarian operations field. **Annals of Operations Research**, p. 1-59, 2021.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, N.; HOLGUÍN-VERAS, J.. Inventory-allocation distribution models for postdisaster humanitarian logistics with explicit

consideration of deprivation costs. **Transportation Science**, v. 50, n. 4, p. 1261-1285, 2016.

RIBAS, G. P.; LEIRAS, A.; HAMACHER, S.. Operational planning of oil refineries under uncertainty Special issue: Applied Stochastic Optimization. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 23, n. 4, p. 397-412, 2012.

SEDEC-RJ. **Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://defesacivil.rj.gov.br/index.php>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.

SEN, S.; HIGLE, J. L. An introductory tutorial on stochastic linear programming models. **Interfaces**, v. 29, n. 2, p. 33-61, 1999.

SERRATO, M.; MURILLO, R. Multiobjective Optimization For Humanitarian Logistics Operations Through The Use of Mobile Technologies.

SERRATO-GARCIA, M. A.; MORA-VARGAS, J.; MURILLO, R. T.. Multi objective optimization for humanitarian logistics operations through the use of mobile technologies. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2016.

SHAO, J.; WANG, X.; LIANG, C.; HOLGUÍN-VERAS, J.. Research progress on deprivation costs in humanitarian logistics. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 42, p. 101343, 2020.

SILVA, M. A.; LEIRAS, A.. The deprivation cost in humanitarian logistics: a systematic review. **International Joint conference on Industrial Engineering and Operations Management**. Aguardando publicação até setembro de 2021.

THOMAS, A.; MIZUSHIMA, M.. Logistics training: necessity or luxury. **Forced migration review**, v. 22, n. 22, p. 60-61, 2005.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J.. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016.

TORRACO, Richard J. Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. **Human resource development review**, v. 4, n. 3, p. 356-367, 2005.

UNISDR - United Nations International Strategy For Disaster Reduction. **2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction**. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>, Acesso em: 05 março 2021.

VISKUP, P.; GÁLOVÁ, K.. Warehouse design for production needs. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2019. p. 01054.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Operations management case research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WANG, X. J.; PAUL, J. A. Robust optimization for hurricane preparedness. **International Journal of Production Economics**, v. 221, p. 107464, 2020.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. **MIS quarterly**, p. xiii-xxiii, 2002.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos/Robert K. Yin. Trad. Daniel, 2001.

YIN, R. K. Case study research: design and methods. Fifth edit. **United Stated of America**, 2014.

YU, L.; ZHANG, C.; YANG, H.; MIAO, L.. Novel methods for resource allocation in humanitarian logistics considering human suffering. **Computers & Industrial Engineering**, v. 119, p. 1-20, 2018.

YU, L.; YANG, H.; MIAO, L.; ZHANG, C.. Rollout algorithms for resource allocation in humanitarian logistics. **IIE Transactions**, v. 51, n. 8, p. 887-909, 2019.

ZHANG, L.; CUI, N.. Pre-Positioning Facility Location and Resource Allocation in Humanitarian Relief Operations Considering Deprivation Costs. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4141, 2021.

Apêndice 1 – Questionário

O seguinte questionário foi enviado as organizações para obtenção dos dados para o modelo de gestão de estoques:

- Quais são os seguintes custos estimados (para obtermos o custo de armazenagem):
 - o Água;
 - o Luz;
 - o Manutenção;
 - o Seguro;
 - o IPTU;
 - o Aluguel;
 - o Mão de Obra;
 - o Custo de oportunidade? Capital empatado?
- Existe um % do espaço utilizado para água? Ou alguma divisão para cada produto? Ou histórico do que geralmente é utilizado?
 - Nos desastres anteriores, existia água em estoque para destinar a população afetada? Existe quantidade mínima de estoque de água? Ou geralmente tem água em estoque?
 - Existe uma média de doação de água em caso de desastres? Existe um histórico de doação de água?
 - Como são feitas as compras no caso da água? Existe prioridade de alguma embalagem (galão, garrafa, copo)?