



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Análise por simulação discreta do transporte de itens de assistência humanitária em casos de desastres naturais

Ivana Righetto Moser

Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina

Ricardo Villarroel Dávalos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial – PPGTG/UFSC

João Carlos Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial – PPGTG/UFSC

Resumo: As inundações que atingiram o estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024 exigiram uma grande mobilização nacional para atendimento das populações atingidas. Esse tipo de desastre climático não foi um caso isolado e é provável que se repita com maior frequência e intensidade nos próximos anos. Dentro da Logística humanitária, estudos de processos de transportes que busquem diminuir os tempos de entrega de itens humanitários às pessoas atingidas e que envolvam simulação computacional poderiam ser mais utilizados. Esse artigo analisou os tempos de entrega de itens humanitários a partir dos centros de distribuição, aplicando a simulação computacional e utilizando dados reais de aquisição e entrega de itens de assistência humanitária em municípios atingidos por eventos de chuvas intensas. O estudo de caso foi feito em eventos de chuvas intensas ocorridos em Santa Catarina no ano de 2022 e as simulações foram realizadas em cenários onde a infraestrutura de transporte foi impactada. Como resultados observou-se um aumento significativo de *lead times* nos cenários pessimista, seguido do moderado, concomitante com o número de observações caindo pela metade em considerações normais.

Palavras-chave: Simulação computacional, transporte, eventos de chuvas intensas, logística humanitária.

Discrete simulation analysis of the transportation of humanitarian assistance items in cases of natural disasters

Abstract: The floods that hit the state of Rio Grande do Sul in 2024 required a major national mobilization to assist the affected populations. This type of climate disaster was not an isolated case and is likely to repeat itself with greater frequency and intensity in the coming years. Within humanitarian logistics, studies of transportation processes that seek to reduce the delivery times of humanitarian items to the affected people and that involve computer simulation could be used more. This article analyzed the delivery times of humanitarian items from distribution centers, applying computer simulation and using real data on the acquisition and delivery of humanitarian assistance items in municipalities affected by heavy rainfall events. The case study was carried out in heavy rainfall events that occurred in Santa Catarina in 2022 and the simulations were carried out in scenarios where the transportation infrastructure was impacted. As a result, a significant increase in lead times was observed in the pessimistic scenarios, followed by the moderate one, concomitantly with the number of observations falling by half in normal considerations.

Keywords: Computer simulation, transport, heavy rain events, humanitarian logistics.

1. Introdução

As inundações que atingiram as cidades gaúchas em abril e maio de 2024 exigiram uma grande mobilização nacional para atendimento das populações atingidas. O último balanço apresentado pela defesa civil do estado do Rio Grande do Sul (RS) indicou que 478 municípios foram afetados pelas fortes chuvas, atingindo 2.398.255 pessoas, dentre essas 806 ficaram feridas, 27 ainda permanecem desaparecidas e 183 pessoas vieram a óbito (Defesa Civil RS, 2024). O nível das águas dos rios e lagos subiu rapidamente e permaneceu acima da cota de inundação em muitas cidades por semanas (Paiva *et al.*, 2024). Além de casas e prédios públicos atingidos, barreiras sucessivas se formaram nas rodovias e localidades urbanas rurais dificultando a passagem de ajuda humanitária as pessoas atingidas (CRBM, 2024a; CRBM, 2024b).

Outros eventos catastróficos no sul do Brasil registraram esforços semelhantes e estudos foram desenvolvidos no que tange a mitigação da população atingida com a distribuição dos itens de primeira necessidade às populações desalojadas ou isoladas em suas casas. (Lima *et al.* 2022, 2016; Mazera, 2022; Cini; Dávalos, 2022; Thomazella, 2023). Os desastres provocados por chuvas intensas como esses não são isolados e são esperados que sua ocorrência tenha maior frequência e intensidade nos próximos anos (Paiva *et al.*, 2024).

Esforços para mitigar o sofrimento de pessoas atingidas por desastres são conhecidos mundialmente, como exemplo, entrega de itens de primeira necessidade. Também de forma global a comunidade acadêmica busca formas de otimizar os procedimentos por meio de estudos que envolvem a logística humanitária (LH) (Ferreira; Santos, 2024), muitas vezes em busca de diminuir os tempos de entrega até a última milha. Estudos que utilizam a simulação computacional em gestão de transporte em LH embasam a atual pesquisa: Lima *et al.* (2016) que estuda os tempos de resposta com escolha do melhor esquema de entrega de itens de assistência humanitária e Silva *et al.* (2017) que utiliza dados reais de eventos no estado de SC para verificar os tempos de entrega, por meio da simulação com software Arena.

Esse trabalho teve por objetivo estudar os tempos de entrega de itens humanitários (IH) a partir dos centros de distribuição (CDs), aplicando a simulação computacional e utilizando dados reais de aquisição e entrega de itens de assistência humanitária em municípios atingidos por evento de chuvas intensas. Para isso, é replicado o modelo estudado em Silva *et al.* (2017) com recorte de eventos de chuvas intensas no ano de 2022 em SC.

O artigo está organizado da seguinte forma: A seção 1 introduz o tema e o recorte que será tratado no artigo. Na seção 2 é apresentado um referencial teórico contemplando os principais conceitos de LH, a caracterização de eventos de chuva, os itens humanitários e, na sequência, faz-se uma explanação sobre a aplicação da simulação computacional e o software utilizado na pesquisa. Na seção 3 é apresentado o método adotado nessa pesquisa com a descrição do Modelo Conceitual, seguido do Estudo de Caso, com a explanação da coleta de dados e dos centros de distribuição. São então apresentados na seção 4 as Simulações, os Resultados obtidos e sua análise, com a apresentação dos parâmetros e dos cenários, e então, o Modelo Computacional adotado na pesquisa. Por fim, na seção 5 apresenta-se as Conclusões dessa pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

Nesta seção são apresentadas as principais fontes, obras e referências consultadas, relacionadas ao tema da pesquisa.

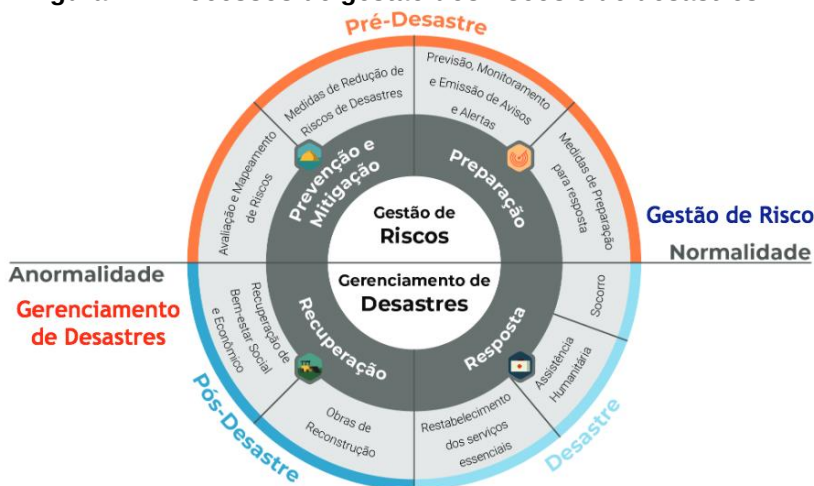
2.1 Logística humanitária e gestão de risco

A logística humanitária é descrita por Apte (2009) como uma área específica da logística dedicada a gerenciar a cadeia de fornecimento de respostas de suprimentos e serviços críticos em situações de desastres naturais ou provocados pelo homem. Segundo a autora, o propósito da logística humanitária é lidar com a demanda, as previsões incertas, os períodos críticos devido a fragilidades na infraestrutura, e a grande escala das operações. Seu objetivo principal é de salvar o maior número de vidas e minimizar ao máximo o sofrimento das pessoas (Lima, 2024).

Ferreira e Santos (2024) apontam uma tendência de aumento no número de pesquisas que envolvem LH e identificam nos campos de pesquisa afins trabalhos voltados a inovação, *big data*, simulação computacional e sistemas de decisão na cadeia de LH.

Dentro da logística humanitária, o ciclo do desastre tem a seguinte evolução: preparação, resposta ao desastre e ajuda humanitária (Apte, 2009). De acordo com TRB (2010), esse ciclo envolve quatro etapas: preparar, responder, recuperar e mitigar. Freitas *et al.* (2023) compreendem a prevenção, mitigação e preparação dentro do período de normalidade, ou pré-desastre, e a recuperação e resposta ao desastre dentro do período de anormalidade, após a ocorrência do desastre, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Processos de gestão dos riscos e de desastres.



Fonte: Freitas et al. (2023)

De acordo com UNISDR (2009), um desastre é quando uma comunidade ou sociedade deve lidar com um grande número de mortes, perdas e impactos materiais, econômicos e ambientais, causado por uma perturbação grave que extrapole o seu controle à situação.

Desastres como terremotos, inundações, ataques terroristas, entre outros são eventos emergenciais imprevisíveis. O êxito de uma operação está fortemente ligado a um planejamento logístico eficaz, que deve abranger não apenas a infraestrutura, mas também a armazenagem, o transporte e a coordenação de materiais, informações e pessoas (Lima *et al.*, 2016).

O termo "risco" representa a probabilidade de ocorrência de um desastre que acontece sempre que há uma combinação entre ameaça e vulnerabilidade. Exprimido em uma fórmula matemática o risco de desastres (R) pode ser representado como a relação entre a potencialidade de uma ameaça, multiplicado pela vulnerabilidade de uma pessoa, lugar, país, entre outros. Ameaça é uma indicação de ocorrência de um fenômeno adverso e tem em sua origem uma possível identificação. A vulnerabilidade é a indicação de algo frágil em algo ou alguém e pode se apresentar de forma isolada ou em um conjunto de vários fatores, como: os fatores socioeconômico, cultural, religioso, ambiental, político, informacional e comunicacional (UNISDR, 2009).

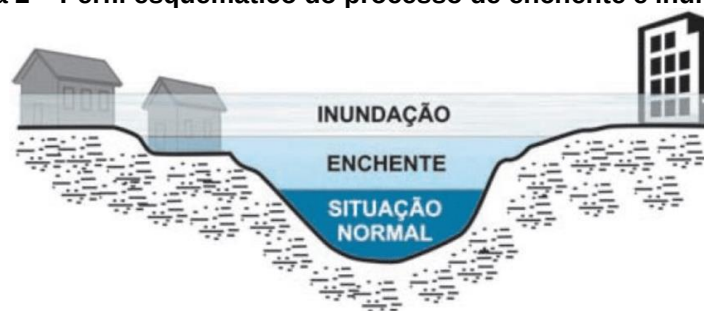
O aumento dos eventos climáticos extremos, que, provavelmente, se deve às mudanças no clima, deveria ser acompanhado pela evolução da LH que permitiria reduzir significativamente o número e o sofrimento das vítimas. Entretanto, essa diminuição ainda não se mostrou suficiente (Fatemi, 2020).

O estado de Santa Catarina (SC) possui 100 % de sua área em risco e tem a maior diversidade de desastres do país (Panceri, 2024). O maior número de eventos é de estiagem, contudo os eventos de chuvas intensas são também numerosos e igualmente problemáticos.

2.2 Os eventos de chuva intensa

Dentro dos desastres naturais, os hidrológicos, ocasionado por altos índices pluviométricos, associados ao relevo e a condições de drenagem, dividem-se entre: inundações, quando há a submersão de áreas fora dos limites de cursos de água e o transbordamento ocorre gradualmente (Figura 2); enxurradas que tem grande poder destrutivo e caracteriza-se por escoamento superficial de alta velocidade; e alagamentos que são acúmulos de águas em infraestruturas urbanas devido a extrapolação da capacidade de escoamentos das águas dessas chuvas intensas (COBRADE, 2021).

Figura 2 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: Brasil, 2007

As mudanças climáticas vêm causando sucessivos eventos extremos para o globo, incluindo o sul do Brasil. Paiva *et al.* (2024) indicam critérios hidrológicos que possibilitam a adaptação da infraestrutura, da gestão de risco e do planejamento aos impactos mudança climática nas chuvas e cheias extremas no sul do Brasil. Os autores veem como fundamental a atualização das estimativas frente ao aumento na magnitude e alteração na frequência do evento de chuva.

Sendo apontado como o maior evento de inundação da história do país, as chuvas de abril e maio de 2024 no RS foram precedidas de outros eventos de grande impacto na população e na economia do sul do Brasil. Em setembro e novembro de 2023 o RS enfrentou os altos volumes de chuvas ocasionaram cheias em diversos rios do estado gaúcho (Paiva *et al.*, 2024). Em SC as intensas precipitações deixaram marcas em diversas ocasiões como, por exemplo: no Morro do Baú em Ilhota, em 2008, na cidade de Blumenau com as inundações de 1984 e Rio do Sul desde a década de 1930. A região do Vale do Itajaí como um todo, desde a instalação dos colonos, registra marcas de devastação e perdas a sociedade (Guimarães, 2012; Lima *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017).

2.3 Entrega de itens humanitários

A defesa civil (DC) de cada estado e município tem o fundamental papel da gestão de riscos e desastres, visando a proteção em ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e reconstrução. Ela atua não apenas em eventos climáticos, mas em todos os tipos de eventos adversos como Covid-19, greve dos caminhoneiros, entre outros (Panceri, 2024).

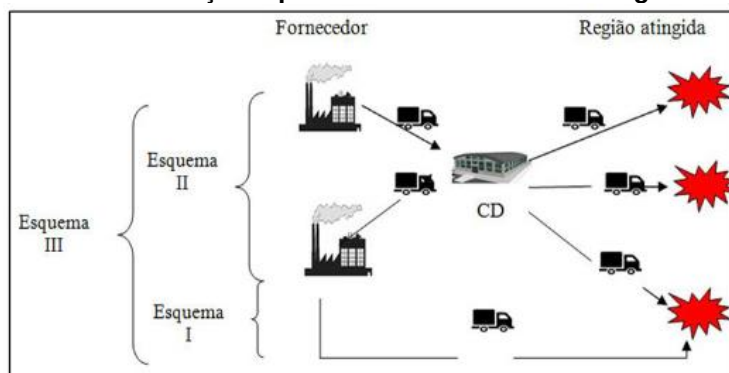
A gestão de uma cadeia de suprimentos humanitária prevê uma coordenação eficiente da aquisição, armazenamento e distribuição de recursos essenciais para locais atingidos por desastres climáticos, conflitos ou outras crises humanitárias. Nessas situações os principais

tipos de demandas são: alimentos, água potável, abrigo, atendimento médico e medicamentos, produtos de higiene pessoal, roupas, combustível, comunicação e transportes, e ter um plano de contingências é crucial nesses cenários. (Thomas; Kopczak, 2007).

Em caso de eventos extremos, o município pode decretar estado de emergência ou calamidade e indica os itens de primeira necessidade essenciais naquela ocasião. A partir do decreto que é possível que a DC inicie a entrega total ou complementar dos itens humanitários. Complementarmente, a entrega de outros itens, principalmente os perecíveis, pode ser realizada por fornecedores cadastrados previamente em um banco de dados e que são acionados no momento de demanda (Panceri, 2024).

O esquema de distribuição introduzido por Lima *et al.* (2016) exprime três situações possíveis de entrega de IH a partir do fornecedor para um local atingido por um desastre, conforme mostra a Figura 3. No esquema I o fornecedor faz a entrega do produto até o município atingido diretamente e o esquema II representa a situação em que o fornecimento do produto passa por um centro de distribuição antes de ser entregue a região. O esquema III, mostra a situação que, dependendo da urgência e da gravidade da região atingida, os dois esquemas anteriores são acionados ao mesmo tempo, promovendo uma entrega agilizada e facilitada.

Figura 3 – Esquema de distribuição a partir do fornecedor até a região atingida por desastre.



Fonte: Lima *et al.* (2016)

Em operações humanitárias, é fundamental que a entrega de suprimentos e a assistência sejam rápidas, pois qualquer atraso pode ocasionar consequências severas. Assim, a eficiência logística é vital para garantir um fluxo ininterrupto de bens e serviços em uma cadeia de suprimentos complexa (Thomas; Kopczak, 2007).

2.4 Simulação computacional e o Software Arena

A simulação computacional é amplamente utilizada como um recurso econômico e preciso, em contextos complexos e de difíceis previsibilidades, como em estudos em logística humanitária (Ferreira; Santos, 2024).

O software Arena da Rockwell Automation é uma ferramenta utilizada com frequência para a modelagem e simulação da logística de entrega dos IH. Como vantagens tem-se na versão gratuita para uso acadêmico os mesmos recursos da versão paga, com a diferença de não se possível simular modelos de grandes dimensões. É uma ferramenta de fácil utilização, bastante intuitiva, com uma interface comum aos softwares mais utilizados atualmente. Nele são possíveis criar fluxogramas, identificar gargalos dentro da cadeia de entregas, fazer estudos de filas de processos, dentre outras funcionalidades. Pode-se desenvolver cenários 2D e 3D. Afirmar-se ser o principal software de simulação de eventos discretos do mundo (Rockwell, 2024).

Cita-se alguns exemplos de trabalhos que utilizam o software Arena para estudo de estoque de produtos (Carvalho; Lima; Ichihara, 2020), processos de transporte e armazenamento (Oliveira, 2019), entrega de IH (Silva *et al.*, 2017) e doações (Varella; Gonçalves, 2019).

3. Materiais e Métodos

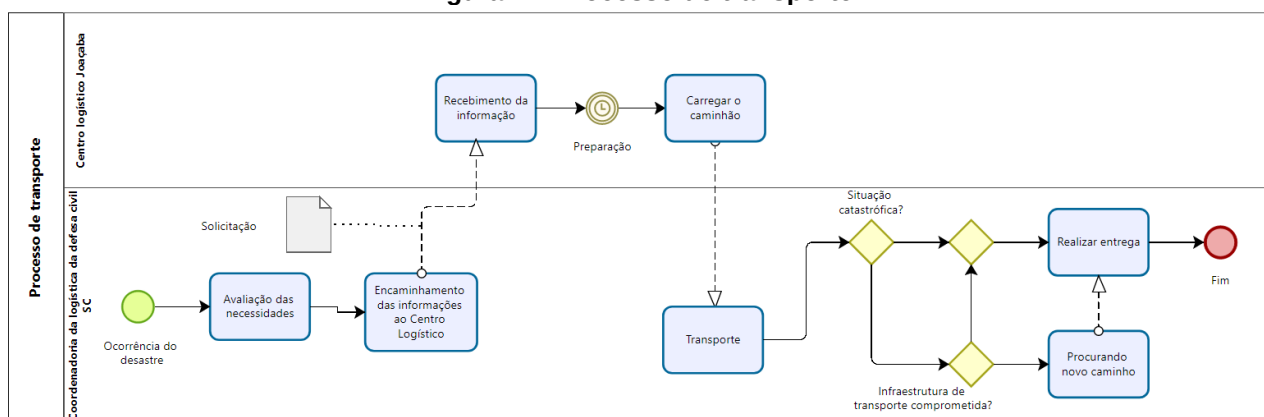
Para essa pesquisa foi empregado estudo de caso e pesquisa experimental. Estudo de caso, pois são obtidos e aplicados dados do estado de SC em eventos de chuvas intensas. O estudo de caso possibilita interpretações do contexto em que o objeto a ser pesquisado se insere e, a partir das observações dos objetos, a comparação de dados e as suas avaliações (Yin, 2003). A pesquisa experimental se debruça numa situação definida por variáveis, sendo feitos estudos a partir deles e verificação das consequências (Gil, 2008). O artigo busca conhecer uma situação de desastres causados por chuvas intensas, no estado de SC e os atendimentos realizados à população atingida.

Para esse trabalho foi feita coleta de dados, seguida de adaptação do modelo de Silva *et al.* (2017). Foram definidos os cenários para esse estudo e, após a execução das simulações computacionais utilizando para isso o software Arena, os resultados extraídos foram analisados de forma comparativa.

3.1 Modelo conceitual

O processo de transporte, elaborado pelos pesquisadores Silva *et al.* (2017), e que é adaptado nesse trabalho, é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Processo de transporte.



Fonte: Autores, baseado em Silva *et al.* (2017)

Nesse o processo de transportes está separado em duas partes ou *pools*. A partir do momento da ocorrência do desastre, é feita a avaliação das necessidades e encaminhamento das informações ao centro logístico que melhor irá atender a região afetada. Também ocorre o transporte dos itens humanitários, levando-se em consideração a decisão de atraso na entrega dependendo das condições da infraestrutura de transporte, até a realização da entrega no município necessitado. Numa segunda parte do processo, uma fase intermediária, ocorre no centro logístico designado pela coordenação da defesa civil, onde é feita a preparação e carregamento do caminhão com os itens necessários.

3.2 Estudo de caso

Devido à ausência de dados consolidados referentes ao desastre ocorrido no RS no ano de 2024, até a realização desse artigo, o trabalho foi embasado em dados obtidos pela Defesa Civil, no ano de 2022, no estado de Santa Catarina. A escolha deve-se ao fato desses dados serem recentes, mais precisos e por ser um ano com elevado número de desastres, o que dá a esse estudo um comparativo mais próximo aos eventos ocorridos

no RS. Contudo, sabe-se que a magnitude da catástrofe gaúcha teve maior proporção do que as ocorridas em áreas de SC.

3.1.1 Coleta de dados

As informações referentes aos desastres ocorridos em SC foram primeiramente disponibilizadas pela Secretaria de Estado da Defesa Civil de Santa Catarina (SEDC/SC), dentre os anos de 2013 e 2023. A partir dos decretos municipais de cada evento, Lobato e Dávalos (2023) realizaram o cruzamento dos dados de quantidades de IH aos locais atingidos. Com esses dados foi possível filtrar por aqueles entregues pela DC do estado, e que partem dos CDs, e exprimir as distribuições de probabilidade que representam essas quantidades, com auxílio da ferramenta *Input Analyser* do Arena (Tabela 1).

Tabela 1 – Funções de probabilidade dos itens humanitários entregues pelos CDs no ano de 2022 em SC.

Itens humanitários	Funções
Colchão solteiro	TRIA(0.999, 55.9, 770)
Kit acomodação solteiro	TRIA(0.999, 105, 1.46e+03)
colchão casal	TRIA(2, 49.6, 669)
Kit acomodação casal	TRIA(2, 70.1, 819)

Fonte: Autores (2024)

3.1.2 Centros de distribuição

Atualmente, a defesa civil de SC possui três centros de distribuição localizados estrategicamente para atender as regiões que possuem maior histórico de ocorrência de situações catastróficas no estado. São eles: CELOG-FL, localizado na cidade de Florianópolis, CELOG-JB em Joaçaba e CELOG-RS, situado na cidade de Rio do Sul.

A partir das localizações dos CDs e dos municípios que foram atendidos por cada um desses centros logísticos no ano de 2022, puderam ser verificados os tempos de deslocamento entre cada ponto: partida e entrega, feita por meio rodoviário. Na Tabela 2 pode-se observar as distribuições de probabilidade que representam esses tempos de deslocamento, também obtidas com auxílio da ferramenta *Input Analyser* do Arena.

Tabela 2 – Funções de probabilidade dos tempos de entrega dos CDs aos municípios atingidos no ano de 2022 em SC.

Centro logístico	Funções
CELOG - JOAÇABA	TRIA(90, 106, 250)
CELOG - FLORIPA	TRIA(110, 110, 170)
CELOG - RIO DO SUL	TRIA(5, 16, 115)

Fonte: Autores (2024)

A partir desses dados pode-se alimentar o software Arena para realizar as simulações e verificar os resultados que são apresentados no próximo item.

4 Simulações e resultados

A partir da adaptação do modelo conceitual Silva *et al.* (2017) e modelagem computacional no software Arena foram experimentados o cenário inicial (Tabela 2) e três outros cenários para estudar os tempos de entrega em que a infraestrutura é comprometida frente as dificuldades impostas pelo clima em eventos climáticos extremos.

4.1 Parâmetros das simulações

Como *inputs* ou informações de entrada no modelo computacional: as funções de probabilidade que exprimem as quantidades de IH e os tempos de entrega, citados no item anterior. Foi programado 14 dias de tempo de simulação, cada dia contando com 24 horas disponíveis para atendimento das entregas e foram definidas 10 replicações para esse estudo (Silva *et al.* 2017). Como dados de saída de cada simulação obteve-se os *lead times* de atendimento dos CDs aos municípios atingidos pelos desastres.

4.2 Cenários

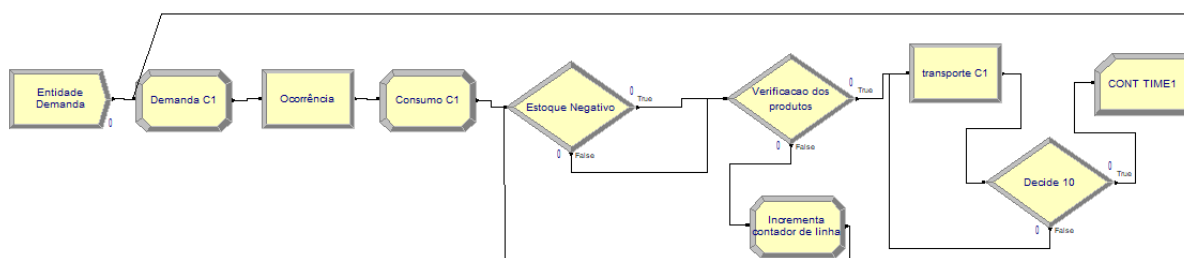
O cenário inicial para todas as simulações são os tempos normais de trajeto entre os endereços dos CELOGs do estado até os locais atingidos (Tabela 2). Para os demais cenários, foram adotadas decisões que levam em conta as situações de desastres onde a infraestrutura de transporte é impactada. Esses percentuais adotados em Bataglin e Alem (2014, apud Silva *et al.*, 2017), estatisticamente, representam o número de rotas que mantém suas condições de transporte inalteradas dependendo da intensidade da catástrofe: 10 % em desastres de grande, 30 % médio e 70 % em desastres pequeno porte. Nomeou-se os cenários pessimista (P), moderado (M) e otimista (O), respectivamente.

4.3 Modelo computacional

Com base no modelo conceitual e nos dados de entrada, pôde-se então construir o modelo computacional adaptado de Silva *et al.* (2017). A Figura 5 exemplifica a dinâmica de transporte do CD de Joaçaba até os municípios atingidos. Esse modelo é adotado para cada CD e para cada cenário estudado. Inicia-se com a entrada e classificação das demandas, com a função *Assign*. As funções de probabilidade referentes as demandas de IH alimentam a etapa “consumo” e as de tempo de entrega, para cada um dos trajetos e cenários, são informadas ao modelo na etapa “transporte”. A função *decide* é responsável no processo pela informação de decisão referente ao percentual de rodovias que se encontram inalteradas durante o processo de transporte.

Figura 5 – Dinâmica de transportes no simulador Arena.

Demanda - CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO - JOAÇABA



Fonte: Autores (2024)

O modelo se repete para os outros dois CDs e apresenta-se na Tabela 3 e no Gráfico 1 os *lead times* extraídos das simulações.

O cenário inicial para cada CD considerou o transporte sendo realizado em um período em que as condições das rodovias não são alteradas. Para esse cenário obteve-se os tempos médios de: 22,22; 21,97 e 21,00 minutos, para os CELOGs de Joaçaba, Florianópolis e Rio do Sul, respectivamente.

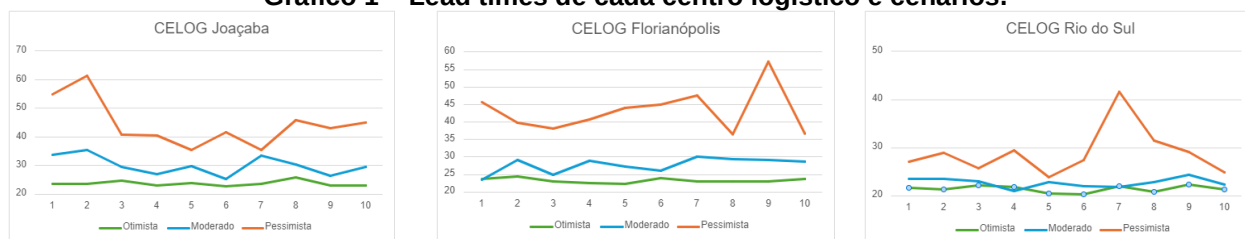
Tabela 3 – Lead times obtidos nas simulações.

Lead Time (min)	Situação normal			Cenário otimista			Cenário moderado			Cenário pessimista		
	CELOG - JOAÇABA	CELOG - FPOLIS	CELOG - RIO DO SUL	CELOG - JOAÇABA	CELOG - FPOLIS	CELOG - RIO DO SUL	CELOG - JOAÇABA	CELOG - FPOLIS	CELOG - RIO DO SUL	CELOG - JOAÇABA	CELOG - FPOLIS	CELOG - RIO DO SUL
1	21,633	21,584	20,583	23,619	23,758	21,693	33,764	23,360	23,510	54,846	45,577	27,022
2	23,221	22,246	21,216	23,451	24,336	21,285	35,497	29,106	23,540	61,401	39,829	28,980
3	22,297	21,035	20,561	24,656	23,111	22,069	29,370	24,794	23,009	40,666	38,014	25,695
4	21,747	23,030	20,702	23,076	22,408	21,820	26,832	28,796	20,940	40,401	40,742	29,494
5	21,784	21,843	21,086	23,717	22,282	20,500	29,829	27,204	22,810	35,560	44,015	23,852
6	22,073	21,691	20,510	22,848	23,939	20,308	25,278	26,011	21,933	41,589	44,916	27,330
7	22,776	22,209	21,883	23,661	23,099	21,974	33,339	30,178	21,784	35,295	47,533	41,637
8	23,076	23,176	21,338	25,697	22,974	20,807	30,399	29,470	22,905	45,952	36,464	31,379
9	21,461	21,782	21,496	23,121	23,047	22,333	26,353	29,072	24,376	43,125	57,170	29,085
10	22,089	21,080	20,583	22,949	23,680	21,276	29,516	28,672	22,396	44,943	36,688	24,855
Médias	22,22	21,97	21,00	23,68	23,26	21,41	30,02	27,67	22,72	44,38	43,09	28,93
Variação %				6,59	5,90	1,96	35,12	25,94	8,21	99,76	96,17	37,80

Fonte: Autores (2024)

Os demais cenários consideram condições não ideais, com obstruções nas rodovias, de acordo com a gravidade ou intensidade dos eventos que causam os desastres. A partir dos *lead times* desses cenários, observa-se que: na simulação do cenário otimista, as entregas feitas pelo CELOG de Joaçaba apresentaram um aumento de 6,59 % no tempo para atendimento, comparados aos tempos normais de percurso, enquanto que os CDs de Florianópolis e Rio do Sul apresentaram acréscimo de 5,90 % e 1,96 % em seus *lead times*, em média.

Gráfico 1 – Lead times de cada centro logístico e cenários.



Fonte: Autores (2024)

Para os demais cenários, moderado e pessimista, os aumentos foram maiores e seguiram o observado no primeiro cenário: onde os maiores trajetos a serem percorridos o acréscimo do tempo também é maior. O CELOG de Joaçaba, que possui as maiores distâncias a serem vencidas, apresentou aumento de 35,12 % no *lead time*, o de Florianópolis 25,94 % e o de Rio do Sul 8,21 % no cenário moderado, enquanto, respectivamente esses aumentos para esses CDs foram de expressivos 99,76 %, 96,17 % e 37,80 % quando estudado o cenário pessimista.

Esses incrementos do tempo de entrega dos IH não só atrasam as entregas desses itens como compromete a quantidade de pessoas que podem ser atendidas num mesmo período de tempo. Para os 14 dias estudados nos cenários, em situações normais de transporte e no cenário otimista, as simulações apontaram entre 14 e 16 atendimentos às demandas. Para o cenário moderado esses atendimentos caíram para 11 e 12 observações para os municípios atendidos pelos CDs de Joaçaba e Florianópolis, respectivamente. E no cenário pessimista, os atendimentos às demandas é ainda mais prejudicado, somando-se apenas 7 observações nesses centros de distribuição e 12 no CELOG de Rio do Sul.

Esses resultados vão de encontro ao que a LH pratica que é minimizar ao máximo o sofrimento das pessoas. Quanto menos atendimentos às demandas são realizadas, no mesmo período de tempo, e quanto mais tempo leva-se para os IH chegarem até as pessoas, mais tempo as pessoas passam sem assistência no período de resposta ao desastre.

5. Conclusões

Frente aos eventos climáticos cada vez mais constantes e intensos em nosso país e observados também em todo mundo, é imprescindível que sejam estudadas formas de minimizar os impactos desses eventos na população. Como verificado na literatura, os estudos em LH estão crescendo nos últimos anos, mas devem ser ainda mais intensificados, aprimorados e aplicados para se buscar resultados cada vez melhores nos próximos eventos climáticos extremos.

Esse trabalho buscou estudar os tempos de entrega de IH a partir CDs, aplicando a simulação computacional e utilizando dados reais de aquisição e entrega de itens de assistência humanitária em municípios atingidos por evento de chuvas intensas. Para isso, através do simulador computacional Arena, foi replicado o modelo estudado por Silva *et al.* (2017) com recorte de eventos de chuvas intensas no ano de 2022 em SC.

Os tempos e números de atendimento obtidos nos resultados das simulações são semelhantes aos valores encontrados por Silva *et al.* (2017), mesmo o estudo original sendo voltado a entrega de IH por fornecedores, enquanto este avalia a entrega feita pelos CDs. Percebe-se um aumento significativo de *lead times* nos cenários pessimista, em primeiro lugar, seguido do moderado, concomitante a falha de entrega das demandas, com o número de observações caindo pela metade comparativamente a condições normais.

A observação do estudo atual, e no original, de que quanto maior a distância a ser percorrida, maior o acréscimo de tempo de transporte infere que, quanto mais perto dos locais necessitados de atendimento, mais rápido será feita essa entrega. Também se pode ter essa conclusão quando são avaliados os números de atendimentos realizados. Em região com rotas menores, essas são impactadas em menor grau pela alteração das suas condições e, conseqüentemente, mais atendimentos podem ser realizados no mesmo período de tempo.

Então, em um cenário ideal, mais centros de distribuição em locais estratégicos do estado, possibilitariam um melhor atendimento da população em situação de desastre.

Esse trabalho contou com a imprescindível disponibilização dos dados reais pela SEDC/SC e pelo trabalho de organização dos dados de entregas de IH entre os anos de 2013 e 2023 por Lobato e Dávalos (2023). Também contou com os trabalhos precedentes de Lima *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2017), para se embasar. O recorte da pesquisa foi em SC, com os dados dos eventos de 2022 e considerou as demandas atendidas pelos CDs de SC, ou seja, partindo de um ponto ao encontro dos municípios atendidos.

Considera-se imperativo novos estudos que se debrucem nos dados disponibilizados, e que utilizem como ferramenta simulação computacional ou outras ferramentas matemáticas para que sejam mais bem compreendidas as formas de atendimento, os tempos e localização dos CDs do estado. Assim, ter-se-á cada vez melhores resposta aos desastres de SC e de outros estados.

Referências

APTE, Aruna. Humanitarian Logistics: A New Field of Research and Action. **Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management**, vol 3, n. 1, p. 1-100, 2009.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CARVALHO, Alanna Mirella G. de; LIMA, Raísa Bezerra de; ICHIHARA, Rafael Chaves de Sousa. Análise de estoque de uma loja de autopeças através da simulação computacional: um estudo de caso. **Anais XIII SIMEP**, 2020.

CINI, Patrícia; DÁVALOS, Ricardo Villarroel. Localização Cartográfica dos Centros de Distribuição da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina: Um Estudo de Caso Para Situações de Desastres Naturais. In: **XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Transportes**, 2022.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/upload/arquivos/202105/04095316-cobrade-classificacao-e-codificacao-brasileira-de-desastres.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

CRBM - Comando Rodoviário da Brigada Militar. **Rotas disponíveis**. 2024 a. Disponível em: <https://crbm.app.br/gestao-de-rotas/index.php?class=RotaCardList>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CRBM - Comando Rodoviário da Brigada Militar. **Mapa interativo**. 2024b. Disponível em: <https://crbm.app.br/site/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

DEFESA CIVIL - RS. **Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS**. Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-10-7-66b67813ba21f>. Acesso em: 15 ago. 2024.

FATEMI, Nawrose *et al.* Physical vulnerability and local responses to flood damage in peri-urban areas of Dhaka, Bangladesh. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 3957, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12103957>.

FERREIRA, João Cesar de Souza; SANTOS, Pedro Henrique Pereira dos. Uma revisão sistemática da literatura sobre logística humanitária usando análise multimétodos. **RGSA - Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v.18.n.4, p.1-1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-063>.

FREITAS, Mario Jorge et al. Plano de Contingência da COVID-19 para a educação em Santa Catarina/Brasil: da elaboração do modelo à sua implementação e importância. **Territorium**, n. 30 (I), p. 21-36, 2023. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-1_2.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARÃES, Paulo Cesar Vaz. As enchentes em Santa Catarina e o aprendizado em políticas públicas. **ENAP Casoteca de Gestão Pública**. 2012.

LIMA, Fabiana Santos. **Notas de aula**. Disciplina de Estudos e práticas CTS na Gestão integrada de risco e desastres. PPGET. UFSC. Florianópolis, 2024.

LIMA, Fabiana Santos; DÁVALOS, Ricardo Villarroel; GONÇALVES, Mirian Buss, SOUZA João Carlos. Modelagem e simulação de processos para entrega de itens de assistência humanitária em desastres. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 8, n. 15, p. 155-175, 2016.

LIMA, Fabiana Santos; DÁVALOS, Ricardo Villarroel; CAMPOS, Lucila M. S.; TRIERWEILLER, Andréa Cristina. Framework proposal to support the suppliers' selection of Humanitarian assistance items: a Flood Case Study in Brazil. **Annals of Operations Research**, v. 315, n. 1, p. 317-340, 2022.

LOBATO, Henrique Furini; DÁVALOS, Ricardo Villarroel. **Previsão e representação cartográfica das solicitações de itens de assistência humanitária para os municípios catarinenses afetados por inundações**. Vídeo resumo do trabalho de iniciação científica. Engenharia de Produção. UFSC. Florianópolis, 2023.

OLIVEIRA, Josenildo Brito de. **Gestão de Riscos Logísticos em Cadeias de Suprimentos**: Otimização via Metamodelo de Simulação. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

PAIVA, Rodrigo *et al.* **Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil**. 2024. Nota técnica. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PANCERI, Regina. Palestra. **Defesa Civil de Santa Catarina**. PPGET. UFSC. Florianópolis, 2024.

ROCKWELL Automation. **Arena Simulation Software**. 2024. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com>. Acesso em: 16 ago. 2024.

SILVA, D. A.; LIMA, F. S.; DÁVALOS, R. Villarroel; BEGNINI, G. Simulação dos processos de aquisição e transporte de itens de primeira necessidade numa situação de inundação ocorrida no estado de Santa Catarina. In: **XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. XXXI ANPET, 2017**, Recife, 2017.

THOMAS, A., KOPCZAK, L.R. Life-Saving Supply Chains. In: Lee, H.L., Lee, CY. (eds) **Building Supply Chain Excellence in Emerging Economies**. International Series in Operations Research & Management Science, vol 98. Springer, Boston, MA. 2007. https://doi.org/10.1007/978-0-387-38429-0_4

THOMAZELLA, Camila de Cássia. Cadeia de suprimentos humanitária: inclusão de CDs em áreas de potenciais riscos. **European Academic Research**, v. 11, n. 8, 2023.

VARELLA, Leonardo; GONÇALVES, Mirian Buss. Proposta de um modelo de gestão de doações no contexto da logística humanitária. In: **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. 33º ANPET**, Balneário Camboriú, 2019.

UNISDR - Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. **Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres**. Ginebra, 2009. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf. Acesso em: 21 ago. 2024.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005. 3 ed. 212p.