

## Logística de transplante de órgãos e a dinâmica de sistemas: uma contribuição da literatura para a modelagem

Isabela Chaves Alves (Universidade Federal Fluminense)  
[isabelaca@id.uff.br](mailto:isabelaca@id.uff.br)

Níssia Carvalho Rosa Bergiante (Universidade Federal Fluminense)  
[nissiabergiante@id.uff.br](mailto:nissiabergiante@id.uff.br)



*A logística empresarial trata do planejamento, implantação e controle do fluxo de mercadorias, serviços e informação de forma a atender às necessidades dos clientes. Na área da saúde, o processo logístico é especialmente importante por tratar de vidas e apresentar diversos riscos envolvidos. Especialmente o caso de transplante de órgãos, objeto de estudo do presente trabalho, envolve o transporte de produtos perecíveis, multimodalidade, comunicação constante e necessidade de desperdício zero. Apesar de sua importância, ainda são observados problemas no sistema logístico da doação de órgãos, que geram descartes ou perdas de órgãos que poderiam salvar vidas e reduzir a longa fila de espera. Problemas sistêmicos, como este, exigem métodos de análise que permitam identificar toda a sua complexidade. A dinâmica de sistemas apresenta-se como uma alternativa, por auxiliar no entendimento e modelagem do sistema, de forma geral e completa, enfatizando as relações entre variáveis e no comportamento gerado pelas inter-relações. Para contribuir a essa problemática, o presente trabalho teve por objetivo identificar na literatura aplicações de dinâmica de sistemas para a logística, que possam ser relacionadas à logística do processo de transplante de órgãos para o melhor entendimento de suas variáveis. A pesquisa utilizou o Portal Periódico CAPES, consultando na base Scopus, com resultado total de 550 publicações com os termos “system dynamics” e “logistic” e seleção de quatro trabalhos para análise. Artigos com temas correlatos como a logística da cadeia de frio (cold chain) e impacto de custos logísticos ajudaram na identificação de variáveis relevantes para a logística do transplante de órgãos, relacionadas à transporte, qualidade/danos, tempo e sistema logístico. Somados, os artigos apresentaram 27 variáveis relevantes para o processo de doação de órgãos, que foram agrupadas em 13 grupos, englobando, por exemplo, a distância entre doador e receptor, a característica de perecibilidade do enxerto, possibilidade de danos e desperdícios, o tempo total do sistema e a capacidade de resposta do sistema logístico.*

*Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas, Logística, Transplante.*

## 1. Introdução

A logística empresarial, tal como definida pelo *Council of Logistics Management (CLM)*, pode ser entendida como o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações desde a origem até o consumo, com o objetivo de atender às exigências dos clientes (BALLOU, 2006).

O conceito de logística foi aprimorado e expandido para outras áreas além da empresarial, como instituições públicas, hospitais e escolas (LACERDA; GENARO; ZIOLI, 2020). Quando aplicada ao setor público, o papel da logística é garantir que os cidadãos tenham acesso a todos os recursos necessários no momento requerido e, ao mesmo tempo, assegurar a utilização eficiente dos recursos públicos. (LACERDA; GENARO; ZIOLI, 2020; VAZ; LOTTA, 2011). A logística é especialmente importante para a área da saúde, por esta tratar de vidas. Nesse sentido, a logística hospitalar é responsável pela estruturação da disponibilidade dos materiais requeridos na hora e lugar certos, de forma a evitar os transtornos gerados pela falta de equipamentos médico-hospitalares à equipes médicas e de enfermagem, que apresentam consequências significativas para a sociedade (MEDEIROS, 2008). Em operações logísticas na área de saúde, há diversos riscos envolvidos. Para o caso deste estudo, será considerado o transporte de órgãos para transplante. A escolha se justifica por ser esta uma atividade que demanda logística diferenciada por agrupar diversos processos em um único caso: transporte de produtos perecíveis, prazo de entrega altamente controlado e curto, planejamento prévio de rotas e tempos, comunicação permanente, multimodalidade e necessidade de avaria zero (PINTO, 2007).

Apesar da importância do processo de transplante de órgãos e da eficiência e eficácia logística para tal, ainda são observados problemas no sistema logístico, que geram descarte ou perda de órgãos que poderiam salvar vidas e reduzir a longa lista de espera de transplantes (LACERDA; GENARO; ZIOLI, 2020). A fim de exemplificar, apenas no ano de 2014 (não foi possível apresentar dados mais atuais), houve perda de cerca de 23% dos corações doados por problemas logísticos de transporte (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2016).

Por tratar-se de um problema sistêmico, é necessária a utilização de ferramentas e métodos sistêmicos que comportam a modelagem de problemas reais complexos (PULLEN, 2019; STERMAN, 2000). A metodologia de Dinâmica de Sistemas (do termo inglês, *System Dynamics*) permite o entendimento e a modelagem da estrutura e das dinâmicas de sistemas complexos, tendo como foco o entendimento do sistema de forma geral e completa, com ênfase nas relações entre as variáveis e na sua influência para o comportamento do sistema. Ademais,

também permite a simulação do comportamento dos sistemas em resposta a mudanças (KHATAIE; BULGAK, 2013; STERMAN, 2000).

O presente trabalho tem por objetivo identificar na literatura aplicações de dinâmica de sistemas para a logística, que possam ser relacionados ao processo de transplante de órgãos, de forma a melhor compreender as variáveis que compõem o sistema logístico do processo de transplante de órgãos e o funcionamento sistêmico da logística da doação de órgãos, para que, em estudos futuros, seja possível a construção do complexo sistema de doação Brasileiro, com suas particularidades, permitindo a simulação e teste de políticas públicas de melhoria.

Este artigo está organizado em quatro seções além desta introdução. A segunda seção apresenta a revisão de literatura, abordando os temas transplante de órgãos, logística do processo de transplante e dinâmica de sistemas. Em seguida, a metodologia da pesquisa é apresentada. Na seção 4, são discutidos os resultados e, posteriormente, as conclusões do estudo e propostas de estudos futuros.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Dinâmica de Sistemas

A dinâmica de sistemas surgiu na década de 1950 como fruto do trabalho do professor do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) Jay Forrester. Tratando-se de uma ferramenta de modelagem e simulação para sistemas complexos e dinâmicos, seu desenvolvimento teve como base a teoria de sistemas de informação-feedback, o conhecimento dos processos de tomada de decisão, a abordagem de modelo experimental para sistemas complexos e a simulação computacional (COLLINS et al., 2013; FORRESTER, 1958; STERMAN, 2000).

De forma geral, existe uma tendência na construção e utilização de uma visão linear de eventos, que induz uma abordagem de resolução de problemas com orientação congênere. No entanto, essa visão não compreende a existência de feedback, ou seja, a constatação de que o resultado das ações afeta o ambiente e define as situações futuras, de forma a alterar a abordagem para o problema e influenciar futuras decisões. Nesse sentido, o *feedback* está presente em todas as decisões humanas e constitui uma das bases da dinâmica de sistemas. As dinâmicas dos sistemas surgem, portanto, das interações entre os ciclos de *feedbacks* e os comportamentos mais complexos dos sistemas advém destas interações e conexões entre os elementos (FORRESTER, 1958; STERMAN, 2000).

Os diagramas causais (*causal loop diagram*) e os diagramas de estoque e fluxo (*stock and flow diagram*) apresentam-se como os principais elementos da metodologia de dinâmica de sistemas.

Primeiramente, o diagrama causal apresenta uma visão qualitativa do sistema analisado, por meio da visualização das interações existentes, relações de causa e efeito entre variáveis e ciclos de *feedback*. O diagrama de estoque e fluxo, por sua vez, costuma ter como ponto de partida o diagrama causal, promovendo análises quantitativas do comportamento do sistema, através da construção de equações características do comportamento dos elementos e simulação em softwares especializados (STRAUSS; BORENSTEIN, 2015).

Nesse sentido, a dinâmica de sistemas apresenta uma ampla gama de aplicações, sendo utilizada em diferentes campos e problemas, como aplicações gerenciais (BOWLES; GARDINER, 2018), sustentabilidade e mudança climática (BLUMBERGA *et al.*, 2018), saúde (WITTENBORN *et al.*, 2016), educação (CERESIA, 2017), entre outros.

## **2.2. A Logística do Transplante de Órgãos**

O processo de doação e transplante apresenta alta relevância para a sociedade, por viabilizar o retorno de pacientes à suas atividades pessoais e profissionais, promover a melhoria na qualidade e na perspectiva de vida de indivíduos com disfunções e ser tratamento necessário para estágios terminais de falência de órgãos (GARCIA; PEREIRA; GARCIA, 2015; WHO, 2020).

Sob o ponto de vista logístico, o processo engloba o acondicionamento, a armazenagem e o transporte dos órgãos, considerando os seus respectivos tempos de isquemia fria e as distâncias entre doador e receptor. Ademais, considerações sobre o agendamento de salas cirúrgicas, o suprimento de materiais e equipamentos e a alocação de equipes especializadas são considerações importantes no âmbito logístico. Cabe ressaltar, que a realização do planejamento logístico deve ser precedida pela alocação do órgão a seu receptor. O fluxo logístico pressupõe precisão, rapidez e flexibilidade, para possibilitar, neste contexto, a chegada do órgão conservado do doador ao receptor (GUSSEN, 2014; RATZ, 2006).

Após a definição do receptor, tanto o planejamento da rota de transporte quanto a alocação e programação das equipes médicas devem ser realizados. A primeira envolve a definição do trajeto e modal de transporte do órgão do hospital do doador ao hospital do receptor. Cabe ressaltar que a escolha do modal de transporte é um fator relevante para o sucesso do transplante, visto que está diretamente ligada ao tempo de isquemia fria do órgão (CARRARA, 2014). Já a programação das equipes médicas envolve a reserva de salas cirúrgicas e a organização das equipes tanto para a remoção dos órgãos quanto para as cirurgias de transplante nos receptores (FUZZATI, 2005; GUSSEN, 2014).

Tratando mais especificamente do deslocamento de órgãos, o transporte é considerado o conjunto de atividades relacionadas ao acondicionamento, embalagem, rotulagem, sinalização, transferência, armazenamento temporário, transbordo, entrega e recebimento do órgão transportado. Além disso, os órgãos devem ser transportados de forma organizada e coordenada entre o remetente, o transportador e o destinatário em tempo apropriado para o tipo de órgão, obedecendo às normas de biossegurança, de forma a garantir a qualidade, segurança e integridade do material (ANVISA, 2009).

Não obstante a relevância da etapa de transporte de órgãos para o processo de transplante, muitas barreiras ainda são observadas para alcançar a distribuição eficiente e eficaz. Algumas preocupações destacadas por estudos sobre o tema são: perda e descarte do órgão, atrasos no transporte e forma de manuseio e preservação dos órgãos durante o transporte (MATESANZ; DOMINGUEZ-GIL, 2007; MONTGOMERY *et al.*, 2008).

Além disso, quanto maior o tempo de isquemia (tempo que o órgão permanece sem vascularização), pior o prognóstico do transplante. Isso está diretamente relacionado ao *lead time*, desde o diagnóstico da morte encefálica até a realização da cirurgia de transplante. Assim, quanto maior a rapidez desse processo, no qual o tempo de transporte apresenta grande influência, melhor o resultado do transplante para o receptor (HASEGAWA; VENANZI, 2014).

### 3. Metodologia

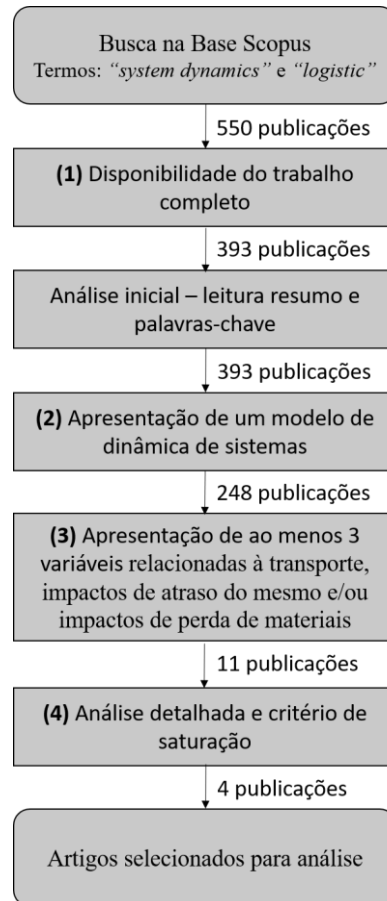
A busca dos trabalhos publicados sobre o tema utilizou o Portal Periódico CAPES, consultando na base Scopus. Inicialmente, foram pesquisados os termos “*system dynamics*”, “*logistic*” e “*transplant*” no título, resumo ou palavras-chave, sem filtros quanto ao tipo, período ou autoria das publicações, para analisar artigos abordando todos os temas do trabalho. Como não foram encontrados resultados que englobassem os três termos com estas especificações, uma nova pesquisa com os termos “*system dynamics*” e “*logistic*” no título, resumo ou palavras-chave, sem qualquer outro filtro quanto ao tipo, período ou autoria foi realizada com o objetivo de identificar a contribuição de trabalhos englobando dinâmica de sistemas e logística e analisar se as variáveis utilizadas nestes estudos poderiam ser adaptadas ao problema de logística de doação de órgãos.

Esta pesquisa retornou um total de 550 publicações, sendo necessária a definição de critérios para a seleção dos artigos a serem explorados e utilizados para análise no presente trabalho e

como base para a construção de modelos de dinâmica de sistemas da logística do transplante de órgãos em trabalhos futuros.

Os critérios de seleção definidos foram: (1) disponibilidade do trabalho completo; (2) apresentação de um modelo de dinâmica de sistemas (mapa conceitual e/ou diagrama de estoque e fluxo); (3) análise detalhada do escopo, identificando pelo menos três variáveis relacionadas à transporte, impactos de atraso do mesmo e/ou impactos de perda de materiais; (4) análise detalhada e critério de saturação. O primeiro filtro teve 157 publicações descartadas, dentre elas, muitas *conference reviews*, capítulos de livros e até mesmo artigos que não estavam disponíveis na íntegra. Após a busca e filtro pelo critério (1), foi realizada uma análise inicial dos 393 documentos disponíveis, com a leitura do resumo e das palavras-chaves, para entendimento geral. Com a aplicação do segundo critério, 248 publicações possuíam modelos de dinâmica de sistemas e seguiram para análise das variáveis, pelo critério (3). Para a logística do transplante de órgãos, conforme abordado em seções anteriores, o transporte é uma etapa crucial, que promove a movimentação do órgão do doador ao receptor e apresenta influência direta no volume e na qualidade dos transplantes, tempo limitado de execução (de acordo com o tempo de isquemia) e pode ser responsável por possíveis perdas e descartes de órgãos. O terceiro critério, definido com essas considerações, selecionou apenas 11 artigos como possíveis candidatos para análise. Por fim, foi realizada uma análise qualitativa mais detalhada destes trabalhos, observando seu contexto, aplicações e importância das variáveis da etapa anterior para o trabalho. Além disso, foi adotado um critério de saturação, avaliando se as variáveis utilizáveis de um artigo já estavam sendo englobadas em outros, de forma a selecionar os trabalhos mais relevantes. Assim, após o quarto e último filtro, quatro trabalhos foram selecionados, e serão discutidos na seção seguinte. A Figura 1 mostra as etapas e critérios descritos.

Figura 1 - Etapas e critérios - Busca 3 SD + logística



#### 4. Resultados

Os quatro artigos selecionados com os temas dinâmica de sistemas e logística, com a pesquisa e critérios descritos na seção anterior, são apresentados na Figura 2 e discutidos na sequência (FU; SHUAI, 2015; ORJUELA-CASTRO, JAVIER; ADARME-JAIMES, 2018; ORJUELA-CASTRO, JAVIER ARTURO; SEPULVEDA-GARCIA; OSPINA-CONTRERAS, 2016; ZHANG; LIU, 2018).

Primeiramente, o trabalho de Fu and Shuai (2015) trata da construção de um modelo de dinâmica de sistemas dos custos logísticos de uma empresa considerando a perspectiva da rede social da empresa. Para isso, o estudo tem como foco a firma de fabricação de maquinários de engenharia Changsha. No modelo, os autores consideram que os custos logísticos totais são divididos em três tipos, considerados como subsistemas: custos de pedido, custos de estoque e custos de transporte. O subsistema de custos de transporte consiste tanto no custo de transporte dado pelo produto da capacidade de transporte pela taxa de envio, quanto pelo custo de dano,



apresentando diversas variáveis que podem ser utilizadas na construção do modelo da logística do transplante de órgãos.

Figura 2 - Detalhes Artigos Seleccionados

Título	Ano	Autores	Referência
The Simulation and Optimization Research on Manufacturing Enterprise's Supply Chain Process from the Perspective of Social Network	2015	Fu, C., Shuai, Z.	Fu and Shuai (2015)
Effects of Using Multimodal Transport over the Logistics Performance of the Food Chain of Uchuva	2016	Orjuela-Castro, J. A., Sepulveda-Garcia, D. A., Ospina-Contreras, I. D.	Orjuela-Castro et al (2016)
Evaluating the Supply Chain Design of Fresh Food on Food Security and Logistics	2018	Orjuela-Castro, J. and Adarme-Jaimes, W.	Orjuela-Castro and Andarme-Jaimes (2018)
Cost simulation and optimization of fresh cold chain logistics enterprises based on SD	2018	Zhang, M., Liu, C. S.	Zhang and Liu (2018)

Os outros três trabalhos seleccionados têm como tema a logística de alimentos frescos ou perecíveis, que apresentam similaridades com o processo de transplante de órgãos, sob o ponto de vista logístico. Nesses casos, os requisitos logísticos são relativamente altos. Produtos como carnes, frutas, vegetais, remédios e, os órgãos para transplante, precisam manter a temperatura baixa no processo de transporte e, em alguns casos, armazenagem. Além disso, apresentam uma variação da qualidade com o tempo, mesmo sob condições ótimas de distribuição.

O autor Orjuela-Castro apresenta diversas publicações relacionadas a cadeia dos alimentos, algumas com a aplicação da metodologia de dinâmica de sistemas. No trabalho Orjuela-Castro et al (2016), o objeto de estudo foi a cadeia de suprimentos da fisális peruana, uma das frutas mais exportadas da Colômbia para a Europa, por seu caráter exótico, sabor e conteúdo nutricional. O objetivo foi estudar o impacto do transporte intermodal na performance logística, por meio da construção de um modelo de dinâmica de sistemas. Os indicadores analisados foram: custos de transporte, tempo total de transporte, perdas de comida em transporte ou estoque e emissões de CO2 causadas por transporte. A questão do transporte intermodal também está presente na dinâmica do transplante de órgãos, quando precisam ser transportados por maiores distâncias, por exemplo para outros estados.

Ademais, o trabalho de Orjuela-Castro and Andarme-Jaimes (2018) avalia três cadeias de frutas perecíveis - amora, morango e lulo – e o impacto sob a segurança alimentar e a logística. Segurança alimentar diz respeito a disponibilidade suficiente e estável de abastecimento e a



capacidade de adquirir ou acessar alimentos em quantidade e qualidade razoáveis. Dessa forma, esse parâmetro é medido como resultado da disponibilidade, influenciada pelo tempo de processamento e logístico e perda de alimentos e qualidade ao longo da cadeia, e pelo acesso, que depende da renda da população e não é contemplado no modelo.

Por fim, Zhang and Liu (2018) utilizam o método de dinâmica de sistemas para a construção de um modelo do custo operacional de empresas de cadeia de frio (*cold chain*). Os principais custos relacionados considerados no trabalho são: transporte, armazenagem, processamento de pedido, embalagem, dano de carga, penalidade de tempo, emissões de carbono e custo de escassez. Tais subsistemas interagem e influenciam uns aos outros, formando um sistema complexo.

O mapeamento dos aspectos gerais destes artigos é apresentado na Figura 2. Dois deles têm como foco o contexto chinês, enquanto os outros dois o cenário colombiano. Apenas Fu and Shuai (2015) abordam a aplicação de custos logísticos, enquanto os demais tratam da logística da cadeia de frio (*cold chain*), que engloba produtos frescos como frutas, legumes, flores e frutos do mar, por exemplo, sendo os dois artigos de Orjuela-Castro com ênfase na cadeia suprimentos de alimentos perecíveis. Em relação aos modelos apresentados, apenas Fu and Shuai (2015) não apresentam diagrama causal, apenas diagrama de estoque e fluxo, enquanto os outros três possuem os dois modelos. Todos os quatro artigos analisados apresentam pelo menos parcialmente as equações do modelo, realizam simulações com dados reais e discutem propostas e cenários para os problemas analisados, utilizando os modelos construídos.

Figura 3 - Aspectos Gerais Artigos Seleccionados

	Fu and Shuai (2015)	Orjuela-Castro et al (2016)	Orjuela-Castro and Andarme-Jaimes (2018)	Zhang and Liu (2018)
<b>País</b>	China	Colômbia	Colômbia	China
<b>Aplicação</b>	Custos logísticos	<i>Perishable food supply chain</i>	<i>Perishable food supply chain</i>	<i>Fresh cold chain logistics</i>
<b>Diagrama Causal</b>		X	X	X
<b>Diagrama de estoque e fluxo</b>	X	X	X	X
<b>Apresentação das equações do modelo</b>	X	X	X	X
<b>Simulação com dados reais</b>	X	X	X	X
<b>Propostas/cenários</b>	X	X	X	X

Mesmo não apresentando como objeto de estudo a logística do transplante de órgãos, os artigos analisados apresentam variáveis que podem ser relacionadas e adaptadas a este processo. Para

fins de discussão, as variáveis podem ser divididas em quatro grupos: transporte, qualidade/danos, tempo e sistema logístico.

Primeiramente, a macroetapa de transporte é crucial para permitir o deslocamento dos órgãos desde o doador até o receptor, garantindo a qualidade do enxerto. Tal etapa apresenta um tempo limite, determinado pelo tempo de isquemia específico do órgão, isto é, o intervalo de tempo que o órgão pode se manter sem vascularização. Com esse cenário, variáveis relacionadas à distância, atrasos (*delays*), velocidade e modais utilizados devem ser consideradas. Dependendo da distância entre doador e receptor e do tempo de isquemia fria do órgão, a articulação de modais pode ser necessária para aumentar a velocidade e reduzir o tempo de transporte, evitando *delays*.

Além de envolver o transporte, a logística do transplante de órgãos também inclui o acondicionamento e armazenagem dos enxertos doados. Tais fatores estão diretamente relacionados com a característica de perecibilidade dos órgãos e da conservação em soluções de preservação dentro do tempo limite determinado pelo tempo de isquemia. Também são identificadas variáveis relacionadas à qualidade do enxerto a ser transplantado e possíveis danos ou mesmo perdas e descartes deste são relevantes para o processo doação-transplante.

O tempo limite do transporte dado pelo tempo de isquemia já foi discutido anteriormente, mas uma variável interessante abordada em um dos trabalhos é a penalidade de atrasos, que no caso da doação de órgãos traduz-se em vidas. No processo de transplante, também cabe destacar o tempo de espera dos receptores e a urgência dos casos. O tempo total do sistema deve envolver a coordenação de diferentes atividades, como transporte, conservação, preparação do receptor, programação das equipes médicas, dentre outros.

Por fim, a inclusão de variáveis relacionadas ao sistema logístico, como eficiência, capacidade de resposta e disponibilidade/ acesso aos órgãos são relevantes para o acompanhamento da performance geral e a identificação de possibilidades de melhoria.

A Figura 4 apresenta o número de variáveis tanto do diagrama causal quanto do modelo de estoque e fluxo dos artigos e em cada linha, as variáveis discutidas anteriormente, que podem ser relacionadas com a logística do processo de transplante.

Figura 4 - Variáveis relacionadas ao processo de transplante

	Fu and Shuai (2015)	Orjuela-Castro et al (2016)	Orjuela-Castro and Andarme-Jaimes (2018)	Zhang and Liu (2018)
<b>Núm variáveis diagrama causal</b>	-	16	11	54
<b>Núm variáveis diagrama de estoque e fluxo</b>	52	24	28	54
<b>Transporte</b>				
<b>Distância</b>	-Transport distance -Transport distance influence			-Transport distance -Transport distance influence factor
<b>Delay (transporte)</b>	-Transportation delays -Transportation delayed impact			-Transport delay -Transport delay influence factor
<b>Velocidade</b>		-Transportation system speed		
<b>Modais de transporte</b>		-Use of intermodal system -Articulation of transportation modes		
<b>Qualidade / danos</b>				
<b>Dano/deperdício de carga</b>	-Damage to cargo volume		-Food losses	-Transport cargo damage quantity
<b>Percibilidade</b>		-Perishability	-Postharvest perishable food	
<b>Conservação</b>		-Conservation mechanism	-Food security	Freshness
<b>Qualidade</b>		-Product quality - Compliance with the quality requirements		
<b>Tempo</b>				
<b>Tempo do sistema</b>		-System total time		-Storage time
<b>Penalidade por delay</b>				-Time Penalty cost
<b>Sistema Logístico</b>				
<b>Eficiência</b>			-Efficiency	
<b>Capacidade de resposta</b>			-Responsiveness	
<b>Disponibilidade/ acesso</b>			-Availability -Access	

## 5. Conclusões

O transplante de órgãos é um processo de grande importância, tanto no contexto nacional como internacional, e suas atividades logísticas possuem grande impacto tanto no volume quanto na qualidade das cirurgias realizadas. Para melhor gerir esse processo complexo e problema sistêmico, é necessária a compreensão holística, de suas variáveis e interações, sendo a metodologia da dinâmica de sistemas uma ferramenta relevante neste caso.

Não obstante a grande importância do tema, ainda são poucos os estudos sobre a logística do transplante de órgãos e ainda é limitada a aplicação da dinâmica de sistemas para tal. No presente trabalho, foi possível observar que temas correlatos, como a logística da cadeia de frio

(*cold chain*), com casos particulares de alimentos perecíveis e até mesmo o impacto de custos logísticos, ajudaram na identificação de variáveis relevantes para a logística do transplante de órgãos.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a utilização desta base teórica para a formulação de um modelo de dinâmica de sistemas específico para a logística do transplante de órgãos no Brasil, de forma a melhor compreender as relações e possibilidades de políticas e ações para melhorar o cenário brasileiro.

## 6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida para a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANVISA. Resolução-RDC Nº 66, de 21 de dezembro de 2009, 2009.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5a ed., 2006. 616 p.

BLUMBERGA, Andra; BAZBAUERS, Gatis; DAVIDSEN, Pål I.; BLUMBERGA, Dagnija; GRAVELSINS, Armands; PRODANUKS, Toms. System dynamics model of a biotechnomy. **Journal of Cleaner Production** v. 172, p. 4018–4032, 2018.

BOWLES, David E.; GARDINER, Lorraine R. Supporting process improvements with process mapping and system dynamics. **International Journal of Productivity and Performance Management** v. 67, n. 8, p. 1255–1270, 2018.

CARRARA, Bruno Athayde. **Modelagem Matemática E Otimização Aplicada Ao Transporte De Órgãos Para Transplante Em Voos Regulares Domésticos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 113p. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014.

CERESIA, Francesco. Sunny Island. An Interactive Learning Environment to Promote Systems Thinking Education for Primary School Students. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** v. 237, p. 980–985, 2017.

COLLINS, Ross D. *et al.* Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics. **Journal of Environmental Management** v. 130, p. 1–9, 2013.

FORRESTER, Jay Wright. Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. Harvard Business Review. **Harvard Business Review** v. 36, n. 4, p. 37–66, 1958.

FU, Chun; SHUAI, Zhenzhen. The Simulation and Optimization Research on Manufacturing Enterprise's Supply Chain Process from the Perspective of Social Network. **Journal of Industrial Engineering and Management**. v. 8, n. 3, p. 963–980, 2015.

FUZZATI, Rachele. **Organ Transplantation Management**. Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), 2005.

GARCIA, Clotilde Druck; PEREIRA, Japão Drose; GARCIA, Valter Duro. **Doação e Transplante de Órgãos e Tecidos**. São Paulo : Segmento Farma, 2015. 560 p.

GUSSEN, Clarissa Taciana Gabriel. **Gestão dos Processos de Doação e de Transplante de Órgãos sob a Ótica Lean**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 274p. Dissertação (mestrado) - UFRJ, Instituto COPPEAD de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2014.

HASEGAWA, Haroldo Lhou; VENANZI, Delvio. A cadeia de suprimentos no setor hospitalar: transplante de órgãos. **Revista Uniabeu** v. 7, n. 15, p. 195–209, 2014.

KHATAIE, Amir H.; BULGAK, Alkif A. A cost of quality decision support model for lean manufacturing: activity-based costing application. **International Journal of Quality & Reliability Management** v. 30, n. 7, p. 751–764, 2013.

LACERDA, Leandro; GENARO, Mariane Regina Camargo; ZIOLI, Eline Gomes de Oliveira. A Logística do Transporte de Órgãos para Transplante no Brasil. **Revista NEADS** v. 1, n. 1, p. 21, 2020.

MATESANZ, Rafael; DOMINGUEZ-GIL, Beatriz. Strategies to optimize deceased organ donation. **Transplantation Reviews** v. 21, p. 177–188, 2007.

MEDEIROS, Saulo Emmanuel Rocha. **Logística Hospitalar: Um Estudo sobre as Atividades do Setor de Almojarifado Desenvolvidas em um Hospital Público**. Recife: UFP, 2008. 130p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Administração, 2008.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. Ação Civil Pública com pedido de Tutela Provisória de Urgência (Antecipada), 2016. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/df/sala-de-imprensa/docs/acp-transporte-de-orgaos-para-transplante>>.

MONTGOMERY, R. A.; KATZNELSON, S.; BRY, W. I.; ZACHARY, A. A.; HOUP, J.; HILLER, J. M.; SHRIDHARANI, S.; JOHN, D.; SINGER, A. L.; SEGEV, D. L. Successful three-way kidney paired donation with cross-country live donor allograft transport. **American Journal of Transplantation** v. 8, p. 2163–2168, 2008.

ORJUELA-CASTRO, Javier; ADARME-JAIMES, Wilson. Evaluating the Supply Chain Design of Fresh Food on Food Security and Logistics. **Springer International Publishing**, p. 257–269, 2018.

ORJUELA-CASTRO, Javier Arturo; SEPULVEDA-GARCIA, David Andrés; OSPINA-CONTRERAS, Ivan Danilo. Effects of Using Multimodal Transport over the Logistics Performance of the Food Chain of Uchuva. **Springer International Publishing**, p. 165–177 , 2016.

PINTO, Janaina Antonino. **Uso da simulação de sistemas dinâmicos para análise de logística hospitalar: gestão integrada de estoque e capacidade**. Campinas: UNICAMP, 2007. 117p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2007.

PULLEN, Lara C. Tackling the Growing Problem of Transporting Organs. **American Journal of Transplantation** v. 19, p. 1603–1604 , 2019.

RATZ, Wagner. **Indicadores de Desempenho na Logística do Sistema Nacional de Transplantes: Um estudo de caso**. São Carlos: USP, 2006. 172p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Produção, 2007.

STERMAN, John. **Business Dynamics**, 2000. 1008 p.

STRAUSS, Luísa Mariele; BORENSTEIN, Denis. A system dynamics model for long-term planning of the undergraduate education in Brazil. **Higher Education** v. 69, p. 375–397 , 2015.

VAZ, José Carlos; LOTTA, Gabriela Spanghero. A contribuição da logística integrada às decisões de gestão das políticas públicas no Brasil. **Revista de Administração Pública** v. 45, n. 1 , 2011.

WHO. WHO Task Force on Donation and Transplantation of Human Organs and Tissues. Disponível em: <<https://www.who.int/transplantation/donation/taskforce-transplantation/en/>>. Acesso em: 27 jul. 2020.

WITTENBORN, A. K.; RAHMANDAD, H.; RICK, J.; HOSSEINICHIMEH, N. Depression as a systemic syndrome: Mapping the feedback loops of major depressive disorder. **Psychological Medicine** v. 46, p. 551–562 , 2016.

ZHANG, Min; LIU, Cheng Shan. Cost simulation and optimization of fresh cold chain logistics enterprises based on SD. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 392 062121, 2018.