

PEDRO HENRIQUE MANTOVANI MARUFF DE OLIVEIRA

**MODELAGEM CONCEITUAL DO TRANSPORTE PARA
TRANSPLANTE DE CORAÇÃO: ESTUDO DO CASO DO
INCOR**

São Paulo
2023

PEDRO HENRIQUE MANTOVANI MARUFF DE OLIVEIRA

**MODELAGEM CONCEITUAL DO TRANSPORTE PARA
TRANSPLANTE DE CORAÇÃO: ESTUDO DO CASO DO
INCOR**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do diploma de Engenheiro de
Produção.

São Paulo
2023

PEDRO HENRIQUE MANTOVANI MARUFF DE OLIVEIRA

**MODELAGEM CONCEITUAL DO TRANSPORTE PARA
TRANSPLANTE DE CORAÇÃO: ESTUDO DO CASO DO
INCOR**

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do diploma de Engenheiro de Produção.

Orientador:

Daniel de Oliveira Mota

São Paulo
2023

À família na qual eu nasci. À família que escolhi. À todos aqueles que dependem da saúde pública brasileira para viver com qualidade, a luta de vocês também é a minha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, aos meus pais, que permitiram que eu tivesse condições emocionais e materiais para realizar este trabalho e todo o curso de Engenharia de Produção, sempre confiando em mim.

Agradeço também aos meus amigos, que sempre me apoiaram e que se tornaram meus irmãos, confidentes de angústias e companhias das felicidades, como a realização deste estudo.

Agradeço a todos os professores que se interessaram em conversar sobre o desenvolvimento deste estudo. A perspectiva e os ensinamentos de cada um de vocês é muito importante.

Agradeço ao doutor Ronaldo Honorato, que com todo o entusiasmo e confiança, me ensinou muito e contribuiu imensamente para a realização deste trabalho.

Agradeço ao professor Daniel Mota, por ter sempre conversado comigo tanto como orientador quanto como amigo, e por ter me oferecido realizar o trabalho de formatura junto a um importante projeto de sua responsabilidade.

“Eu sei que não morrer, nem sempre é viver.”

-- Conceição Evaristo.

RESUMO

Este trabalho visa compreender por meio de modelagem conceitual o processo de transporte para transplante de coração. Os órgãos diversas vezes são oferecidos, quando na situação de doação, para receptores de outro Estado, a chamada captação à distância. Primeiramente foi realizada uma revisão da literatura para identificar como autores tratam este tema, para depois seguir com a metodologia da modelagem conceitual. O principal parâmetro do problema do transporte de órgãos com captação a distância para transplante é o chamado tempo de isquemia, que refere-se ao tempo ao qual cada órgão pode ficar sem a circulação de sangue, ou seja, do momento em que o órgão é retirado do doador até o momento em que ele é implantado no receptor.

Por meio de entrevistas e pesquisas de como o processo funciona, este estudo elabora um modelo de 30 (trinta) possíveis rotas entre dois hospitais, o doador e o receptor, considerando as restrições do processo como a existência de apenas três principais meios de transporte sendo eles ambulâncias, helicópteros e aviões, dado que os veículos com maior velocidade também possuem maior tempo de embarque e desembarque. Esta elaboração de rotas ocorreu por meio do desenho das rotas através da representação de grafos. Foram identificados padrões como o máximo de uma viagem de avião por rota e de duas viagens de helicóptero por rota.

São feitas análises a partir de um hospital receptor (Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da FMUSP) e 10 (dez) hospitais doadores das regiões que mais doam órgãos no país, Santa Catarina e Paraná (neste estudo usando o conjunto região sul do país), identificadas a partir de dados oficiais. Estes valores são então comparados entre si para a identificação de padrões e posteriormente comparados com a preferência médica da equipe do InCOR, que realiza esses trajetos com recorrência, a fim de avaliar discrepâncias entre os critérios usados na prática e os resultados calculados.

De forma sintética, quanto menor for o número de transbordos, menor o tempo de isquemia. Também, se os aeroportos estiverem próximos aos hospitais, trajetos de helicóptero se mostram mais lentos. O critério prático usado pela equipe é diferente do visto pelos valores calculados, pois eles possuem uma preferência de viagens baseado na velocidade dos automóveis, mostrando uma diferente perspectiva. Também, foi feita uma análise inicial dos custos destas rotas, baseados principalmente no gasto de combustível.

Palavras-Chave – transplante, coração, transporte, multimodalidade, modelagem.

ABSTRACT

This study aims to comprehend, through conceptual modeling, the process of organ transportation for heart transplantation. Organs are often offered, in donation situations, to recipients in another state, a practice known as long-distance procurement. Initially, a literature review was conducted to understand how authors address this topic, followed by the conceptual modeling methodology. The primary parameter of the organ transport problem with long-distance procurement for transplantation is the so-called ischemia time, which refers to the duration each organ can endure without blood circulation—from the moment it is removed from the donor to the moment it is implanted in the recipient.

Through interviews and investigations into the operational aspects of the process, this study develops a model formulates 30 potential routes between two hospitals: the donor hospital and the recipient hospital. The study takes into account process constraints, such as the existence of only three main modes of transportation: ambulances, helicopters, and airplanes, given that vehicles with higher speed also entail longer boarding and disembarking times. The route development is achieved through the representation of graphs, identifying patterns such as a maximum of one airplane trip per route and a maximum of two helicopter trips per route.

Analyses are conducted from the perspective of a recipient hospital (Heart Institute of the Hospital das Clínicas at FMUSP) and 10 donor hospitals in the regions that contribute the most with organ donations in the country, namely Santa Catarina and Paraná (considered as the southern region in this study), identified based on official data. These values are then compared to identify patterns and subsequently contrasted with the medical team's preferences at InCOR, which routinely performs these journeys, aiming to assess discrepancies between the criteria used in practice and the calculated results.

In summary, the fewer the transfers, the shorter the ischemia time. Additionally, if airports are close to hospitals, helicopter routes tend to be slower. The practical criterion used by the team differs from the values calculated, as they prefer routes based on the vehicle speed, presenting a different perspective. An initial analysis of the costs of these routes was also conducted, primarily based on fuel expenditure.

Keywords – transplantation, heart, transportation, multimodal, modelling.

LISTA DE FIGURAS

1	Quantidade de transplantes totais por milhão de habitantes.	p. 20
2	Comportamento dos transplantes de coração na última década.	p. 21
3	Fila de espera para transplante cardíaco - Primeiro semestre de 2023.	p. 22
4	Organograma do Sistema Nacional de Transplantes.	p. 24
5	Fluxograma do processo de transplante de órgãos.	p. 25
6	Fluxograma do processo de transplante de órgãos detalhado para a equipe médica.	p. 31
7	Processo completo de transplante de órgãos.	p. 32
8	Equação de validade de um alimento.	p. 33
9	Etapas de captação.	p. 36
10	Equação para problema de caminho mínimo para transporte multimodal. . . .	p. 37
11	Equação para problema de redes de transporte multimodal.	p. 38
12	Framework proposto por Kengpol & Tuammee.	p. 40
13	Fórmulas de cálculo de custos no <i>framework</i> proposto.	p. 41
14	Fórmulas de cálculo de emissão de CO ₂ no framework proposto.	p. 41
15	Modelo matemático de otimização.	p. 42
16	Etapas da pesquisa.	p. 44
17	Curva ABC das notificações por Estado.	p. 46
18	Mapa de calor das notificações.	p. 47
19	Relação de corações transplantados em 2023.	p. 48
20	Dados sobre doação e captação de coração no Brasil 2013-2022.	p. 49
21	Dados sobre doação e captação de coração no Estado de São Paulo 2013-2022.	p. 50
22	Lógica de construção do grafo a fim de exaurir as possibilidades.	p. 55
23	Vizinhança 1-5.	p. 56

24	Vizinhança 6-10.	p. 57
25	Vizinhança 11-15.	p. 57
26	Vizinhança 16-20.	p. 58
27	Vizinhança 21-25.	p. 59
28	Vizinhança 26-30.	p. 59
29	Grafo unificado do fluxo.	p. 60
30	Pseudo-algoritmo de cálculo de custos.	p. 63
31	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 1.	p. 74
32	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 2.	p. 75
33	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 3.	p. 76
34	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 4.	p. 77
35	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 5.	p. 78
36	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 6.	p. 79
37	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 7.	p. 80
38	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 8.	p. 81
39	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 9.	p. 82
40	Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 10.	p. 83
41	Gráfico de resultados consolidados.	p. 85
42	Gráfico com todas as rotas possíveis entre dois hospitais.	p. 93
43	Gráfico com uma reta vertical delimitando o limite do tempo de isquemia. . . .	p. 93
44	Identificação das soluções viáveis.	p. 94
45	Rankeamento das soluções viáveis.	p. 95
46	Caracterização do tipo de rota das melhores rotas viáveis.	p. 96

LISTA DE TABELAS

1	Ingressos e mortalidade - Primeiro semestre de 2023.	p. 23
2	Indicadores de processos logísticos.	p. 35
3	Notificações de órgãos por Estado.	p. 45
4	Todas as possíveis rotas entre hospital doador e hospital receptor.	p. 62
5	Trajetos realizados em 2022 e 2023 para captação a distância de coração. . . .	p. 64
6	Hospitais habilitados em retirada de órgãos.	p. 65
7	Hospitais escolhidos.	p. 65
8	Trecho inicial da lista de helipontos de acordo com ANAC.	p. 67
9	Tabela que mostra as distâncias consideradas de cada nó do grafo na prática. .	p. 68
10	Helipontos selecionados para cada hospital.	p. 69
11	Aeroportos selecionados para cada hospital.	p. 69
12	Possíveis etapas do processo de transporte.	p. 70
13	Tempos de trajeto para cada trecho de cada rota possível.	p. 70
14	Tempos calculados para o Hospital 1.	p. 74
15	Tempos calculados para o Hospital 2.	p. 75
16	Tempos calculados para o Hospital 3.	p. 76
17	Tempos calculados para o Hospital 4.	p. 77
18	Tempos calculados para o Hospital 5.	p. 78
19	Tempos calculados para o Hospital 6.	p. 79
20	Tempos calculados para o Hospital 7.	p. 80
21	Tempos calculados para o Hospital 8.	p. 81
22	Tempos calculados para o Hospital 9.	p. 82
23	Tempos calculados para o Hospital 10.	p. 83

24	Resultados consolidados.	p. 84
25	Análise da quantidade de transbordos por rota.	p. 87
26	Custos consolidados.	p. 88
27	Comparaçao da preferêcia médica com os resultados médios gerados.	p. 89
28	Todas as possíveis rotas entre dois hospitais.	p. 92

SUMÁRIO

1	Introdução	p. 14
1.1	Contextualização	p. 14
1.2	Motivação	p. 15
1.3	Objetivos	p. 16
1.4	Estrutura	p. 17
2	Revisão Bibliográfica	p. 18
2.1	Transplantes de órgãos	p. 18
2.1.1	Sistema nacional de transplantes e o processo de doação de órgãos . .	p. 23
2.1.2	Tempo de isquemia	p. 28
2.1.3	O processo de doação e transplante de órgãos	p. 29
2.2	Logística e transporte multimodal	p. 32
2.2.1	Logística relacionada a Transplantes de Órgãos	p. 32
2.2.2	Transporte multimodal	p. 37
3	Metodologia	p. 43
3.1	Decisão das regiões doadoras	p. 44
3.2	Decisão da região de captação dos órgãos	p. 47
3.3	Decisão do escopo	p. 49
3.4	Modelagem Conceitual	p. 50
3.4.1	Restrições e características do processo	p. 51
3.4.1.1	Origem e destino e tempo máximo de trajeto	p. 51
3.4.1.2	Modais de transporte	p. 51
3.4.1.3	Locais de transbordo	p. 52

3.4.1.4	Parâmetros	p. 54
3.4.2	Grafo	p. 54
3.5	Cálculos de possíveis trajetos	p. 64
3.5.1	Escolhas dos hospitais	p. 64
3.5.2	Cálculo dos custos	p. 65
3.5.3	Determinação dos tempos fixos	p. 66
3.5.4	Cálculo das distâncias	p. 66
3.5.5	Pesquisa das preferências médicas	p. 71
4	Resultados	p. 73
4.1	Tabelas de opções possíveis e gráficos	p. 73
4.2	Consolidação dos resultados	p. 84
4.3	Análise dos resultados	p. 85
4.4	Análise de custos	p. 87
4.5	Comparação com a preferência médica	p. 88
4.6	Utilização deste estudo pela equipe médica de transplantes de órgãos	p. 90
4.6.1	Determinação dos parâmetros necessários	p. 90
4.6.1.1	Distâncias	p. 90
4.6.1.2	Determinação dos parâmetros médicos	p. 91
4.6.1.3	Determinação dos tempos de embarque e desembarque . . .	p. 91
4.6.1.4	Identificação dos possíveis veículos	p. 91
4.6.2	Geração de todas as rotas possíveis	p. 92
4.6.2.1	Restrição do Tempo Total de Isquemia	p. 93
4.6.2.2	Rankeamento das soluções viáveis	p. 94
4.6.2.3	Caracterização das soluções viáveis	p. 95
4.6.2.4	Processo decisório humano	p. 96

5 Conclusões

p. 98

Referências

p. 101

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o presente trabalho e também explicita qual é sua estrutura, seu objetivo e sua motivação.

1.1 Contextualização

O tempo demasiadamente alto que os sistemas de transplantes, tanto no Brasil quanto no mundo faz com que existam impactos significativos para os pacientes que aguardam por um órgão, gerando menores chances de cura, maiores sequelas, dentre outras problemáticas. Além disso, muitas vezes os prazos não são apenas demasiadamente altos, mas não há sequer uma previsibilidade de quando o tratamento pode ocorrer, impedindo planejamentos tanto por parte dos pacientes e de sua família quanto dos sistemas de saúde nacionais.

O Brasil é o segundo do país do mundo em relação a transplante de órgãos, atrás apenas dos Estados Unidos da América. Também, o Brasil tem o maior programa de transplante de órgãos do mundo, financiando mais de 90% dos procedimentos realizados no país, considerando a maior parte dos custos (MARINHO, 2006).

Como os transplantes são tratamentos recomendados apenas em últimas circunstâncias, a criticidade dos pacientes que entram em fila por um transplante, principalmente o de coração, é muito alta. Assim, a taxa de mortalidade das filas de transplantes de coração são especialmente altas, sendo que apenas no primeiro semestre de 2023, mais de 60 pessoas vieram a falecer no Brasil enquanto aguardavam na fila por um coração (ABTO, 2023).

O transporte de órgãos para transplante é uma parte crucial do sistema de saúde no Brasil, e o Instituto do Coração (InCOR) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo desempenha um papel fundamental nesse processo. O Brasil possui um sistema complexo de doação de órgãos que envolve a coordenação de múltiplos atores, desde a identificação de potenciais doadores até a entrega bem-sucedida dos órgãos aos receptores para implante do enxerto. Quando o órgão ofertado está em outro Estado, ou a mais de 190

quilômetros do hospital onde o receptor receberá o órgão, o processo passa a ser chamado de captação à distância, por conta do deslocamento que a equipe médica deve realizar. Atualmente, cerca de 18% dos corações ofertados de outros estados para o estado de São Paulo são negados para a realização do transplante, e é neste número que a proposta deste trabalho atua, a fim de minimizá-lo.

Estes corações são negados por conta da existência de uma condição médica chamada de isquemia, que é o tempo que cada órgão pode ficar sem a circulação de sangue. No caso do coração, objeto de estudo deste trabalho, o tempo de isquemia é o menor dentre todos os outros órgãos, restringindo portanto as distâncias que os hospitalais doadores podem estar dos possíveis hospitais receptores. Assim, o tempo é o principal parâmetro limitante neste estudo, pois acima do tempo máximo de isquemia do coração, o transplante tem suas taxas de fracasso, seja durante, seja no pós operatório, exponencialmente maiores. O tempo de isquemia inicia quando a equipe médica vai até o doador e retira o órgão dele, e finaliza no momento que há a reperfusão do sangue no coração no momento do implante no receptor.

Há o envolvimento de diversos atores nesse grande sistema, como redes de hospitais, equipes médicas, e órgãos reguladores que precisam estar sincronizados para garantir a captação eficiente de órgãos. Em um país de dimensões continentais como o Brasil, o transporte de órgãos entre cidades e estados pode ser particularmente desafiador. É nesse contexto que a otimização se torna vital.

A aplicação de uma modelagem conceitual aliada a conceitos de otimização nesse cenário pode melhorar significativamente a eficiência do transporte de órgãos para transplante à longas distâncias, pois melhorará a compreensão do problema e permitirá que soluções sejam propostas.

No contexto do InCOR, essa otimização pode fazer a diferença na vida de muitos pacientes que aguardam ansiosamente um órgão compatível. Isso ocorre ao trazer para a equipe médica que fará a captação a distância perspectivas de quais são as rotas mais rápidas, para que ela possa com maior segurança aceitar um órgão que a princípio seria recusado, diminuindo a porcentagem de órgãos não usados para transplante sob a justificativa de problemas logísticos e de transporte.

1.2 Motivação

O autor desde a adolescência tem a ânsia de causar impactos no mundo, mesmo que este impacto seja no mundo de apenas uma única pessoa. Ainda no ensino médio, participou de

projetos sociais com aulas de matemática para escolas públicas, visitas a orfanatos, visitas a asilos, dentre outros.

Ao adentrar na faculdade, o autor atuou como professor de física em dois cursinhos populares por aproximadamente dois anos. Na escolha de uma temática para o trabalho de formatura, a busca foi aplicar conhecimentos aprendidos no curso de Engenharia de Produção para impactar pessoas, tanto em quantidade quanto em intensidade. Assim, ao aproximar-se do orientador, o autor descobriu que haviam linhas de pesquisas e de projetos relacionados a saúde que o orientador coordenava, e assim houve a decisão.

O projeto no qual este trabalho de formatura está inserido foi trazido por um médico cardiologista, responsável por realizar diversos transplantes de coração no Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InCOR), Dr. Ronaldo Honorato. A problemática foi trazida e prontamente aceita tanto pelo autor quanto por seu orientador. Assim, a fim de escalar o projeto e tornar a solução ainda melhor, foi atingida um financiamento por meio da instituição Amigos da Poli.

1.3 Objetivos

O presente estudo tem dois principais objetivos:

1. Investigar o processo de transporte para transplante de coração, em especial no caso do InCOR, por meio de técnicas de modelagem.
2. Fornecer um procedimento padronizado que contribua no processo decisório das equipes médicas responsáveis por transplante de órgãos.

Estes objetivos passam pela análise de uma série de variáveis, como a localização do doador, as condições de tráfego, a distância entre equipe médica e doador, além da localização dos pontos de embarque e desembarque dos meios de transporte, assim como seus respectivos tempos de embarque, autonomias, custos e velocidades. A construção da modelagem deste processo leva à construção de diversas possibilidades, que são posteriormente listadas e comparadas entre si, utilizando principalmente do tempo total de isquemia como indicador principal. As comparações tem a pretensão de identificar padrões que fazem com que certas rotas sejam consistentemente mais rápidas que outras, e analisar se estes padrões também são identificados na prática pela equipe médica que realiza os transplantes, ou se os critérios utilizados pela mesma são diferentes.

1.4 Estrutura

Este estudo possui 5 partes principais. Na introdução, é fornecido o contexto e os objetivos, assim como a motivação e a estrutura do trabalho. Em seguida é feita uma revisão bibliográfica de conceitos importantes para a elaboração da pesquisa, sendo elas o cenário de transplante de órgãos no Brasil e conceitos de logística e transporte multimodal. A terceira parte é a metodologia, que explica a forma com a qual diversos aspectos do trabalho foram selecionados, calculados e elaborados, a fim de gerar a estrutura que permite a formulação de resultados. A quarta etapa é a referente aos resultados obtidos e suas análises, tanto em termos de tempo, quanto em custos e outros aspectos. Por último, são feitas conclusões de como este trabalho seguiu e quais as perspectivas que ele deixa para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será feita a revisão bibliográfica, dividida em 2 macrotemas, a fim de trazer contexto em aspectos fundamentais no desenvolvimento do trabalho. As temáticas abordadas são: (1) Transplante de órgãos com foco no coração, (2) Logística e transporte multimodal.

2.1 Transplantes de órgãos

Oliveira (1997) define transplante como uma cirurgia que envolve a transgênese (retirada de material genético), células, tecidos ou órgãos de um determinado organismo para implantá-lo em outro. Este processo é feito para direcionar para aquele que está com tecidos ou órgãos desempenhando abaixo do tolerável. O procedimento implanta órgãos e tecidos de melhor qualidade e que permitam que o paciente tenha mais saúde. O Brasil está na segunda colocação mundial em relação ao números de transplantes renais e transplantes hepáticos, contudo, o Brasil decai bastante no ranking quando utilizado o coeficiente de número de notificações por milhão de habitantes, chegando até a vigésima posição (ABTO, 2019).

Transplante é a transferência de células, tecidos, órgãos, ou de partes do corpo de uma pessoa (doador) para outra (receptor), com a finalidade reestabelecer uma função do corpo do receptor (Secretaria da Saúde do Estado do Piauí, 2023).

O tempo de isquemia é a medida que determina o prazo máximo entre a retirada do órgão do doador e do implante no receptor. O tempo máximo considerado para o coração é de 4 horas (Secretaria da Saúde do Estado do Piauí, 2023).

O processo de transplante de órgãos se inicia com o hospital no qual houve uma morte encefálica notificando a Central de Transplantes de que há um potencial doador, de acordo com a resolução nº 1480/97 do Conselho Federal de Medicina. A Central de Transplantes então pede confirmações da morte encefálica e inicia a checagem das informações do potencial doador com receptores em lista de espera. Na existência de mais de um receptor compatível, o transplante é priorizado para aquele com mais tempo de fila de espera e em estado de maior urgência. A

Central de Transplantes após fazer essa checagem de doador e possíveis receptores, e também após a autorização da família, passa a notificar as equipes médicas dos receptores na ordem de prioridade dada pela fila. As equipes médicas possuem uma hora para aceitar ou negar o órgão, avaliando as condições médicas do órgão e a logística de captação. Em caso de negativa, a Central de Transplantes comunica a próxima equipe médica. Em caso de positiva, iniciam-se os processos da captação do órgão (Secretaria da Saúde do Estado do Piauí, 2023).

O tempo médio de espera de um coração é de 6 meses na fila, e a fila contém cerca de 300 receptores, de acordo com dados de 2017. Em 2016 foram realizados 357 transplantes cardíacos. Também, no Brasil, cerca de 95% dos transplantes são financiados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) (ANDRIOLI, 2015).

O Global Observatory on Donation and Transplantation (GODT) apontou 153.863 transplantes de órgãos (coração, pulmão, fígado, rim, pâncreas e intestino delgado) em 2019, chegando a um número de aproximadamente 20 transplantes por milhão da população, contudo, essa representação de transplantes não representa nem 10% da demanda que havia. O Brasil é o quarto país que mais transplanta no mundo, atrás apenas de Estados Unidos da América, China e Índia (GODT, 2021).

Apesar de melhorias constantes em diversos quesitos dos processos de transplantes de órgãos, a fila de espera de órgãos no final de 2019 era de 37.946, maior que o número do mesmo período do ano anterior (ABTO, 2019).

Há dois tipos de doadores de órgãos: vivo e falecido. Como este trabalho versa sobre o transplante cardíaco, o foco de análise será o falecido. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), há 5 caracterizações possíveis:

1. Possível doador: paciente com lesão encefálica e necessidade de ventilação mecânica.
2. Potencial doador: paciente com protocolo para diagnóstico de morte encefálica aberto.
3. Elegível para doação: paciente com morte encefálica confirmada.
4. Doador efetivo: paciente a partir do momento que é confirmada a remoção de órgãos. No Brasil, após o aval familiar.
5. Doador com órgãos transplantados: considerado após a remoção de pelo menos um órgão do corpo.

Trazendo um pouco de especificidade para a contextualização, pode-se avaliar que há uma discrepância no quesito transplantes de órgãos entre os diversos estados brasileiros. É possível

notar que as regiões sul e sudeste do país possuem um percentual maior em relação aos outros estados do país, que no geral são mais baixos. O maior valor percentual no total é São Paulo, enquanto que o maior percentual fora da região Sul e Sudeste é a Bahia.

Figura 1: Quantidade de transplantes totais por milhão de habitantes.

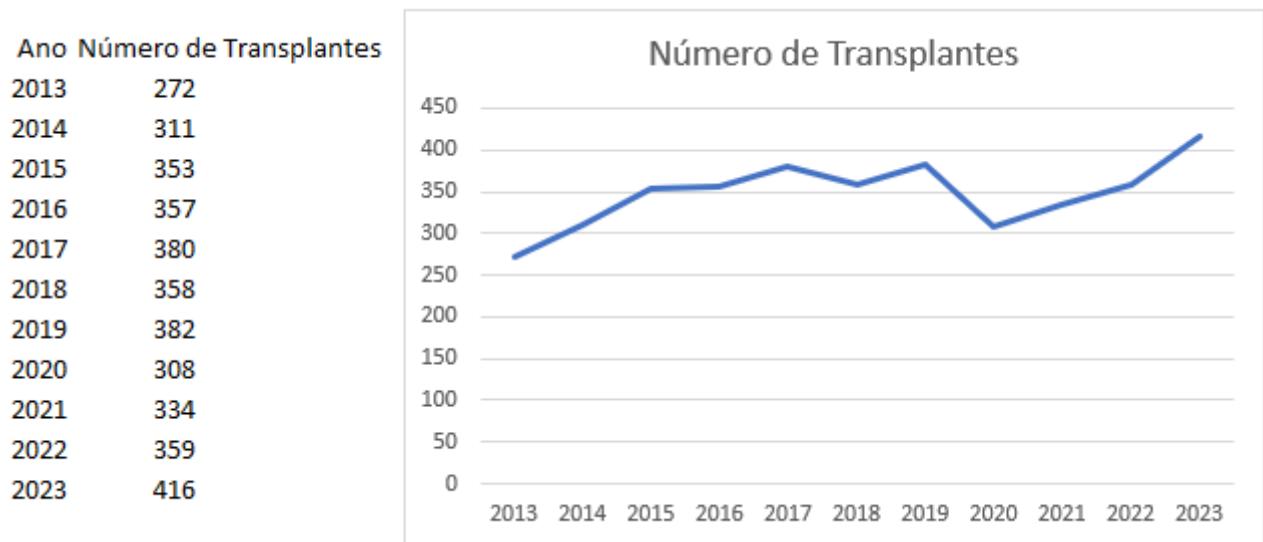
Estado	Milhão de população	Estado	Milhão de população
AC	0,830	PB	3,974
AL	3,128	PE	9,058
AM	3,941	PI	3,269
AP	0,734	PR	11,443
BA	14,136	RJ	16,055
CE	8,792	RN	3,302
DF	2,817	RO	1,581
ES	3,833	RR	0,636
GO	7,055	RS	10,881
MA	6,775	SC	7,610
MG	20,539	SE	2,210
MS	2,757	SP	44,420
MT	3,659	TO	1,511
PA	8,116	Brasil	203,063

Fonte: ABTO, 2023.

Este fator se dá principalmente por conta da diferença em infraestrutura nas regiões brasileiras. Hospitais, estruturas do sistema nacional de transplantes, aeroportos, helipontos, veículos de altas velocidades, centros transplantadores e equipes qualificadas são aspectos fundamentais para os transplantes de órgãos e que possuem uma distribuição muito heterogênea também pelo país, fazendo com que as discrepâncias entre estados se mantenham no quesito transplante de órgãos.

Em relação ao transplante de coração mais especificamente, apesar de uma baixa nos anos 2020/2021, a Associação Brasileira de Transplante de Órgãos (ABTO) projeta um aumento no número de transplantes de coração no ano de 2023. A média nos últimos 10 anos, excluindo o ano de 2023, foi de aproximadamente 341 corações transplantados anualmente (ABTO, 2023). Pode-se avaliar as tendências históricas a partir do gráfico contido na figura 2:

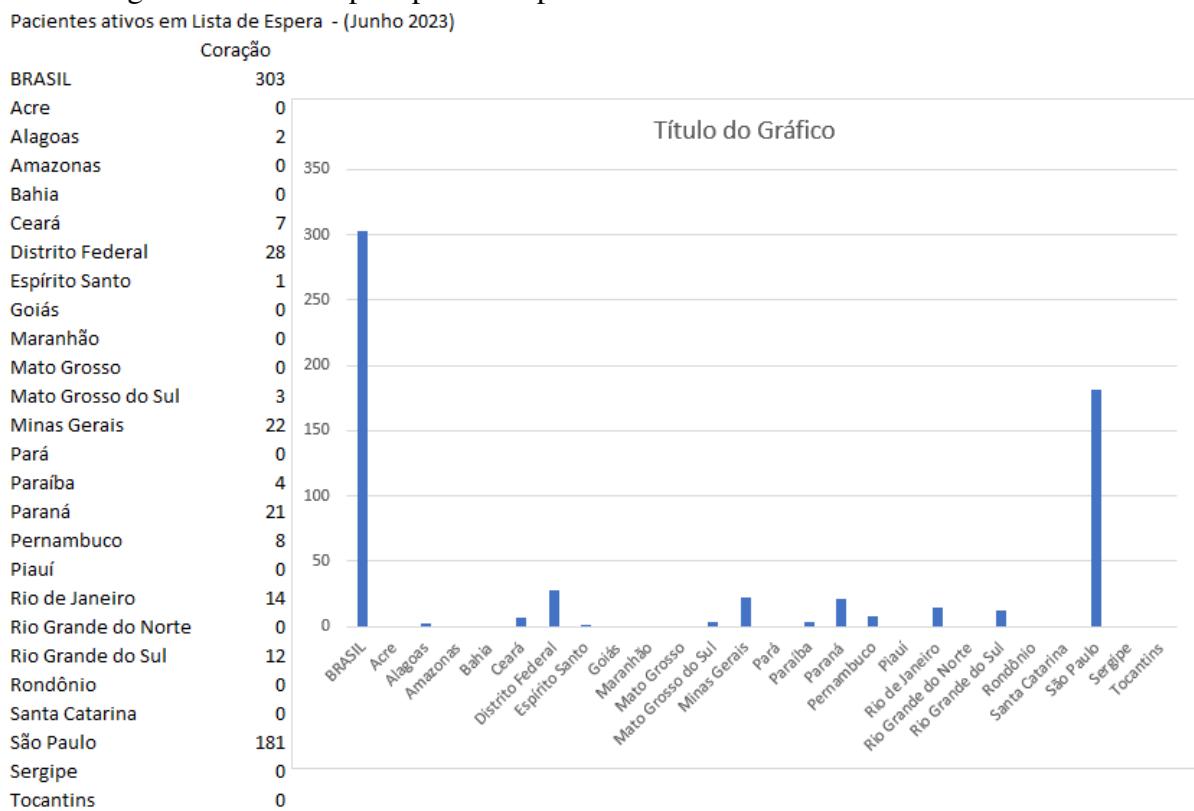
Figura 2: Comportamento dos transplantes de coração na última década.



Fonte: Adaptado pelo autor de ABTO, 2023.

A lista de espera para transplante de coração não é a maior em números absolutos, mas é uma das listas de espera com maior taxa de mortalidade. Isso se dá por conta da criticidade do coração para o funcionamento do organismo humano, e também por conta do transplante como tratamento médico ser recomendado apenas na ausência de perspectivas de sucesso com outros tratamentos, fazendo com que os integrantes da fila de transplante de coração necessitem do transplante com urgência. A fila de transplante de coração também não é homogênea pelo país, possuindo um grande foco no estado de São Paulo, por conta da existência dos principais centros transplantadores do país (ABTO, 2023). A figura 3 mostra o estado atual da fila de espera para transplante de coração, considerando o primeiro semestre de 2023.

Figura 3: Fila de espera para transplante cardíaco - Primeiro semestre de 2023.



Fonte: Adaptado pelo autor de ABTO, 2023.

Quase metade (47,56%) dos ingressos na fila de transplantes cardíacos do primeiro semestre de 2023 provém de São Paulo, e mais da metade (53,65%) dos ingressos pediátricos na fila provém de São Paulo (ABTO, 2023). Pode-se avaliar os números de ingresso na fila e também da mortalidade na fila a partir da tabela 1:

Tabela 1: Ingressos e mortalidade - Primeiro semestre de 2023.

Ingressos e mortalidade - Primeiro semestre de 2023

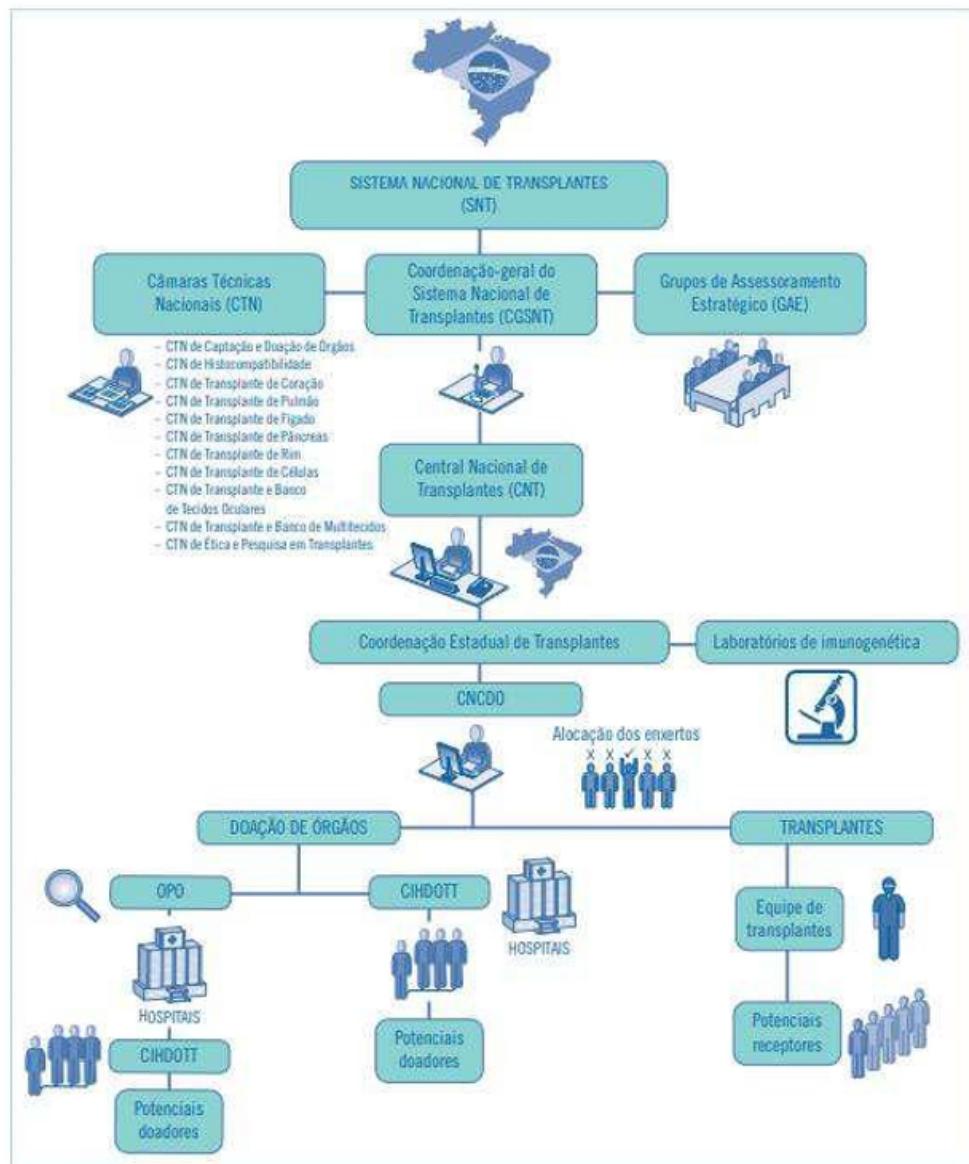
Coração							
		Total	Pediátrico				
Brasil	Ingresso	246	41	Pará	Ingresso	0	0
	Mortalidade	63	10		Mortalidade	0	0
Acre	Ingresso	0	0	Paraíba	Ingresso	4	0
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	1	0
Alagoas	Ingresso	1	0	Paraná	Ingresso	15	8
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	9	2
Amazonas	Ingresso	0	0	Pernambuco	Ingresso	25	2
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	6	1
Bahia	Ingresso	0	0	Piauí	Ingresso	0	0
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	0	0
Ceará	Ingresso	0	0	Rio de Janeiro	Ingresso	20	5
	Mortalidade	1	1		Mortalidade	5	2
Distrito Federal	Ingresso	25	2	Rio Grande do Sul	Ingresso	0	0
	Mortalidade	3	0		Mortalidade	0	0
Espírito Santo	Ingresso	2	0	Rio Grande do Norte	Ingresso	13	1
	Mortalidade	1	0		Mortalidade	2	1
Goiás	Ingresso	0	0	Rondônia	Ingresso	0	0
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	0	0
Maranhão	Ingresso	0	0	Santa Catarina	Ingresso	4	0
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	1	0
Mato Grosso	Ingresso	0	0	São Paulo	Ingresso	117	22
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	30	3
Mato Grosso do Sul	Ingresso	0	0	Sergipe	Ingresso	0	0
	Mortalidade	0	0		Mortalidade	0	0
Minas Gerais	Ingresso	20	1	Tocantins	Ingresso	0	0
	Mortalidade	4	0		Mortalidade	0	0

Fonte: Adaptado pelo autor de ABTO, 2023.

2.1.1 Sistema nacional de transplantes e o processo de doação de órgãos

A fim de trazer contexto para este trabalho, serão detalhados aspectos como funcionamento, objetivo, dentre outros do Sistema Nacional de Transplantes (SNT). O SNT é pertencente ao Sistema Único de Saúde (SUS), contudo o SNT possui particularidades, formas de operação únicas, e regras específicas a serem seguidas. O cargo mais alto da hierarquia do SNT é a Central Nacional de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos, que é auxiliada por um total de 30 (trinta) centrais de apoio, sendo 22 (vinte e duas) estaduais e 8 (oito) regionais, permitindo que haja uma cobertura quase completa do território do país (ABTO, 2019). A estrutura hierárquica do Sistema Nacional de Transplantes pode ser vista na figura 4.

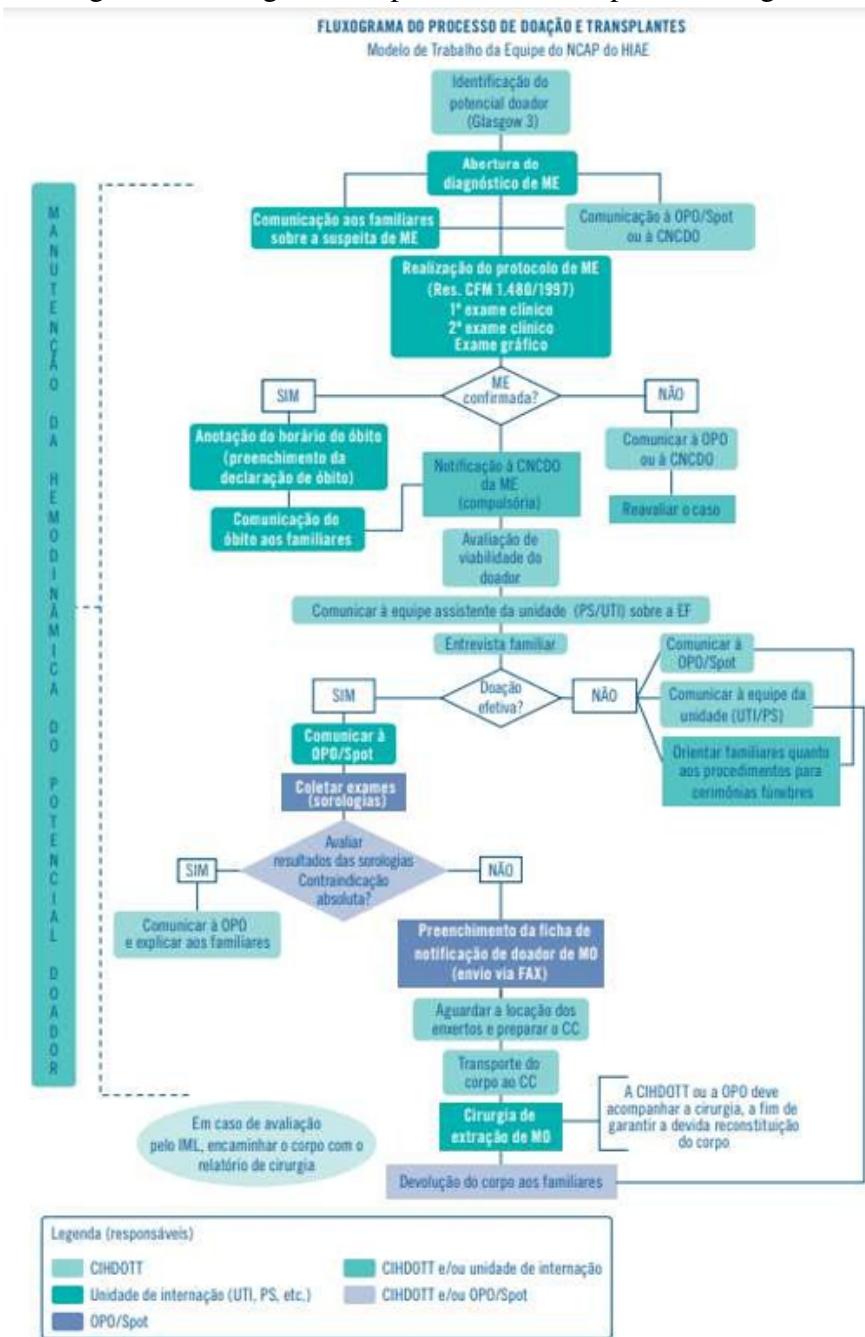
Figura 4: Organograma do Sistema Nacional de Transplantes.



Fonte: MOURA & SILVA, 2014.

Já em relação aos processos relacionados à doação de órgãos até o transplante final, desde o doador até o receptor, relacionando com as principais decisões e principais agentes do processo podem ser visto a seguir na figura 5.

Figura 5: Fluxograma do processo de transplante de órgãos.



Fonte: MOURA & SILVA, 2014.

Já as atribuições da Central Nacional de Transplantes são, de acordo com Garcia (2015):

1. distribuição interestadual
2. relações com as companhias aéreas
3. geração de informações e relatórios gerenciais

As Centrais de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos (CNCDO's) são distribuídas por todo o Brasil. Cada estado pode entrar em acordo com o Ministério da Saúde para definir subdivisões regionais caso haja necessidade. As Secretarias de Saúde estaduais que instituem e estruturam as CNCDO's. As atribuições das CNCDO's são amplas e variadas. De acordo com Garcia (2015), são: coordenação das atividades no âmbito estadual; realizar a inscrição, a classificação, e comunicação ao Sistema Nacional de Transplantes dos potenciais receptores; recebimento das notificações de morte encefálica; realizar o encaminhamento e providenciar o transporte dos órgãos e tecidos; realizar a notificação à Central Nacional de Transplantes dos órgãos não aproveitados no Estado; realizar relatórios das atividades para a Coordenação do Sistema Nacional de Transplantes; aplicar as penalidades administrativas por infração; realizar a suspensão cautelar dos estabelecimentos e equipes e comunicá-las ao Sistema Nacional de Transplantes; acionar o Ministério Público e outras instituições competentes para reprimir atos ilícitos; e criar centrais regionais quando deliberado oportuno.

Já a Comissão Intra-Hospitalar de Doação de Órgãos e Tecidos para Transplante (CIDHOTTs) são comissões que, de acordo com a Portaria Nº 1752 de 23 de setembro de 2005, devem estar presentes em todos os hospitais com mais de 80 leitos. As CIDHOTTs como vistas na figura 4 são integrantes do Sistema Nacional de Transplantes e não podem desempenhar funções operacionais na atividade do transplante em si, mas tem outras atribuições, classificadas novamente por Garcia (2015):

1. organizar, no âmbito do hospital, o processo de captação de órgãos
2. articular-se com as equipes das UTI's e emergência: identificação e manutenção dos potenciais doadores
3. articular-se com as equipes encarregadas do diagnóstico de morte encefálica por meio de processo ágil e eficiente, dentro de estritos parâmetros éticos e morais
4. coordenar a entrevista com os familiares dos potenciais doadores
5. articular-se com os respectivos Institutos Médicos Legais para, quando for o caso, agilizar o processo de necropsia dos doadores
6. articular com a respectiva CNCDO, sob cuja coordenação esteja possibilitando o adequado fluxo de informações
7. apresentar, mensalmente, Relatório de Atividades à CNCDO

A função desempenhada pelas CIDHOTT no SNT são baseadas na experiência espanhola, que possui altos índices de desempenho (MIEDES, 2004). Por último, a Organização de Procura de Órgãos (OPO) é uma instância mais específica do Estado de São Paulo. Cada hospital-escola possui uma OPO que se locomove nos diversos hospitais da região a partir das notificações fornecidas pelos médicos de uma morte cerebral, tornando o paciente um potencial doador. Este processo, com todos esses agentes e suas respectivas divisões, atuam com o propósito de alocar melhor os receptores em relação aos órgãos disponíveis, além de atuar com a finalidade de reduzir o tempo de espera de pacientes nas filas de espera de órgãos para transplante, que são bem grandes e acabam, não raramente falecendo ainda na fila.

As filas de espera de órgãos para transplante são filas únicas por órgão, nas quais os potenciais receptores são classificados de acordo com diversos critérios, principalmente médicos, como tipo sanguíneo, idade, peso, tempo de fila, etc. Há também fatores externos à fila que influenciam diretamente no tempo de espera dos pacientes em fila (MONTELEONE, 2022):

1. Decisão entre cuidar de um doador com morte encefálica confirmada e um paciente em UTI.
2. Famílias não autorizando o processo de doação ou com receio do processo.
3. Morte por parada cardíaca.
4. Falência dos órgãos antes de um doador.

De acordo com a lei nº10.211 de 2001, atualmente não há mais a necessidade de algum documento escrito deixado pelo doador, apenas que a família autorize a retirada dos órgãos depois da morte encefálica.

Ferraz et al. (2013) fez uma lista de indicadores chave para o processo de doação e para o próprio transplante. Para o processo de doação, temos 25 indicadores: número de doadores, número de potenciais doadores que foram efetivados, perfil do doador, situação clínica do doador, qualidade do órgão, tempo de logística, porcentagem de órgãos oferecidos e aceitos, causas de morte encefálica, tempo de internação do doador em UTI, as causas que impediram a doação de órgãos, taxa de notificação de mortes encefálicas, estimativa do número de potenciais doadores, estimativa anual da disponibilidade anual de órgãos e tecidos, capacidade geradora de morte encefálica (ME) por instituição, idade do doador (porcentagem e média), causa do óbito, ocupação e renda familiar, satisfação da família em relação ao atendimento, número de órgãos por idade, número de órgãos por tipo sanguíneo, origem do órgão, número de órgãos

por centro, número de mortes encefálicas por instituição, características das mortes por ano e características das mortes por idade.

Já para o processo de transplante em si, os 11 indicadores chave são tempo de perfusão, custo do transplante, risco cirúrgico de cada paciente, tempo de espera em lista, risco para falência do enxerto, características dos órgãos, risco de infecção, escore MELD entre os receptores, tempo de espera em fila, mortalidade em lista e taxa de sobrevivência. Deve ser feito um comentário específico sobre o escore MELD, que é específico para os transplantes de fígado, mas que existem processos análogos para os outros tipos de transplante.

2.1.2 Tempo de isquemia

A diferença do transplante cardíaco para outros transplantes é que o coração é o órgão com menor tempo de isquemia. Torres et al. (2003) define isquemia como sendo:

”(...) o desequilíbrio maior ou menor entre a oferta e demanda de sangue para um determinado órgão ou setor do corpo, provocando correspondente hipóxia tissular com todas as suas consequências patogênicas, de acordo com a sua intensidade e a sua duração (Torres et al., 2003, p.1)”.

Ainda, torna-se necessário diferenciar isquemia da chamada isquemia fria:

”(...) reveste-se de fundamental importância o conceito de isquemia fria(...). A isquemia fria, bem conduzida, protege significativamente os tecidos, especialmente se associadas a soluções nutritivas geladas, como as usadas nos transplantes cardíacos, renal e hepático(...). (Torres et al., 2003, p.2).”

De acordo com Nothen (2004), o coração possui entre 4 e 5 horas de tempo de isquemia fria admissível e um índice de aproveitamento geral, em porcentagem do total de doadores de apenas 40%. O tempo de isquemia é um dos conceitos mais importantes neste trabalho, pois dele serão advindas as principais restrições e é por conta dele que a problemática de transplantes de órgãos com captações à distância torna-se relevante (FUZZATI, 2005). Tempo de isquemia é um conceito médico consiste no tempo que um órgão consegue ficar sem a perfusão de sangue mantendo suas capacidades funcionais. O tempo de isquemia é importante para este trabalho pois limita quais órgãos conseguiriam ser aproveitados, pois deve haver a possibilidade de retirada do órgão do doador e implante do enxerto no receptor em até 4 horas.

Neste momento, há de se notar que a variável de custo acaba tendo uma própria compensação. No caso do transporte mais rápido, necessidade para garantir que o tempo de isquemia máximo não seja atingido, na maior parte das vezes haverá um maior custo financeiro, e vice-versa. Entretanto, quanto menor o tempo de isquemia fria, menor é o desgaste do órgão, e portanto,

menores os custos para manutenção da saúde do paciente após o transplante. Logo, priorizar o menor tempo de isquemia possível acaba sendo melhor para a saúde de quem recebe sem afetar drasticamente o custo total do sistema.

A literatura médica mostra que o tempo de isquemia ocorre assim que o sangue para de circular no órgão em questão. No caso específico do coração, ele se inicia especificamente com o pinçamento da aorta. O tempo de isquemia se encerra quando a aorta é reconectada já no corpo do receptor, processo chamado também de reperfusão (Garcia et al., 2015).

Em suma, quando um coração é oferecido para o InCOR, ele deve estar a uma distância menor do que o limite do deslocamento pelo tempo de isquemia.

O estudo realizado por Sampaio et al. (2018) ressalta os impactos negativos do aumento do tempo de isquemia nos riscos pós cirúrgicos de transplantes renais, enquanto que o estudo feito por Van Der Vliet & Warlé (2011) realiza uma revisão bibliográfica ressaltando os danos que podem ser causados pelo aumento do tempo de isquemia fria em transplantes renais.

Impactos do aumento do tempo de isquemia fria no transplante cardíaco, que é o foco deste trabalho, podem ser constatados por meio de estudos como de Mangini (2015), que ressalta a perda da qualidade para tempos de isquemias maiores que o tempo máximo de 4 horas. Também, a 3^a Diretriz de Transplante Cardíaco ressalta as possibilidades de disfunção do órgão em caso de tempo de isquemia além do limite.

2.1.3 O processo de doação e transplante de órgãos

O processo de doação de órgãos se inicia com o médico registrando o paciente no sistema da Central Nacional de Transplantes. Após este registro, o paciente passa por várias análises médicas para que ele possa ter um diagnóstico, e dependendo da gravidade deste resultado, ele será incluído na fila única de espera de órgãos para transplante (Oliveira et al., 2020). Os órgãos tornam-se disponíveis a partir do momento da morte encefálica confirmada. Neste momento, as informações a respeito deste órgão e do até então candidato a doador são passadas pelas OPO para a Central Estadual de Transplantes. A Central Estadual de Transplante então torna-se responsável por encontrar possíveis receptores do órgão e contatar as respectivas equipes médicas assim que a família do doador permite de fato a doação. O momento do contato da Central Estadual de Transplantes com a equipe médica, é o momento da decisão se o órgão será aceito ou não. Esta decisão leva em conta alguns fatores, sendo um deles o logístico. Neste momento que atuará a solução proposta neste estudo.

As definições de captação a distância, de acordo com a 3^a Diretriz de Transplantes Cardíacos

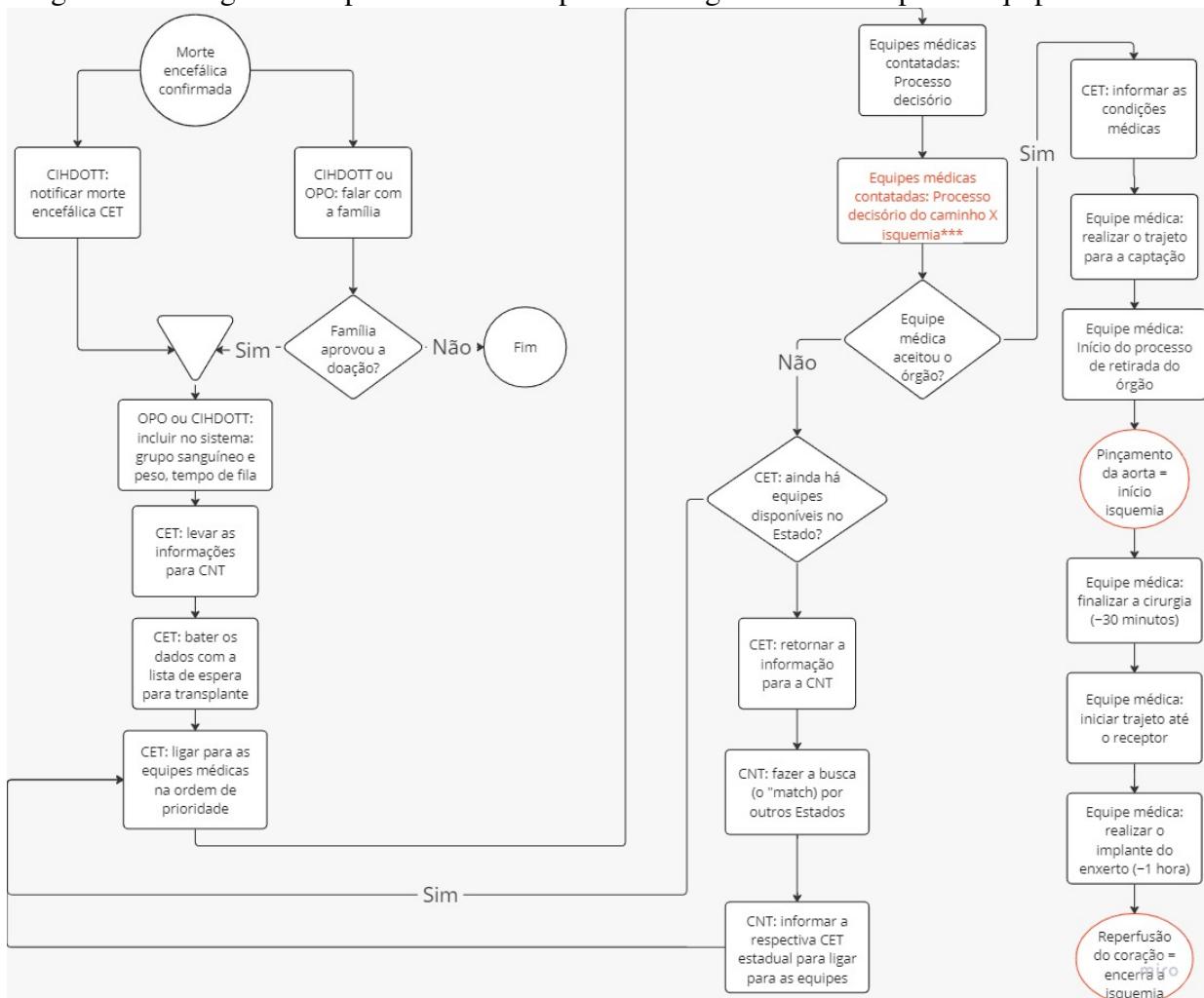
de 2018, são as seguintes:

1. Distância maior que 100 km - transporte terrestre/aéreo (helicóptero)
2. Distância entre 100 e 190 km - transporte terrestre/aéreo (helicóptero)
3. Distância maior que 190km - transporte terrestre/aéreo (avião)

A fim de minimizar o tempo gasto, recomenda-se o transporte também dos instrumentos necessários para o transplante, no caso do hospital do doador não possuir algum dos necessários. Os instrumentos devem preferencialmente ser descartáveis. Também, para este transporte deve haver um coordenador do transplante presente.

Com o aceite da equipe médica, as estruturas passam a ser preparadas para a realização da captação e do transplante. (20) A equipe médica deve se deslocar para o centro cirúrgico para a extração do órgão por meio dos métodos de transporte necessários (helicópteros, aviões e outras veículos de emergência). Enquanto este processo ocorre, o paciente receptor já se desloca para o centro cirúrgico para aguardar a chegada do órgão, diminuindo o tempo de início da cirurgia de implante do enxerto, diminuindo portanto o tempo de isquemia do órgão (ANDRAUS et al., 2013). O processo de doação a partir do momento da confirmação da morte encefálica até o momento da realização do transplante, sob a perspectiva da equipe médica e dos sistemas nacional e estaduais de transplante, pode ser resumido pelo fluxograma representado na figura 6, de autoria própria:

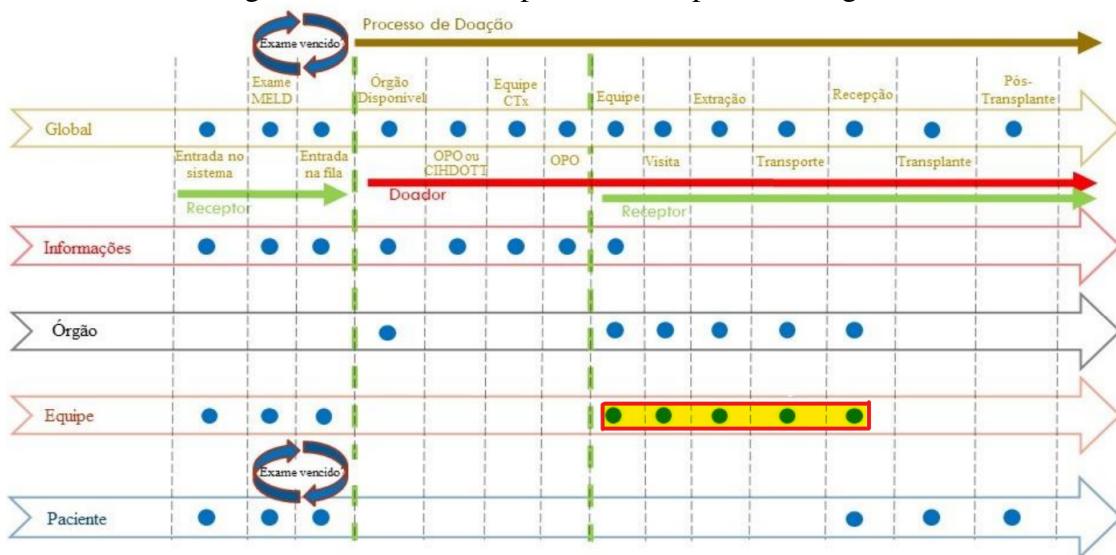
Figura 6: Fluxograma do processo de transplante de órgãos detalhado para a equipe médica.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O processo acima está contido no processo completo de doação de órgãos, que engloba 4 (quatro) principais atores envolvidos: a equipe médica; o paciente; o órgão; e as informações relevantes ao processo. A princípio a equipe e o paciente entram nos sistemas da Central Nacional de Transplante para poderem obter alguma colocação da fila de espera para transplantes de órgãos. Quando há um órgão disponível, o doador candidato agora se torna de fato um doador, e a informação chegar a atingir a equipe médica. A partir deste momento, a equipe entra em transporte para realizar captação e a implantação do órgão, para depois seguirem os processos pós-cirúrgicos, que podem durar até alguns anos dependendo do tipo de transplante ao qual o paciente foi submetido e quais eram suas condições (MOTA, 2020). O processo pode ser visto esquematizado na figura 7:

Figura 7: Processo completo de transplante de órgãos.



Fonte: MOTA, (2020).

O escopo deste trabalho pode ser visto em destaque na linha da equipe médica, por meio de um grifo em amarelo circulado por linhas vermelhas. É a etapa do processo da equipe médica realizar o deslocamento para captação do órgão e o seu retorno, com tempo limite determinado pelo tempo máximo de isquemia do respectivo órgão.

2.2 Logística e transporte multimodal

2.2.1 Logística relacionada a Transplantes de Órgãos

Um paralelo interessante que pode ser traçado é a comparação da perda de qualidade dos órgãos com o aumento do tempo de isquemia, com o de tempo de prateleira (*shelf life*), conceito comumente usado em logística de transporte de alimentos. Neste sentido, Rotstein (1997) descreve um modelo no qual o prazo de validade de um certo alimento pode ser expresso por uma relação matemática. Nesta relação, é feita a diferença entre o nível atual da qualidade deste produto e o limiar intolerável de qualidade. Para este modelo, é usado um valor arbitrário inicialmente para a qualidade (Q_0), há o cálculo de qualidade limite para o tempo de fim do prazo de validade (Q_{th}), feitos em uma dada temperatura de referência (T_{ref}). A equação proposta pelo autor pode ser vista a seguir:

Figura 8: Equação de validade de um alimento.

$$L(Q_n) = \frac{(Q_n) - (Q_{TH})}{k_0^{\left(-\frac{E_a}{R_g} * \frac{1}{T_{REF}}\right)}}$$

Fonte: ROTSTEIN, 1997.

Sendo:

- $L(Q_n)$ = vida de prateleira máxima restante de um produto armazenado a uma temperatura de referência constante (T_{ref}).
- k_0 = Fator expresso como taxa de variação de qualidade por unidade de tempo (horas).
- E_a = termo de característica de temperatura expresso como energia de ativação (cal/mol).
- R_g = Constante universal dos gases perfeitos.

Aspectos de trade-offs em relação aos processos de transplante e doação de órgãos podem ser representados pelos custos associados tanto ao transplante quanto à doação. De acordo com Guerra et al. (2002), cerca 19,5% dos custos relacionados a captação de órgãos são utilizados no transporte, ambulância e gasolina, enquanto que o Brasil informou em 2010 que o custo hospitalar envolvido em um transplante cardíaco era de cerca de 37.052 reais.

O transporte aéreo é a forma de transportar mais rápida quando se fala em grandes distâncias (BALLOU, 2009), e também a forma de transporte que menos causa avarias nos produtos transportados (NOVAES, 2016). Por estes motivos, o transporte aéreo será vital neste estudo, pois dado que estamos analisando captações a longa distância de órgãos humanos, tanto a velocidade quanto as condições de transporte são vitais para garantir que as taxas de transplantes aumentem.

Quando o transporte aéreo não precisa ser realizada a distâncias tão grandes, os transportes acabam sendo realizados por meio de ambulâncias e de helicópteros, principalmente (BRASIL, 2009).

O processo logístico de transporte gera perdas consideráveis no transplante de coração no Brasil. De acordo com o Ministério Público Federal, por meio de uma Ação Civil Pública, em 2014 foram perdidos 70 corações captados para doação e em 2015 foram perdidos 71 corações, pela razão de não haver condições logísticas de transporte para permitir que cada um destes órgãos chegasse aos receptores respeitando o tempo de isquemia, em ambos os anos. Em 2014

por exemplo, essa quantidade de corações representa 23% dos corações totais. Quando um órgão é captado em um Estado da União, ele deve ser primeiramente ofertado para receptores do próprio Estado, de acordo com a lista única nacional, norma essa estabelecida pela Portaria nº 2.600/2009. De acordo com o decreto nº 10.267 de 5 de março de 2020, solicitações de transporte aéreo por urgência médica, o que inclui necessidade de captação de órgãos para transplante como o coração, serão atendidas e serão utilizadas aeronaves do Comando da Aeronáutica.

Ao analisar a problemática deste trabalho sob a ótica da logística, o processo de transplante de órgãos envolve diversos fatores relevantes como o acondicionamento do órgão, a armazenagem do órgão, os tempos máximos de transporte e as distâncias dos doadores e receptores, que por vezes é bem considerável, por conta do grande tamanho do país. Segundo Garcia, (2002), uma informação inicial é a condição necessária para o início do processo logístico e todas as suas subsequentes ações, e esta ação no nosso caso é a confirmação da morte encefálica. Também, é possível analisar que a demanda neste sistema logístico é bem definida e cadastrada, enquanto que a oferta neste sistema possui uma grande quantidade de incertezas associadas.

O controle do processo logístico por meio de indicadores é fundamental para garantir que possíveis alterações operacionais sejam identificadas e operacionalizadas. O sistema logístico do sistema nacional de transplantes não possui indicadores de desempenho adequado, apenas indicadores de resultado (RATZ, 2006). Alguns aspectos repetidos podem ser observados nas definições de logística de diversos autores tradicionais do tema:

1. movimentação
2. armazenagem
3. origem e destino
4. informação
5. produtos
6. nível de serviço
7. custo

Segundo Slack et al. (2009), a multimodalidade de transportes se resume em: rodovia, ferrovia, hidrovia, vias aéreas e dutos. Para este trabalho, de acordo com a definição de Ballou (2009) e Novaes (2016) já dadas, faz sentido que mantenhamos apenas a rodovia e as vias

aéreas como opções, mas apesar de restringir neste aspecto, os diferentes veículos de locomoção nas rodovias e nas vias aéreas geram diferenças significativas que podem ser considerados modais diferentes. Alguns indicadores de processos logísticos que serão utilizados neste trabalho provém da literatura de logística tradicional, como exemplificada pela tabela 2, contida em Rey, (1999), chamada de matriz de desempenho logístico.

Tabela 2: Indicadores de processos logísticos.

Indicadores Processos	Custo	Produtividade	Qualidade	Tempo
Serviço ao cliente e processamento de ordens	> custo de processamento de pedidos	> pedidos de clientes por hora.homem	> erro entrada > % erro status > % erro faturamento	> tempo de processamento do pedido > tempo de entrada do pedido
Planejamento e administração de materiais	> custo e planejamento de inventários	> giro de estoque > SKU (standard kit unit) por empregado	> taxa de disponibilidade > exatidão do prognóstico	> horizontes de prognóstico > ciclos de reposição de estoque > ciclo de um pedido no armazém
Suprimento (operações e planejamento de operações)	> custos de suprimento	> utilização da unidade produtiva > ordens de compra por hora.homem	> % de ordens de compra perfeitas > qualidade em operações (ppm)	> ciclo de produção (lead times) > ciclo de ordem de compra
Transporte e distribuição	> custos de transporte e distribuição	> % no tempo > % sem danos	> utilização da frota	> tempo de trânsito > tempo de carga
Armazenagem	> custos na operação de centros de distribuição	> % exatidão na preparação > % exatidão de inventários	> densidade de armazenagem > unidades por hora.homem	> tempo de permanência do estoque em cada fase
Logística total	> custo total de logística > valor agregado de logística	> pedidos perfeitos por empregado > rotação de ativos de logística	> porcentagem de pedidos perfeitos	> ciclo de logística > ciclo total do pedido

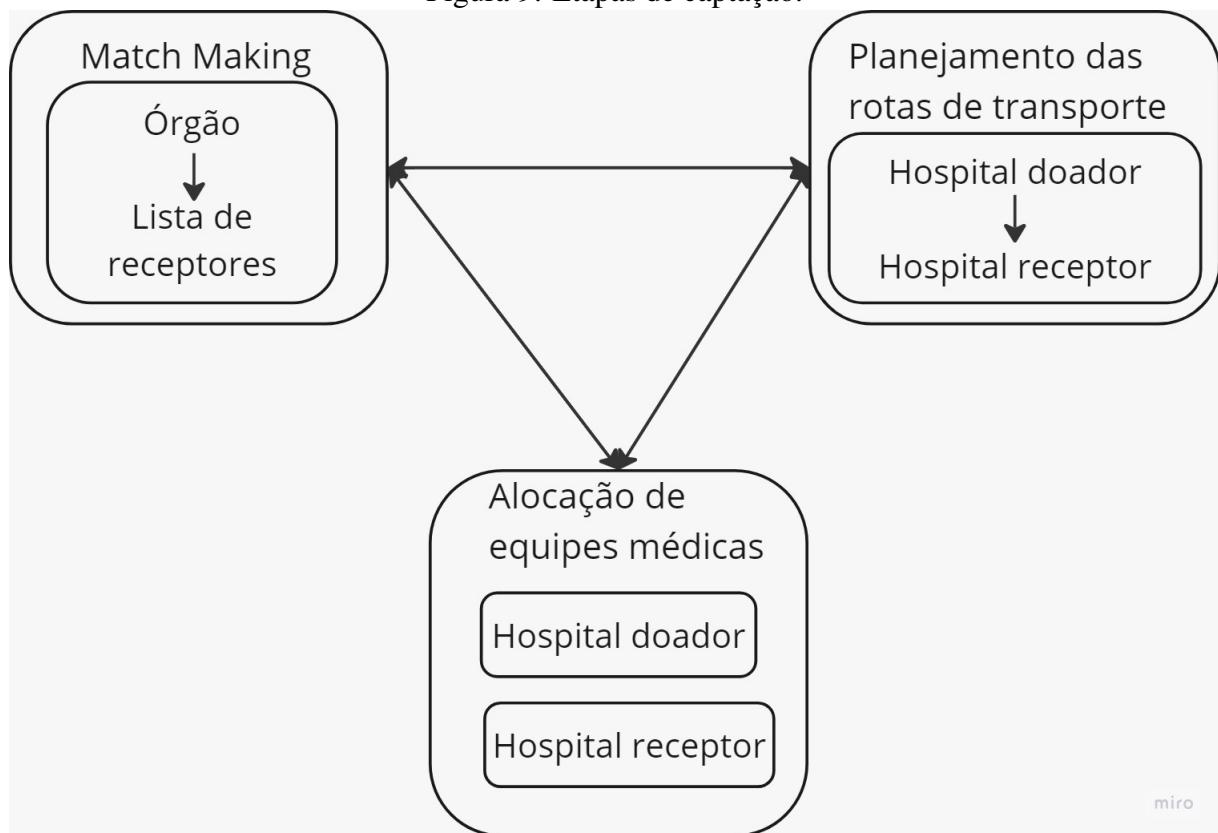
Fonte: REY, 1999.

Destes indicadores os que fazem sentido para a elaboração deste trabalho são: ciclo de produção (*lead time*); tempo de trânsito; tempo de carga; tempo de permanência do estoque em cada fase. Destes, o *lead time* representa o tempo de isquemia máximo do coração: 4 horas. O tempo de trânsito representa o tempo em que a equipe médica estará de fato em transporte em direção ao receptor do órgão. O tempo de carga é o tempo determinado pela equipe médica como o tempo necessário para garantir que o coração seja devidamente retirado e armazenado após o clampeamento, para início do transporte, e também o tempo de implantar o enxerto no receptor. Por último o tempo de permanência no caso deste estudo seria o tempo do órgão mantido parado aguardando a equipe médica iniciar o processo de transporte e o posterior processo de implatação, e neste trabalho esses tempos são considerados iguais a zero.

O *lead time* brasileiro já é considerado pela própria Coordenação-geral do SNT como um dos indicadores propostos: tempo entre a entrega do órgão e o transplante (FERRAZ, 2013). Ao comparar este indicador com outro indicador também contido na lista de indicadores propostos do SNT tempo médio de isquemia segundo tipo de órgão, e posteriormente garantindo que o primeiro indicador seja menor que o segundo indicador, um terceiro indicador proposto por uma auditoria do Tribunal de Contas da União (TCU) para o SNT em 2006 seria o foco do impacto: órgãos e tecidos captados em relação aos órgãos e tecidos doados. Como este trabalho se propõe a melhorar o processo decisório de captações a longa distância, a aplicação do framework proposto neste estudo pode gerar melhorias nestes indicadores já existentes, visto que aumentaria a eficácia dos processos de captação em geral.

Sobre a logística do processo de doação de órgãos, há 3 divisões internas na etapa de captação. O *matchmaking* do órgão a ser doado com a lista de receptores, a alocação das equipes médicas nos hospitais do doador e receptor, e o planejamento das rotas de transporte que é o ponto de atuação deste trabalho, ilustrado na figura 9 (FUZZATI, 2005):

Figura 9: Etapas de captação.



Fonte: Adaptado pelo autor de FUZZATI, 2005.

O *matchmaking* é feito com base na lista de espera e sua compatibilidade com as informações fornecidas pela equipe médica do doador (FUZZATI, 2005). Há um sistema único que gera a

lista, com subdivisões regionais, estaduais, macrorregionais e nacional de potenciais receptores.

Para cada órgão existem especificidades e critérios definidos para características do doador e do receptor, principalmente relacionados às condições médicas que cada um se encontra. Segundo o Artigo 35 do Decreto nº 9.175 de 2017, a alocação dos órgãos deve seguir critérios de gravidade, distância, tempo de fila, compatibilidade e tempo estimado de deslocamento das equipes médicas, além de situações de urgência máxima (BRASIL 2009, 2017).

2.2.2 Transporte multimodal

Os problemas de otimização em redes possuem diversas divisões. Uma delas é o problema de transporte, que consiste em encontrar o caminho de menor custo dados pontos de origem e pontos de destino, com fluxo de produtos ou pessoas. Quando este problema é usado para a obtenção do menor caminho considerando mais de um modal de transporte, ele é chamado de Problema de Transporte Multimodal. A partição de nós em origem e destino é proposta por AHUJA et al. (1995). A multimodalidade complexifica as possibilidades que cada caso pode necessitar para ir de um nó de origem a um nó de chegada, contudo, permite mais possibilidades de otimização, possivelmente atendendo melhor a restrições específicas. A formulação deste tipo de problema utiliza uma função objetivo não-linear, e foi trabalhada no seguinte modelo (VERGA et al., 2014):

Figura 10: Equação para problema de caminho mínimo para transporte multimodal.

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \sum_{(i,j,l) \in A} \sum_{l \in L} c_{ijl}(x_{ijl})x_{ijl} \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijl} - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jil} = b_i, \forall i \in N \\ & x_{ijl} \leq u_{ijl}, \forall (i,j) \in A, \forall l \in L \\ & x_{ijl} \geq 0, \forall (i,j) \in A, \forall l \in L \end{aligned}$$

Fonte: VERGA, 2014.

Onde:

- L é o conjunto de todos os modos de transporte considerado
- l é um modo de transporte
- x_{ijl} é o fluxo no arco (i, j) usando o modo l
- b_i é a oferta ou demanda do nó i

- $c_{ijl}(x_{ijl})$ é o custo de percorrer o arco (i, j, l) e depende do fluxo x_{ijl} no arco
- u_{ijl} é a capacidade do arco (i, j) usando o modo l

Uma forma de modelar os custos de transporte em determinado trecho tradicional na literatura é utilizando uma função linear como (BPR, 1964): Onde:

- c_{ijl} é o custo de viagem no arco (i, j) pelo modo l
- c_0 é o custo de viagem com fluxo livre, ou seja, o custo inicial do arco
- x_{ijl} é o fluxo no arco (i, j) pelo modo l
- p e λ são os parâmetros do modelo, que usualmente são $p = 0,15$ e $\lambda = 4$

O Problema do Caminho Mínimo, mais próximo da problemática do problema deste trabalho, no âmbito de Redes de Transporte Multimodal pode ser formulado de acordo com uma variável x_{ijl} binária, que representa se o arco do nó i para o nó j com modo de transporte l pertence ao caminho mínimo. A variável vale 0 se não pertence e 1 caso contrário. A função objetivo minimiza os custos, sejam eles de tempo, distância, tarifa, dos arcos que são parte do caminho mínimo. As restrições deste problema desconsideram a variável do fluxo de cada caminho, considerando-os como 1, pois ofertas e demandas de cada nó são 1 (SHIRABAYASHI, 2014):

Figura 11: Equação para problema de redes de transporte multimodal.

$$\begin{aligned}
 & \min && z = \sum_{(i,j) \in A} \sum_{l \in L} c_{ijl} x_{ijl} \\
 & \text{sujeto a} && \sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijl} - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jil} = 0 , \quad i \neq o, d \\
 & && \sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijl} - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jil} = 1 , \quad i = o \\
 & && \sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijl} - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jil} = -1 , \quad i = d \\
 & && x_{ijl} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad \forall l \in L
 \end{aligned}$$

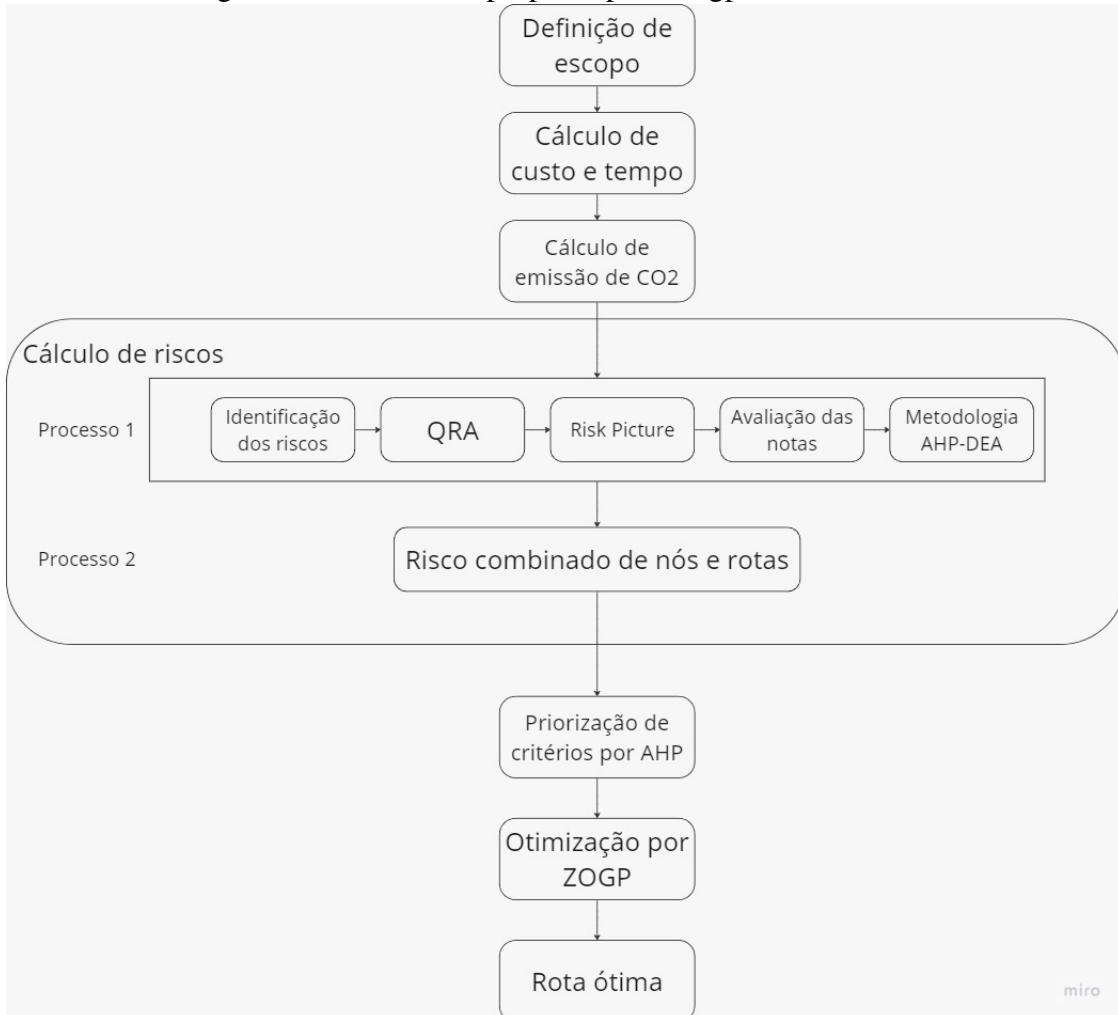
Fonte: SHIRABAYASHI, 2014.

Outra abordagem encontrada na literatura é a proposta por Ziliaskopoulos, Wardell (2000). O objetivo é minimizar o tempo de viagem por meio de um algoritmo determinístico. Cada arco tem seu tempo considerado dinamicamente, considerando atrasos na troca do modal de transporte e as escalas de horário de partida. Duas estruturas fazem a representação do grafo:

uma matriz bi-dimensional e uma lista de predecessores. A matriz atua armazenando os custos de cada arco conectando dois pares de nós, para cada modal e para escala de tempo. Em LIU et al. (2017) são considerados os tempos de troca de modais de transporte e também as janelas de tempo de partida e de chegada para calcular o caminho mais rápido entre uma origem e um destino, adaptando um algoritmo *Label-Setting* para abordar ambas as características. O trabalho de Kirchler (2013) baseia-se nas cidades de Paris e Nova Iorque para elaborar duas redes de transporte multimodal. Os modais escolhidos foram: bicicleta, pedestre, carros e transporte público. Nos momentos de troca de modal, o autor considera arcos de transição. Essa modelagem foi usada por ele em um algoritmo de caminho mínimo mono-objetivo para redes multimodais chamado de SDALT, variante do algoritmo ALT (GOLDBERG & Harrelson, 2005). Abordagens híbridas, ou seja, algoritmos determinísticos unidos a heurísticas também tem trazido bons resultados neste campo de estudo. Jing et al. (2012) traz um algoritmo híbrido que minimiza o custo e o tempo total do caminho. Há restrições de que o tempo total não ultrapasse um determinado tempo máximo. Conforme hajam infactibilidades em relação a essa restrição, há a subsequente exclusão e geração de um novo. A mutação ocorre em um ponto enquanto o crossover ocorre em dois pontos. Também em abordagens híbridas, Hedi et al. (2009) aborda um algoritmo que pré-calcula os caminhos mínimos considerando uma rede dinâmica. É usado o Algoritmo de Colônia de Formigas para determinar os caminhos mais curtos mono-modais, calculando os possíveis caminhos locais. Posteriormente são calculados os valores mínimos dos caminhos considerando os tempos de partida. Também, gera-se um grafo chamado de "grafo relevante" em tradução livre. Por meio do algoritmo de Dijkstra, são calculados os caminhos mínimos totais. O trabalho é mono-objetivo e pode ser usado para calcular tempo ou custo.

Kengpol & Tuammee (2014) desenvolveram uma metodologia, um *framework*, para escolhas de rotas de transporte multimodais com o objetivo de minimizar critérios como custo, *lead time*, risco e emissões de CO₂.

Figura 12: Framework proposto por Kengpol & Tuammee.



Fonte: Adaptado pelo autor de KENGPOL & TUAMMEE, 2014.

No qual:

- Fase 1 - Definição de escopo: o usuário determina os locais de origem e de chegada e prepara os dados e parâmetros necessários para cada rota, considerando os diferentes modais, por meio de entrevistas, especialistas ou empresas especializada em fornecer serviços de logística.
- Fase 2 - Cálculo de custos e tempo: Considerar os custos internos e externos atrelados aos modais envolvidos nas rotas. Os custos internos se referem ao custo do modal, ao tempo gasto em transbordos relacionados a cada modal e os custos de manejamento e operação de cada modal. Os custos externos são considerados como os impactos ambientais e riscos atrelados a cada modal de transporte em suas rotas. As fórmulas destes cálculos podem ser vistas na imagem 13.

Figura 13: Fórmulas de cálculo de custos no *framework* proposto.

$$\text{Transport Cost} = \left[\frac{(\text{Demand})}{(\text{Load Factor}) \times (\text{Vehicle Capacity})} \right] \times (\text{Cost per Frequency})$$

$$\text{Time Cost} = (\text{Demand}) \times (\text{Time}) \times (\text{Cost per unit of time per unit of demand})$$

$$\text{Handling Cost} = (\text{Demand}) \times (\text{Cost per unit of demand})$$

$$\text{External Cost} = \left[\frac{(\text{Demand})}{(\text{Load Factor}) \times (\text{Vehicle Capacity})} \right] \times (\text{External Cost per frequency})$$

Fonte: KENGPOL & TUAMMEE, 2014.

- Fase 3 - Cálculo de emissão de CO2: Visto que o setor de transportes é um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEEs), este cálculo é fundamental. As emissões são calculadas a partir das seguintes fórmulas, contidas na figura 14:

Figura 14: Fórmulas de cálculo de emissão de CO2 no framework proposto.

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \sum (\text{EF}_{\text{Fuel}} \times \text{FC}_{\text{Fuel}})$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \sum [(\text{EF}_{\text{Transport}}) \times (\text{Distance} \times \text{Load})]$$

Fonte: KENGPOL & TUAMMEE, 2014.

na qual EF_{Fuel} é o fator de emissão de CO2 de cada tipo de combustível de cada modal; FC_{Fuel} é o consumo de combustível de cada modal; EF_{Transport} é o coeficiente de emissão de cada modal.

- Fase 4 - Cálculo de riscos: primeiramente é feita uma análise de riscos por meio de metodologias como QRA, AHP e DEA. Em seguida é feita uma análise combinatória entre rotas e nós e seus respectivos riscos.
- Fase 5 - Priorização: os critérios de priorização são determinados a partir da metodologia AHP.
- Fase 6 - Processo de otimização: por meio da metodologia ZOGP é realizada a otimização, como pode ser visto na figura 15:

Figura 15: Modelo matemático de otimização.

$$\text{Minimize} = \sum_{i=1}^m (g_i d_i^+) = w_1(g_1 d_1^+) + w_2(g_2 d_2^+) + \cdots + w_m(g_m d_m^+)$$

Subject to	Budget	$c_1 X_1 + c_2 X_2 + \cdots + c_n X_n \leq C$
	Time	$t_1 X_1 + t_2 X_2 + \cdots + t_n X_n \leq T$
	Environmental Impact	$e_1 X_1 + e_2 X_2 + \cdots + e_n X_n \leq E$
	Risk	$r_1 X_1 + r_2 X_2 + \cdots + r_n X_n \leq R$

$$X_1 + X_2 + \cdots + X_n = 1$$

$$w_i d_i^+ \geq 0, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$c_j, t_j, e_j, r_j \geq 0, \text{ for } j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1, \text{ for } j = 1, 2, \dots, n$$

Fonte: KENGPOL & TUAMMEE, 2014.

3 METODOLOGIA

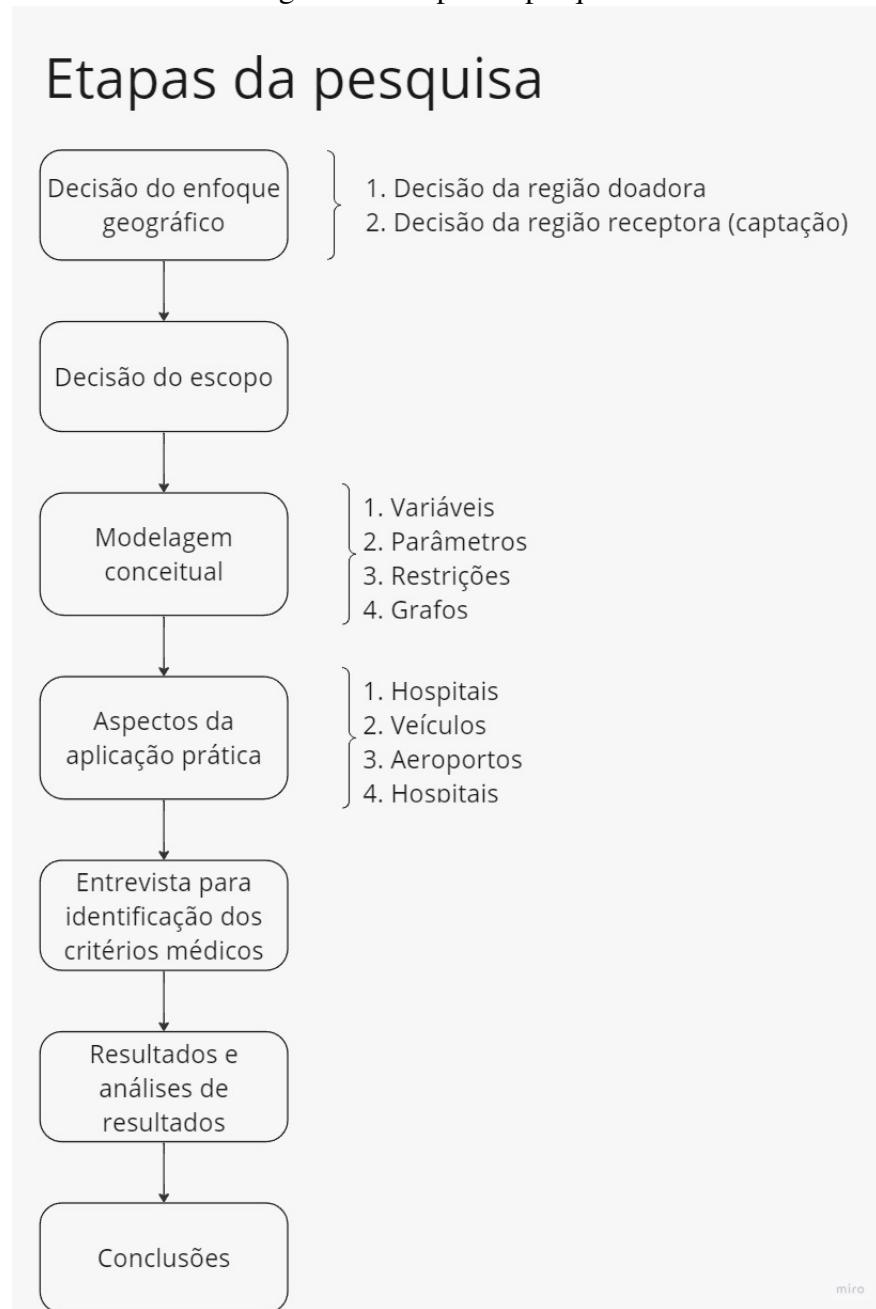
Neste capítulo será feita a elaboração da metodologia que permite a geração dos dados e suas posteriores análises. Também, é de forma análoga a esta metodologia que foi proposto um método de análise para a contribuição no processo decisório de equipes médicas para transplantes de órgãos com captação à distância.

As etapas da pesquisa foram adaptadas às necessidades deste estudo para atingir seus objetivos pelo *framework* proposto por Kengpol & Tuammee (2014) mostrado no capítulo de revisão de literatura. Os conceitos propostos pelos autores foram adaptados para tornarem-se: a definição dos locais de origem e de chegada, dos possíveis meios de transporte, com seus respectivos tempos de embarque, velocidades e gastos de combustível para cálculos de tempo e custos de maneira a gerar o modelo conceitual.

Foram feitas algumas entrevistas não estruturadas a fim de tanto validar a modelagem conceitual formulada, quanto compreender quais os critérios e preferências que a equipe médica possui na prática, para depois com os resultados gerados a partir da modelagem conceitual, poder haver uma comparação entre as rotas teóricas entre si, e posteriormente entre as rotas teóricas e os critérios da equipe.

De forma resumida, a metodologia se estrutura como vista na figura 16:

Figura 16: Etapas da pesquisa.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

3.1 Decisão das regiões doadoras

Para entender quais são os principais *stakeholders*, ou seja, quais são as principais instâncias relacionadas ao processo de transplante de órgãos com captação a distância, utilizaremos uma base da Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo, especificamente o Sistema Estadual de Transplantes. Os dados podem ser vistos na tabela 3 e são referentes ao período de 01/01/2000 até 28/07/2023, considerando as notificações que os hospitais dos estados brasileiros fizeram

para a Central de Transplantes notificando a possibilidade de um transporte decorrente de uma morte encefálica.

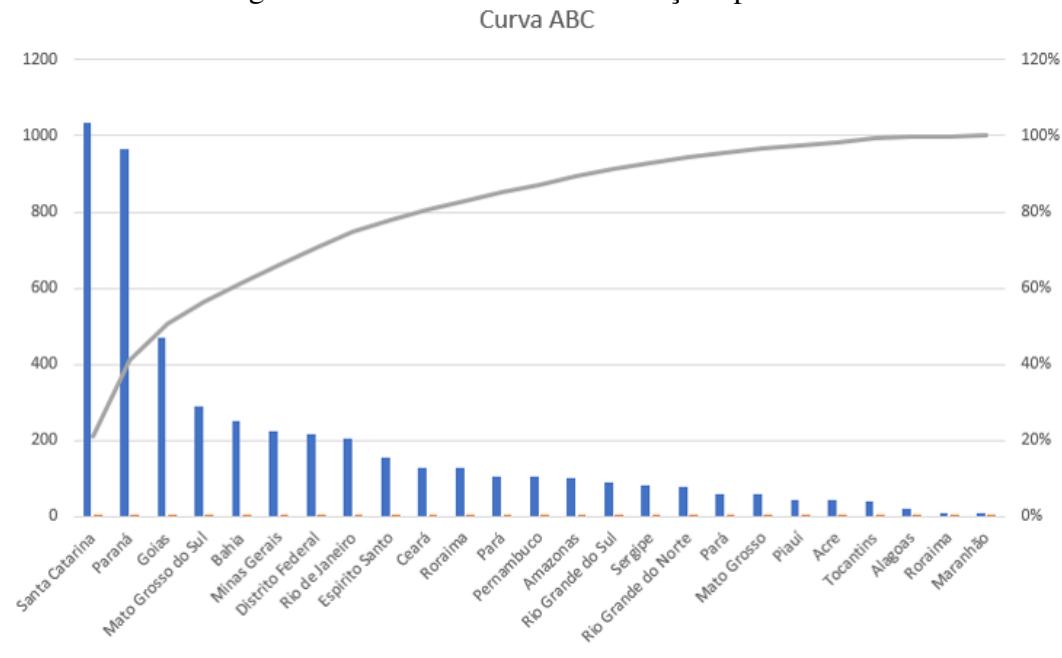
Tabela 3: Notificações de órgãos por Estado.

Estados	Notificações	Percentual	Porcentagem Acumulada
Santa Catarina	1036	21%	21%
Paraná	967	20%	41%
Goiás	468	10%	50%
Mato Grosso do Sul	287	6%	56%
Bahia	252	5%	61%
Minas Gerais	222	5%	66%
Distrito Federal	217	4%	70%
Rio de Janeiro	206	4%	75%
Espirito Santo	154	3%	78%
Ceará	129	3%	80%
Roraima	128	3%	83%
Pará	104	2%	85%
Pernambuco	103	2%	87%
Amazonas	100	2%	89%
Rio Grande do Sul	89	2%	91%
Sergipe	80	2%	93%
Rio Grande do Norte	76	2%	94%
Pará	60	1%	96%
Mato Grosso	57	1%	97%
Piauí	42	1%	98%
Acre	42	1%	98%
Tocantins	40	1%	99%
Alagoas	19	0%	100%
Roraima	10	0%	100%
Maranhão	7	0%	100%
	4895		

Fonte: Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo, 2023

A partir das análises dos dados na tabela 3, podemos traçar gráficos para fazer uma curva ABC e ver quais são as prioridades a partir da sua contribuição percentual para nosso problema.

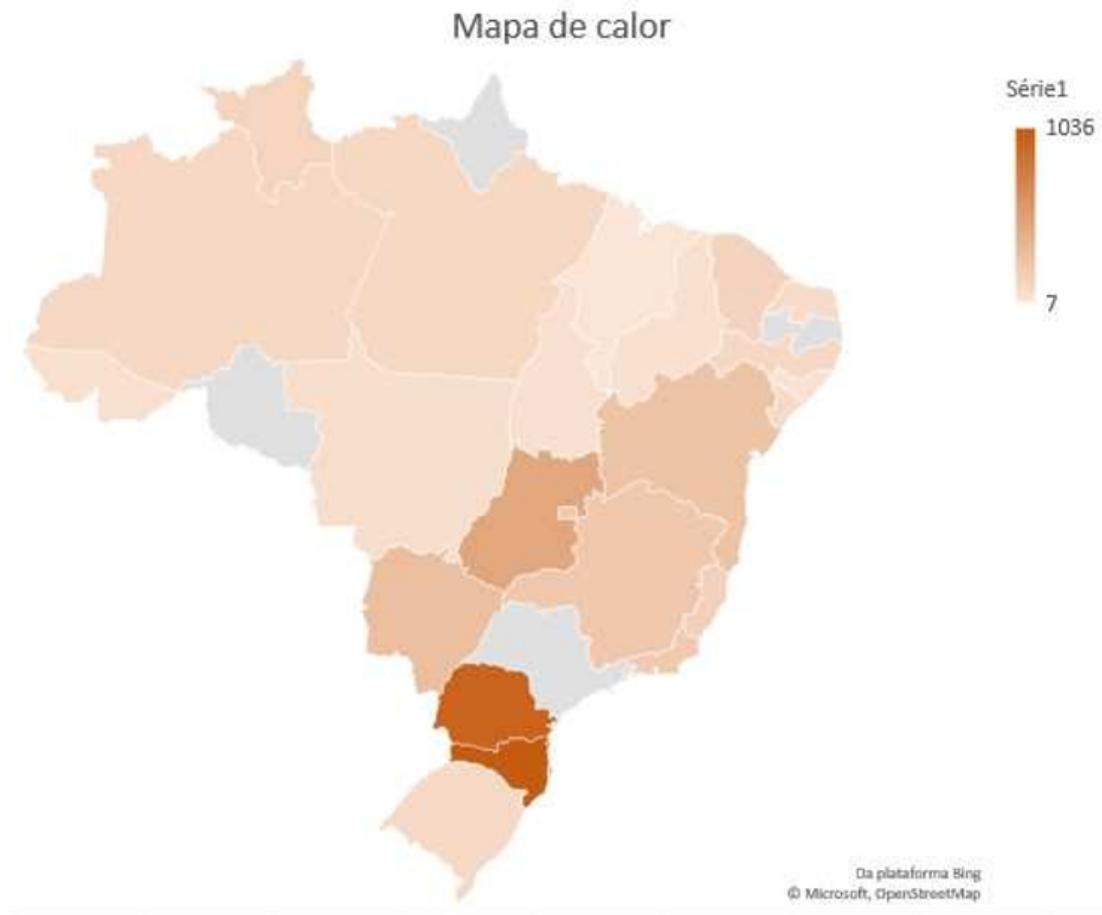
Figura 17: Curva ABC das notificações por Estado.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A partir da curva ABC percebemos que há um destaque em dois estados principais: Santa Catarina e Paraná. Em seguida, há diversos estados com quantidades parecidas de notificações, e portanto, faz sentido traçar também um mapa de calor para a partir dele e da figura 17 realizarmos uma clusterização de alguns grupos de Estados afim de permitir uma menor fragmentação e uma pesquisa mais coesa a priori.

Figura 18: Mapa de calor das notificações.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A partir do mapa de calor, vamos priorizar os estados próximos a São Paulo, por conta do tempo de isquemia do coração e das velocidades dos veículos disponíveis, que tornam inviável o transporte para diversos estados do Norte e Nordeste. Os blocos escolhidos para este trabalho são de acordo com as macrorregiões brasileiras, ou seja, região sul composta por Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul como a prioridade maior, seguida pela região centro oeste composta por Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul como a prioridade intermediária e a região sudeste (excluindo São Paulo) composta por Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo sendo a prioridade menor.

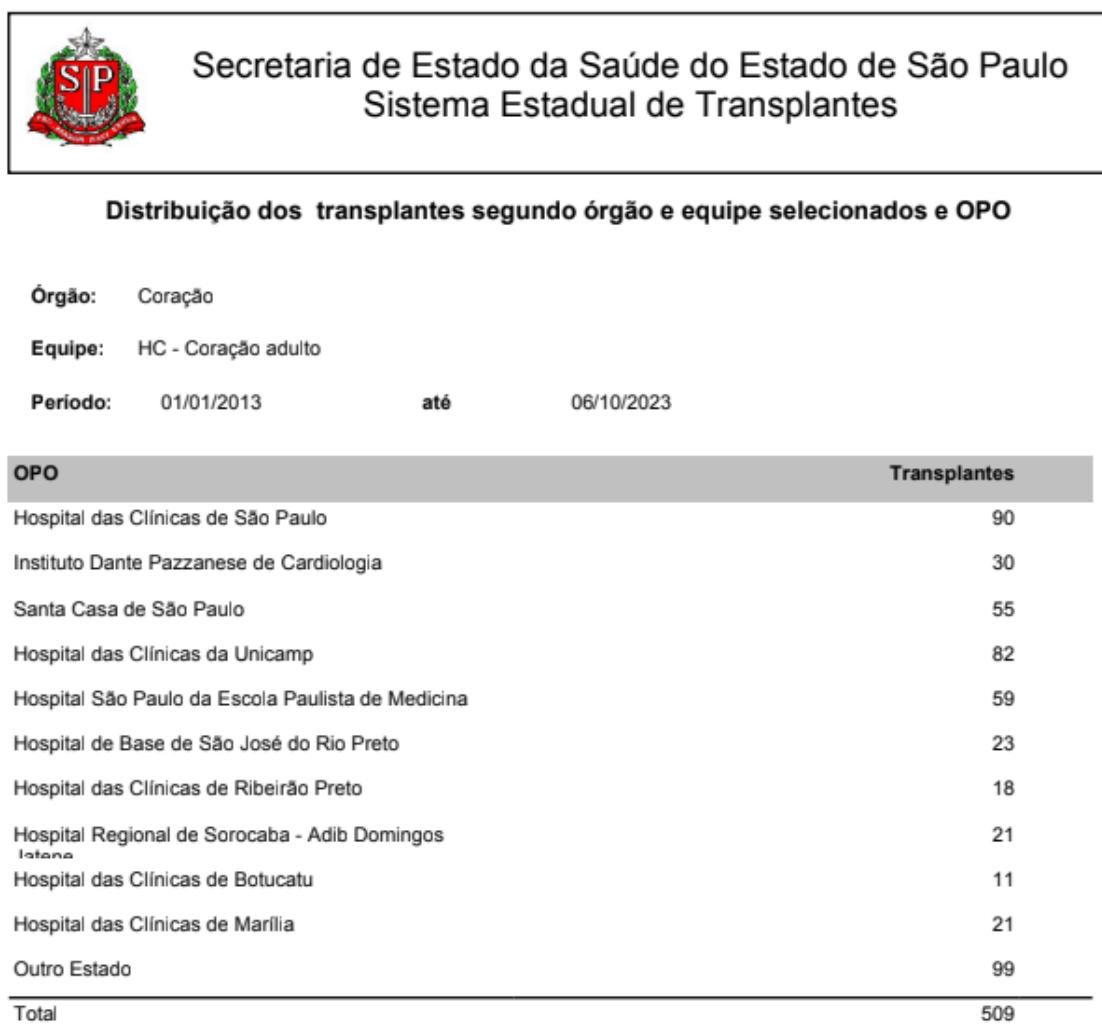
3.2 Decisão da região de captação dos órgãos

Sendo a região sudeste do Brasil a região com os maiores centros transplantadores do país, neste trabalho houve a decisão de escolher o maior centro transplantador de coração do país, o Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de

São Paulo (InCOR).

Os centros transplantadores são orientados a encaminhar alguns transplantes caso não possuam um volume mínimo de transplantes anualmente para centros transplantadores de maior volume (ISHLT, 2019). Os dados mostram que centros transplantadores que não atingem essa quantidade anualmente acabam gerando um número menor de casos bem sucedidos após o implante, que ainda é um momento crítico nos transplantes de órgãos. O corpo aceitar o novo órgão e as condições de saúde decorrentes do transplante faz com que os índices de mortalidade após o transplante sejam altos, e ainda mais altos em centros transplantadores que não realizam mais do que o limite mínimo de transplantes no ano. A relação da quantidade de transplantes de coração adulto mostra o destaque do instituto destacado.

Figura 19: Relação de corações transplantados em 2023.



Fonte: Sistema Estadual de Transplantes - SES

Fonte: Sistema Estadual de Transplantes, 2023.

3.3 Decisão do escopo

Ao analisar um período de 9,5 anos de transplantes de coração no Brasil, os relatórios mostram que dos 10.465 corações disponibilizados para transplante, ou seja, com doador com morte encefálica confirmada e família aprovando a doação de órgãos, apenas 1.244 foram retirados, e destes, 1.191 foram utilizados. Ou seja, a taxa de utilização do serviço de transplante não chega nem a 12%.

Dos 9.275 corações recusados, quase 4% (361) foram recusados pela justificativa de "Logística/Distância".

Figura 20: Dados sobre doação e captação de coração no Brasil 2013-2022.

 Secretaria de Estado da Saúde do Estado de São Paulo Sistema Estadual de Transplantes																																																																											
Relatório de Órgãos/Tecidos disponibilizados, utilizados e descartados																																																																											
Período: Período: 01/01/2013 a 30/06/2022 Órgão: Coração OPO: Todas																																																																											
<hr/>																																																																											
<table> <tbody> <tr> <td>-Total de Corações Disponibilizados:</td> <td>10.465</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Total de Corações Retirados:</td> <td>1.244 (11.9 %)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Total de Corações Utilizados:</td> <td>1.191 (11.4 %)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Total de Receptores Transplantados:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Transplante de Coração</td> <td>1.190</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Transplante de Coração/Rim</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Transplante sem Confirmação de Coração</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Transplante sem Confirmação de Coração/Rim</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Total de Corações Recusados:</td> <td>9.275 (88.6 %)</td> <td>(%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Idade</td> <td>2.736</td> <td>29.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Falta de cateterismo/eco</td> <td>1.107</td> <td>11.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Antecedentes mórbidos</td> <td>890</td> <td>9.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td> PCR do doador</td> <td>589</td> <td>6.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Cardiopatia - miocardiopatia</td> <td>496</td> <td>5.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Doador exclusivo de rim ou fígado/rim</td> <td>493</td> <td>5.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Droga vasopressora</td> <td>438</td> <td>4.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Distância/Logística</td> <td>361</td> <td>3.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Infecção</td> <td>349</td> <td>3.8</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				-Total de Corações Disponibilizados:	10.465			-Total de Corações Retirados:	1.244 (11.9 %)			-Total de Corações Utilizados:	1.191 (11.4 %)			-Total de Receptores Transplantados:				Transplante de Coração	1.190			Transplante de Coração/Rim	4			Transplante sem Confirmação de Coração	1			Transplante sem Confirmação de Coração/Rim	0			-Total de Corações Recusados:	9.275 (88.6 %)	(%)		Idade	2.736	29.5		Falta de cateterismo/eco	1.107	11.9		Antecedentes mórbidos	890	9.6		PCR do doador	589	6.4		Cardiopatia - miocardiopatia	496	5.3		Doador exclusivo de rim ou fígado/rim	493	5.3		Droga vasopressora	438	4.7		Distância/Logística	361	3.9		Infecção	349	3.8	
-Total de Corações Disponibilizados:	10.465																																																																										
-Total de Corações Retirados:	1.244 (11.9 %)																																																																										
-Total de Corações Utilizados:	1.191 (11.4 %)																																																																										
-Total de Receptores Transplantados:																																																																											
Transplante de Coração	1.190																																																																										
Transplante de Coração/Rim	4																																																																										
Transplante sem Confirmação de Coração	1																																																																										
Transplante sem Confirmação de Coração/Rim	0																																																																										
-Total de Corações Recusados:	9.275 (88.6 %)	(%)																																																																									
Idade	2.736	29.5																																																																									
Falta de cateterismo/eco	1.107	11.9																																																																									
Antecedentes mórbidos	890	9.6																																																																									
PCR do doador	589	6.4																																																																									
Cardiopatia - miocardiopatia	496	5.3																																																																									
Doador exclusivo de rim ou fígado/rim	493	5.3																																																																									
Droga vasopressora	438	4.7																																																																									
Distância/Logística	361	3.9																																																																									
Infecção	349	3.8																																																																									

Fonte: Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo 2013-2022.

Já para o estado de São Paulo, que será o estado foco de captação destes corações neste estudo, as relações se alteraram consideravelmente. No mesmo período, dos 1.648 corações disponibilizados, apenas 191 foram utilizados, mantendo a relação com o nacional. Contudo, dos corações recusados (1.457), 262 tiveram como justificativa "Logística/Distância", sendo uma média mais de 4 vezes maior que a média nacional, chegando a 18%.

Figura 21: Dados sobre doação e captação de coração no Estado de São Paulo 2013-2022.

 Secretaria de Estado da Saúde do Estado de São Paulo Sistema Estadual de Transplantes														
Relatório de Órgãos/Tecidos disponibilizados, utilizados e descartados														
Período: Período: 01/01/2013 a 30/06/2022														
Órgão: Coração														
OPO: Outro Estado														
<p>-Total de Corações Disponibilizados: 1.648</p> <p>-Total de Corações Retirados: 191 (11.6 %)</p> <p>-Total de Corações Utilizados: 191 (11.6 %)</p> <p>-Total de Receptores Transplantados:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr><td>Transplante de Coração</td><td style="text-align: right;">191</td></tr> <tr><td>Transplante de Coração/Rim</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td>Transplante sem Confirmação de Coração</td><td style="text-align: right;">0</td></tr> <tr><td>Transplante sem Confirmação de Coração/Rim</td><td style="text-align: right;">0</td></tr> </table> <p>-Total de Corações Recusados: 1.457 (88.4 %) (96)</p>			Transplante de Coração	191	Transplante de Coração/Rim	1	Transplante sem Confirmação de Coração	0	Transplante sem Confirmação de Coração/Rim	0				
Transplante de Coração	191													
Transplante de Coração/Rim	1													
Transplante sem Confirmação de Coração	0													
Transplante sem Confirmação de Coração/Rim	0													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px; border: 1px solid red; width: 40%;">Distância/Logística</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">262</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">18.0</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Falta de cateterismo/eco</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">182</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">12.5</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Antecedentes mórbidos</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">164</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">11.3</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cardiopatia - miocardiopatia</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">114</td><td style="padding: 5px; text-align: right;">7.8</td></tr> </table>			Distância/Logística	262	18.0	Falta de cateterismo/eco	182	12.5	Antecedentes mórbidos	164	11.3	Cardiopatia - miocardiopatia	114	7.8
Distância/Logística	262	18.0												
Falta de cateterismo/eco	182	12.5												
Antecedentes mórbidos	164	11.3												
Cardiopatia - miocardiopatia	114	7.8												

Fonte: Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo 2013-2022.

Assim, visto que logística e problemas de otimização de caminhos, de modelagem de processos são problemas tradicionais de engenharia de produção, este é o escopo deste trabalho. O objetivo é contribuir para um sistema que possa diminuir este número percentual de corações recusados por conta de "Logística/Distância" nos próximos anos, representando na prática, um maior número de vidas salvas.

3.4 Modelagem Conceitual

O cerne do problema deste trabalho poderia ser sintetizado em uma frase: como chegar de um determinado local até outro determinado local da maneira mais rápida possível, considerando três modais de transporte diferentes: carro (ambulância), helicóptero e avião. Estes modais foram identificados no 3º Congresso Nacional de Cardiologia quanto em entrevistas não estruturadas com o médico cardiologista responsável pela equipe de transplantes cardíacos do InCOR. A partir das pesquisas e das conversas com o médico, aspectos peculiares foram identificados, para que uma modelagem pudesse ser feita e posteriormente validada.

Assim, algumas restrições que tornam este processo singular foram listadas e serão explicitadas a seguir.

3.4.1 Restrições e características do processo

As restrições desempenham um papel central neste trabalho, pois elas que impedem que apenas peguemos um algoritmo de otimização previamente realizado em outras pesquisas e aplicássemos ao nosso caso, realizando uma análise de dados posterior. A priori, este trabalho visa entender como todo este processo funciona, quais as restrições, quais as limitações, quais as características individuais e singulares que regem o funcionamento de cada etapa, para posteriormente averiguar a possibilidade e a necessidade ou não da realização de um modelo matemático e de um modelo computacional.

3.4.1.1 Origem e destino e tempo máximo de trajeto

A origem de todos os fluxos deste trabalho é o hospital no qual o coração está sendo retirado do doador com morte encefálica confirmada. Deste momento em diante, este hospital será referenciado como hospital doador.

O destino de todos os fluxos deste processo é o hospital no qual o coração será implantado no receptor. Deste momento em diante, este segundo hospital será referenciado como hospital receptor.

Estes são os dois pontos relevantes pois os problemas de logística e distância que ocorrem corriqueiramente neste processo são determinados pelo tempo máximo de isquemia do órgão em questão, que no caso do coração é de 4 horas. O tempo de isquemia se inicia com, em termos médicos, o pinçamento da aorta no momento da cirurgia de remoção do coração do doador, e se encerra com a reperfusão do coração na cirurgia de implante do coração no receptor. Assim, estes dois locais são os locais nos quais o tempo de isquemia se inicia e se encerra, respectivamente.

3.4.1.2 Modais de transporte

A partir de entrevistas livres não estruturadas com o médico responsável pela equipe de transplantes do InCOR, foram identificados 3 modais de transporte: terrestre, representado por ambulâncias; e aéreo, representado por helicópteros e aviões. Os outros modais a priori não são considerados por conta de sua menor velocidade e/ou maior distância em relação aos centros transplantadores. Neste trabalho, a ambulância será considerada o meio terrestre pois não apenas é o meio de transporte que historicamente é mais utilizado neste processo, como também permite que ela trafegue em velocidades maiores que os limites das vias, diminuindo portanto o tempo de isquemia. Os helicópteros e aviões considerados neste trabalho serão os fornecidos

pelas Forças Aéreas Brasileiras, especificamente. Eles possuem características distintas, e portanto, apesar de ambos serem transporte aéreos, podem ser considerados meios de transporte diferente, e no geral são mais ágeis que a ambulância e que a avões comerciais tradicionais, também sendo possível verificar essa afirmação pelo histórico da equipe do InCOR, que realizou apenas um único transplante de coração por meio da aviação comercial.

Também por meio da entrevista e do histórico, foram identificadas duas limitações em relação aos meios de transporte quando é uma captação a longas distâncias, ou seja, uma distância maior que 190 quilômetros: há no máximo duas viagens de helicóptero e no máximo uma viagem de avião. As viagens de helicóptero cumprem o papel de diminuir o tempo de viagem nas proximidades do hospital doador, fazendo com que o órgão chegue mais rapidamente no aeroporto. Assim, a lógica seguida foi: se houver algum trajeto de avião, ele será o maior possível, visto que é o mais veloz, para minimizar o tempo; se houver algum trajeto de helicóptero, ele será o maior possível respeitando o maior trajeto de avião, pois como é modal com velocidade intermediária, devemos priorizá-lo em relação ao carro e despriorizá-lo em relação ao avião. Nos grafos, para diferenciar visualmente os modais, foi utilizada uma técnica de grafos coloridos adaptada: os arcos vermelhos representam viagens de carro, arcos azuis representam viagens de helicóptero e viagens verdes representam viagens de avião.

Uma característica que não foi abordada neste trabalho é o de restrição de certos modais de transporte, ou seja, em todos os nós que permitiriam o uso de um determinado modal, sempre haverá a disponibilidade de um veículo e o local estará apto a iniciar os processos de embarque e desembarque. Por exemplo: nos nós que representam os aeroportos, sempre haverá uma aeronave disponível para a viagem assim que a equipe estiver no local.

3.4.1.3 Locais de transbordo

Não é escopo deste trabalho otimizar a localização dos locais envolvidos neste processo afim de minimizar o tempo de isquemia. É escopo deste trabalho compreender como que, a partir dos aeroportos e helipontos já construídos e funcionais em cada local, os transportes dos órgãos, em específico o coração pode ocorrer a fim de gerar o menor tempo de isquemia possível, com o limite máximo de 4 horas. Os locais considerados como helipontos e aeroportos foram os locais já existentes, localizados por ferramentas como Google Maps e também referenciados nas planilhas de helipontos e aeroportos oficial da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil).

Outro aspecto que deve ser colocado na perspectiva deste trabalho são os tempos de embarque e desembarque nestes locais de transbordo. Em geral, a ordem se dá oposto às velocidades

dos modais aos quais os processos de embarque e desembarque estão relacionados. Enquanto a velocidade do avião é a mais rápida, o tempo de embarque e desembarque é o mais longo, assim como a velocidade da ambulância é a mais baixa, o seu tempo de embarque e desembarque é o mais rápido. O helicóptero é o intermediário tanto no quesito velocidade quanto no quesito embarque e desembarque. Os parâmetros utilizados foram validados pela equipe cirúrgica do Incor por meio de entrevista.

Ademais, outro aspecto descoberto a partir da entrevista é que alguns hospitais possuem helipontos próprios, permitindo pouso e decolagem de aeronaves, ou seja, o primeiro arco proveniente do nó hospital doador já pode ser um arco azul, representando um helicóptero. Assim como o último arco chegando no nó hospital receptor também pode ser um arco azul, representando um helicóptero.

Não obstante, aeroportos também conseguem servir de helipontos diversas vezes, por conta da urgência de deslocamento que as equipes médicas possuem, possuindo respaldo legal para tal. Assim, aeroportos também serão considerados pontos de pouso e decolagem de helicópteros, além dos tradicionais helipontos.

Um ponto relevante mas que não foi considerado neste estudo são os períodos de abertura e fechamento de cada nó representando um heliponto e aeroporto. Sabemos que há certos helipontos e aeroportos que não operam em determinadas horas do dia, ou que não operam sob algumas circunstâncias específicas, e estes aspectos não foram ainda considerados neste estudo.

Outra característica notada neste trabalho e que foi considerada é que os nós, quando considerando o caminho, nunca terão os dois arcos ligados nele (o de entrada e o de saída) com a mesma cor. Este fato decorre de que não faz sentido passar por um determinado heliponto e sair de helicóptero sendo que já se estava de helicóptero antes, por exemplo. Assim, os nós servem sempre para trocar o modal de transporte, e portanto, a cor do arco que entra em cada nó deve ser sempre diferente da cor que sai do nó, no caminho mínimo.

Também, ao desenhar o grafo foi notado que diversos nós, afim de atingir o caminho mínimo, geram arcos de saída da mesma cor. Assim, foi gerada uma outra classificação: do nó vermelho sempre saem arcos vermelho; do nó azul sempre saem arcos azuis; e do nó verde sempre saem nós verdes. Caso o nó não esteja contido em nenhuma destas classificações, ele será mantido na cor original preta.

3.4.1.4 Parâmetros

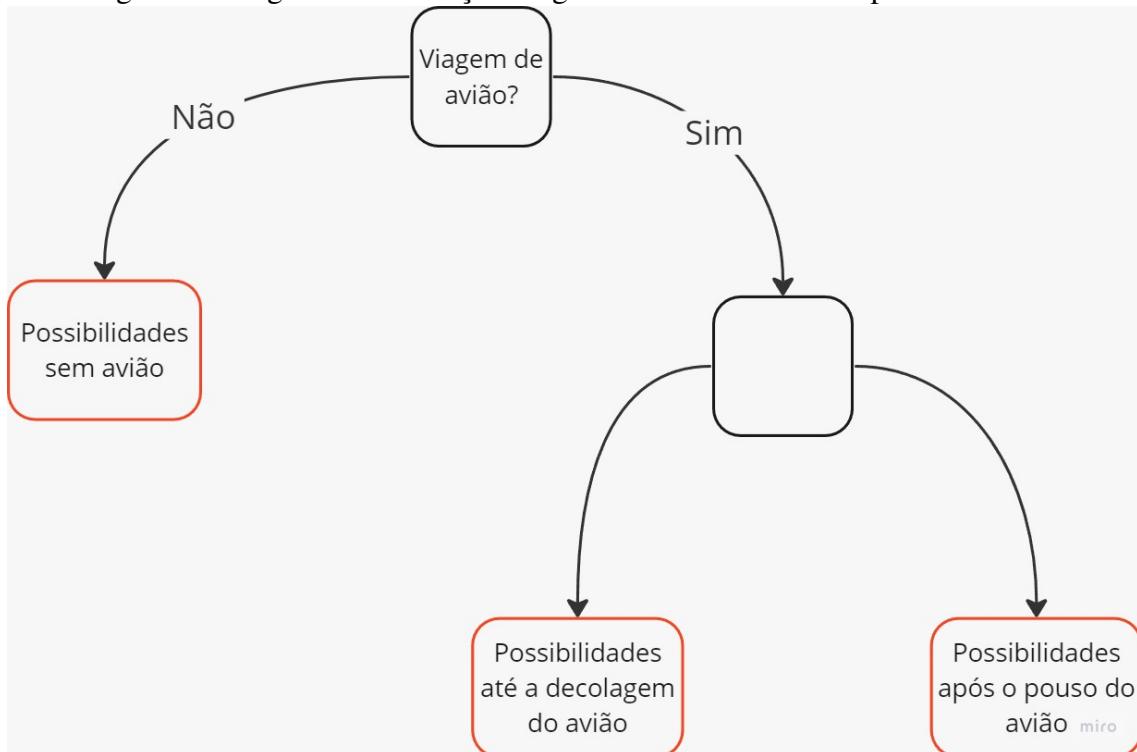
Diversos parâmetros foram considerados dados ou calculados neste estudo: velocidade dos veículos utilizados no transporte; os custos de cada um dos meios de transportes; os tempos de embarque e desembarque; as distâncias entre cada par de nós. Os parâmetros utilizados foram em alguns casos considerados constantes e dados como as distâncias entre cada par de nós, outros parâmetros foram estimados com base em conversas com a equipe do InCOR, como embarque e desembarque, alguns foram calculados como os custos de cada veículo de cada modal de transporte e alguns foram consultados nos valores oficiais, como as velocidades de cada veículo.

3.4.2 Grafo

O grafo a seguir foi desenhado afim de identificar todas as possíveis possibilidades de arcos e nós no fluxo de transporte do coração desde o hospital doador até o hospital receptor. Este grafo considera apenas captações à longa distância, justificando o uso de aviões. A lógica aplicada para a formulação de todos os conjuntos de grafos é repartir o problema em viagens com avião e sem avião, e das viagens com avião, considerar o trajeto antes da decolagem e o trajeto após o pouso, dividindo o problema na metade. Esta lógica permitiu que as possibilidades fossem varridas exaustivamente, considerando as restrições e características consideradas na respectiva seção. A partir das soluções iniciais considerando um e dois meios de transporte, apenas ambulâncias e helicópteros, foram geradas as variações possíveis em cada uma das metades do problema, antes da decolagem de avião e depois do pouso do avião.

Uma característica identificada durante a elaboração do grafo é que não existem arcos cujos arcos anterior e posterior sejam da mesma cor, sendo esta cor uma representação de um modal mais veloz. Um exemplo prático é que o tempo torna-se maior para a equipe médica se ela decidisse pousar em um determinado heliponto, para iniciar um trajeto de ambulância até outro heliponto embarcar em outro helicóptero, visto que no local que o segundo helicóptero pousar, também pode haver o pouso do primeiro helicóptero. Isso pois o trajeto realizado pela ambulância seria realizado pelo helicóptero, que é mais veloz, além de ter o acréscimo dos tempos de transbordo.

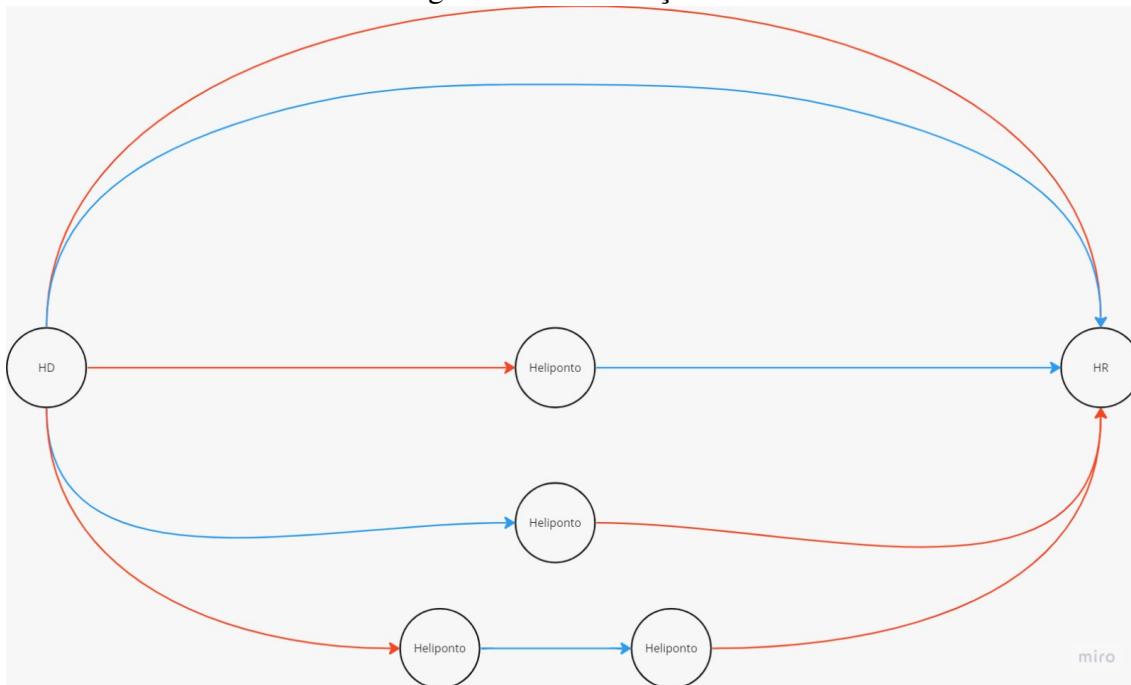
Figura 22: Lógica de construção do grafo a fim de exaurir as possibilidades.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Caso não exista viagem de avião, as opções são mais restritas. Pode ocorrer uma viagem mono-modal de ambulância ou de helicóptero; pode ocorrer uma viagem bimodal considerando tanto o cenário de decolagem do hospital doador quanto do pouso no hospital receptor e também pode ser uma viagem bimodal considerando decolagem e pouso em helipontos tradicionais, gerando portanto um caminho de ambulância, um de helicóptero e um ultimo de ambulância. Esta lógica foi usada para produzir o grafo contido na figura 23.

Figura 23: Vizinhança 1-5.

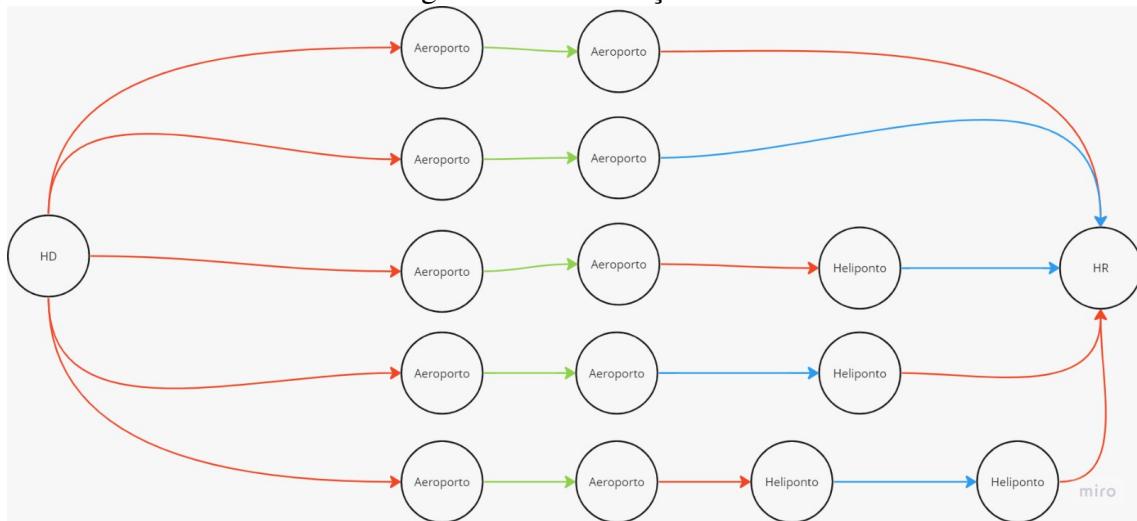


Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Na figura 23 é vista a vizinhança 1-5, caracterizada por não possuir o modal avião nela, sendo assim, existindo apenas viagens mono-modais ou bi-modais de ambulância e helicóptero e suas combinações, respeitando as restrições do problema, como máximo de transportes de helicóptero e trajetos por um modal mais lento não serem cercados por dois trajetos de um mesmo modal mais rápido. Ela considera que é possível, para o caso da rota 2 e 3 que haja um pouso de helicóptero no hospital receptor (que é o caso do InCOR), e para o caso das rotas 4 e 5 que haja uma decolagem de helicóptero do hospital doador, como por vezes ocorre.

No caso do trajeto considerando uma viagem de avião, repartindo de acordo com a lógica apresentada, há uma repetição dos casos sem avião para o trajeto antes da decolagem e posterior ao pouso. Assim, as possibilidades foram exauridas e serão apresentadas nas seguintes vizinhanças geradas a partir da combinação de rotas na primeira parte do trajeto e na segunda parte do trajeto.

Figura 24: Vizinhança 6-10.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Na figura 24 é vista a vizinhança 6-10, caracterizada pela primeira metade (até o aeroporto de embarque, portanto) ser unicamente pela viagem de ambulância, e na segunda metade (após o pouso do avião) existindo a combinação dos possíveis caminhos do aeroporto de desembarque até o hospital doador, de acordo com as rotas geradas na vizinhança 1-5. A segunda metade de cada rota desta vizinhança pode assumir pouso de helicóptero no hospital doador, como é o caso do InCOR, e também pode assumir decolagem do aeroporto de pouso do avião, como também é o caso de Congonhas, confirmado pela equipe médica parceira do InCOR.

Figura 25: Vizinhança 11-15.



Fonte: Elaboração Própria.

Na figura 25 é vista a vizinhança 11-15, caracterizada pela primeira metade (até o aeroporto de embarque, portanto) ser unicamente pela viagem de helicóptero, considerando que o hospital

doador e o aeroporto de embarque no avião possuem estruturas que permitem o pouso e decolagem de helicópteros, e na segunda metade (após o pouso do avião) existindo a combinação dos possíveis caminhos do aeroporto de desembarque até o hospital doador, de acordo com as rotas geradas na vizinhança 1-5. A segunda metade de cada rota desta vizinhança pode assumir pouso de helicóptero no hospital doador, como é o caso do InCOR, e também pode assumir decolagem do aeroporto de pouso do avião, como também é o caso de Congonhas, confirmado pela equipe médica parceira do InCOR.

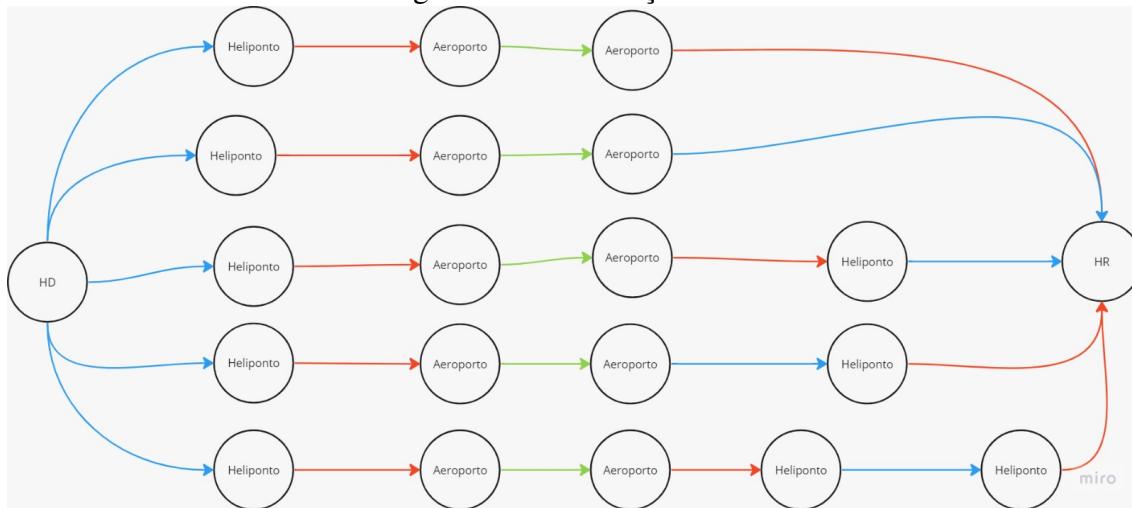
Figura 26: Vizinhança 16-20.



Elaboração Própria, 2023.

Na figura 26 é vista a vizinhança 16-20, caracterizada pela primeira metade (até o aeroporto de embarque, portanto) ser a combinação de uma viagem de ambulância e uma viagem de helicóptero, pousando no aeroporto, assumindo que exista essa possibilidade a priori, e na segunda metade (após o pouso do avião) existindo a combinação dos possíveis caminhos do aeroporto de desembarque até o hospital doador, de acordo com as rotas geradas na vizinhança 1-5. A segunda metade de cada rota desta vizinhança pode assumir pouso de helicóptero no hospital doador, como é o caso do InCOR, e também pode assumir decolagem do aeroporto de pouso do avião, como também é o caso de Congonhas, confirmado pela equipe médica parceira do InCOR.

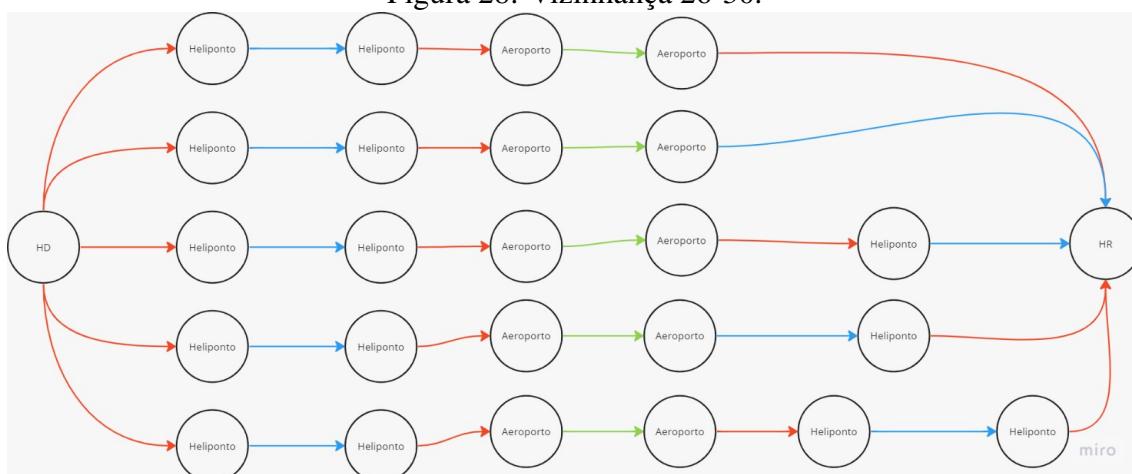
Figura 27: Vizinhança 21-25.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Na figura 27 é vista a vizinhança 21-25, caracterizada pela primeira metade (até o aeroporto de embarque, portanto) ser a combinação de uma viagem de helicóptero e uma viagem de ambulância, decolando do hospital doador, assumindo que exista essa possibilidade a priori, e na segunda metade (após o pouso do avião) existindo a combinação dos possíveis caminhos do aeroporto de desembarque até o hospital doador, de acordo com as rotas geradas na vizinhança 1-5. A segunda metade de cada rota desta vizinhança pode assumir pouso de helicóptero no hospital doador, como é o caso do InCOR, e também pode assumir decolagem do aeroporto de pouso do avião, como também é o caso de Congonhas, confirmado pela equipe médica parceira do InCOR.

Figura 28: Vizinhança 26-30.



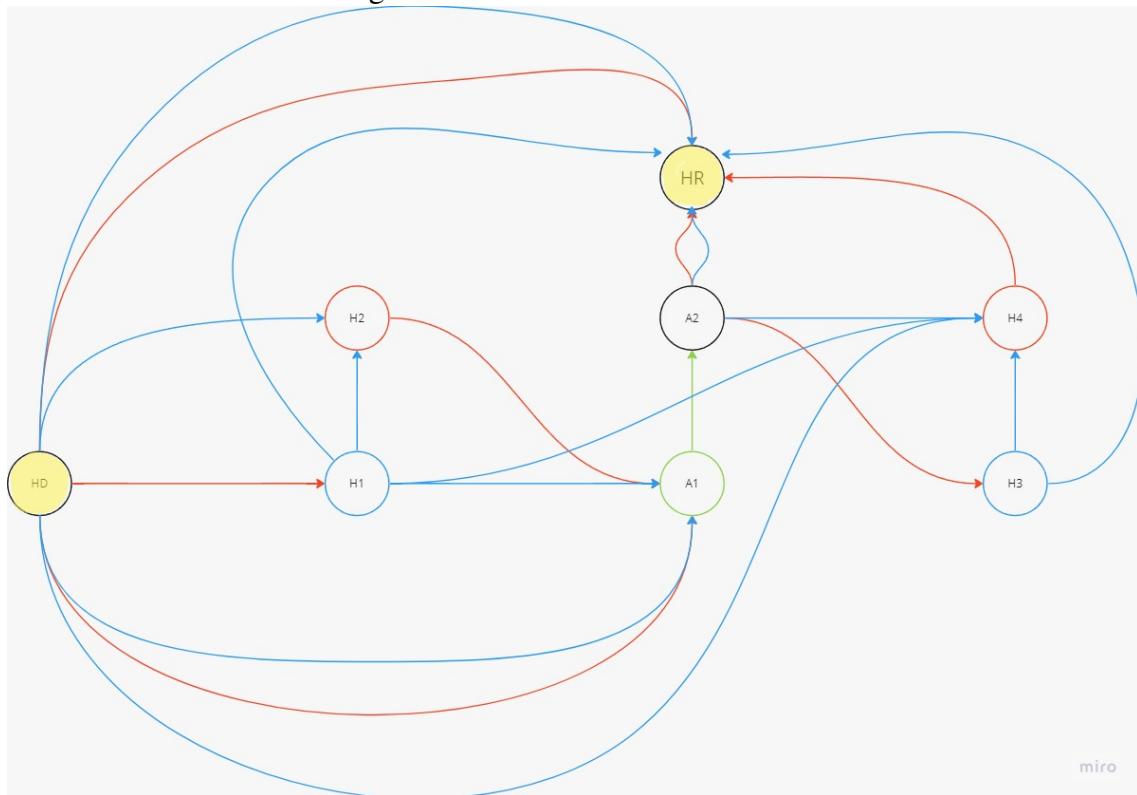
Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Na figura 28 é vista a vizinhança 26-30, caracterizada pela primeira metade (até o aeroporto

de embarque, portanto) ser a combinação mais custosa em termos de transbordo, sendo uma viagem de ambulância, uma viagem de helicóptero e uma viagem de ambulância até o aeroporto, considerando que não existam as possibilidades de pouso e decolagem de helicópteros nem no hospital doador nem no aeroporto de embarque no avião, e na segunda metade (após o pouso do avião) existindo a combinação dos possíveis caminhos do aeroporto de desembarque até o hospital doador, de acordo com as rotas geradas na vizinhança 1-5. A segunda metade de cada rota desta vizinhança pode assumir pouso de helicóptero no hospital doador, como é o caso do InCOR, e também pode assumir decolagem do aeroporto de pouso do avião, como também é o caso de Congonhas, confirmado pela equipe médica parceira do InCOR.

A fim de simplificar a visualização, foi construído um novo grafo representando a união de todas as possibilidades a partir da unificação dos nós que representam o mesmo local. Ou seja, dado um problema único, de cada nó podem ser gerados diversos arcos que ligam a outros nós, não necessariamente os mesmos. Do hospital doador, por exemplo, podem surgir 7 viagens diferentes, por modais diferentes, para nós diferentes, e por meio de uma análise combinatória, pode-se chegar nas trinta diferentes opções de rotas mostradas nos grafos acima, repartidos em vizinhanças, e também descrito na lista. A união pode ser vista na figura 29.

Figura 29: Grafo unificado do fluxo.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

No qual:

- A1 representa o aeroporto mais próximo possível do hospital doador
- A2 representa o aeroporto mais próximo possível do hospital receptor
- H1 representa o heliponto mais próximo possível do hospital doador
- H2 representa o heliponto mais próximo possível do A1
- H3 representa o heliponto mais próximo possível do A2
- H4 representa o heliponto mais próximo possível do hospital receptor
- HD representa o hospital doador
- HR representa o hospital receptor

Para representar por meio de palavras quais são os caminhos possíveis, para complementar a apresentação visual do grafo, podemos ver a seguir o conjunto de soluções possíveis:

Tabela 4: Todas as possíveis rotas entre hospital doador e hospital receptor.

Possibilidades de combinação de modais de transporte
1. Carro
2. Helicóptero
3. Carro - Helicóptero
4. Helicóptero - Carro
5. Carro - Helicóptero - Carro
6. Carro - Avião - Carro
7. Carro - Avião - Helicóptero
8. Carro - Avião - Carro - Helicóptero
9. Carro - Avião - Helicóptero - Carro
10. Carro - Avião - Carro - Helicóptero - Carro
11. Helicóptero - Avião - Carro
12. Helicóptero - Avião - Helicóptero
13. Helicóptero - Avião - Carro - Helicóptero
14. Helicóptero - Avião - Helicóptero - Carro
15. Helicóptero - Avião - Carro - Helicóptero - Carro
16. Carro - Helicóptero - Avião - Carro
17. Carro - Helicóptero - Avião - Helicóptero
18. Carro - Helicóptero - Avião - Carro - Helicóptero
19. Carro - Helicóptero - Avião - Helicóptero - Carro
20. Carro - Helicóptero - Avião - Carro - Helicóptero - Carro
21. Helicóptero - Carro - Avião - Carro
22. Helicóptero - Carro - Avião - Helicóptero
23. Helicóptero - Carro - Avião - Carro - Helicóptero
24. Helicóptero - Carro - Avião - Helicóptero - Carro
25. Helicóptero - Carro - Avião - Carro - Helicóptero - Carro
26. Carro - Helicóptero - Carro - Avião - Carro
27. Carro - Helicóptero - Carro - Avião - Helicóptero
28. Carro - Helicóptero - Carro - Avião - Carro - Helicóptero
29. Carro - Helicóptero - Carro - Avião - Helicóptero - Carro
30. Carro - Helicóptero - Carro - Avião - Carro - Helicóptero - Carro

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Da enumeração contida na tabela 4 é nítido que os caminhos essenciais feitos pelas 5 possíveis combinações de carros e helicópteros se repetem antes do trajeto de avião e depois do trajeto de avião, realizando uma busca em vizinhança de forma exaustiva, considerando as restrições do problema. O número total reflete o cálculo:

$$5 + (5 \cdot 5)$$

No qual:

- 5 rotas básicas, sem trajeto de avião

- combinação das 5 rotas básicas em duas instâncias diferentes (antes e depois do trajeto de avião), somando as outras 25 rotas

A questão de proximidade de cada nó na formulação da legenda do grafo foi fundamental para garantir que caso um determinado caminho seja escolhido, ele respeite as restrições já explicitadas anteriormente de que caso haja um caminho de avião ele deve ser maximizado e caso haja um caminho de helicóptero ele possa ser maximizado em detrimento apenas do trajeto de avião.

Para calcular quais os custos, que neste momento são considerados apenas como o tempo de cada possibilidade de trajeto, foi produzido um pseudo-algoritmo, representado a seguir.

Figura 30: Pseudo-algoritmo de cálculo de custos.

Custo HR (7 chegadas):						
1. Custo nó HR + Custo arco azul HD-HR + Custo nó HD						
2. Custo nó HR + Custo arco vermelho HD-HR						
3. Custo nó HR + Custo arco azul H1-HR + custo nó H1 + custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
4. Custo nó HR + Custo arco vermelho + Custo nó A2 + Custo arco A1-A2 + Custo nó A1:						
4.1. Custo arco azul HD-A1 + Custo nó HD						
4.2. Custo arco vermelho HD-A1 + Custo nó HD						
4.3. Custo arco azul + Custo nó H1 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
4.4. Custo arco vermelho H2-A1 + Custo nó H2:						
4.4.1. Custo arco azul HD-H2 + Custo nó HD						
4.4.2. Custo arco azul H1-H2 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
5. Custo nó HR + Custo arco azul + Custo nó A2 + Custo arco A1-A2 + Custo nó A1:						
5.1. Custo arco azul HD-A1 + Custo nó HD						
5.2. Custo arco vermelho HD-A1 + Custo nó HD						
5.3. Custo arco azul + Custo nó H1 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
5.4. Custo arco vermelho H2-A1 + Custo nó H2:						
5.4.1. Custo arco azul HD-H2 + Custo nó HD						
5.4.2. Custo arco azul H1-H2 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
6. Custo nó HR + Custo arco azul H3-HR + Custo nó H3 + Custo arco vermelho A2-H3 + Custo nó A2 + Custo arco verde A1-A2 + Custo nó A1:						
6.1. Custo arco azul HD-A1 + Custo nó HD						
6.2. Custo arco vermelho HD-A1 + Custo nó HD						
6.3. Custo arco azul + Custo nó H1 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
6.4. Custo arco vermelho H2-A1 + Custo nó H2:						
6.4.1. Custo arco azul HD-H2 + Custo nó HD						
6.4.2. Custo arco azul H1-H2 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
7. Custo nó HR + Custo arco vermelho H4-HR + Custo nó H4:						
7.1. Custo arco azul H3-H4 + Custo nó H3 + Custo arco vermelho A2-H3 + Custo arco verde A1-A2 + Custo nó A1:						
7.1.1. Custo arco azul HD-A1 + Custo nó HD						
7.1.2. Custo arco vermelho HD-A1 + Custo nó HD						
7.1.3. Custo arco azul + Custo nó H1 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
7.1.4. Custo arco vermelho H2-A1 + Custo nó H2:						
7.1.4.1. Custo arco azul HD-H2 + Custo nó HD						
7.1.4.2. Custo arco azul H1-H2 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
7.2. Custo arco azul HD-H4 + Custo nó HD						
7.3. Custo arco azul H1-H4 + Custo nó H1 + Custo HD-H1 + Custo nó HD						
7.4. Custo arco azul A2-H4 + Custo nó A2 + Custo arco verde A1-A2 + Custo nó A1:						
7.4.1. Custo arco azul HD-A1 + Custo nó HD						
7.4.2. Custo arco vermelho HD-A1 + Custo nó HD						
7.4.3. Custo arco azul + Custo nó H1 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						
7.4.4. Custo arco vermelho H2-A1 + Custo nó H2:						
7.4.4.1. Custo arco azul HD-H2 + Custo nó HD						
7.4.4.2. Custo arco azul H1-H2 + Custo arco vermelho HD-H1 + Custo nó HD						

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A lógica utilizada foi iniciando pelo último nó do grafo: o nó HR. Ao iniciar neste nó, deve-se analisar qual o custo para chegar nele, e então seguem-se 7 possibilidades de chegada

no nó HR, cada uma delas sendo o custo de um outro nó somado ao custo do arco que ligou este outro nó com o nó HR. Daí, começa-se a calcular o custo de cada uma das 7 chegadas no nó HR. Iterando esta lógica, são calculados os custos de todos os nós e de todos os arcos, com as possibilidades já feitas, chegando nos custos de todas as possíveis rotas.

3.5 Cálculos de possíveis trajetos

Esta seção explicita como a partir do modelo teórico elaborado anteriormente, chegamos em resultados para serem comparados entre si e com a realidade pragmática das equipes de transplante de órgãos. Foram escolhidos casos reais de localizações de hospitais doadores, e a partir de então, houve o cálculo dos tempos de isquemia para cada uma das rotas do modelo para cada um dos hospitais representando casos reais.

3.5.1 Escolhas dos hospitais

Para a escolha dos hospitais, três critérios foram seguidos: os hospitais devem estar na região sul do Brasil, de acordo com a curva ABC feita na seção de determinação de stakeholders; a cidade do hospital deve estar na lista de trajetos de captações de corações à distância de 2022 e 2023 fornecidas pela equipe de transplante, vista na tabela 5; e também deve ser um hospital habilitado para retirada de órgãos de acordo com a Portaria nº 511, de 27 de setembro de 2007, que pode ser visto um trecho na tabela 6.

Tabela 5: Trajetos realizados em 2022 e 2023 para captação a distância de coração.

Nº	Data	Local	Equipe	Empresa	Aeronave	Carona p/outra equipe/órgão	Horário Notificação Incor	Horário voo	Horário Chegada ao Incor
1.	12/01	Presidente Prudente/SP	Coração Infantil	FAB	Bandeirantes	**	10:20	18:30	02:00
2.	17/01	Campo Grande/MS	Coração Adulto	FAB		Figado	07:35	13:30	20:00
3.	09/03	Blumenau/SC	Coração Adulto	FAB	Phenon 100	**	22:45	06:35	13:40
4.	23/03	Marília/SP	Coração Adulto	TAP	CJ2		04:30	12:00	19:30
5.	02/04	Belo Horizonte/MG	Coração Infantil	FAB		**	15:00	22:00	Orgão inviável para Tx
6.	11/04	Marília/SP	Coração Adulto	FAB	Brasília	Figado			Orgão captado pela equipe do HIAE
7.	13/04	Florianópolis/SC	Coração Adulto	TAP	Phenon 100		16:55	01:00	09:00
8.	19/04	Ribeirão Preto	Pulmão	Tropic Air	Phenon 100		01:45	08:00	16:30
9.	26/04	Jaraguá do Sul/SC	Coração Adulto	FAB	U100	**	04:20	12:00	18:30
10.	18/05	Marília	Coração Adulto	Tropic Air	Cessna		00:30	09:00	17:00
11.	24/05	Barretos/SP	Pulmão	Tropic Air	Phenon 100		02:10	09:00	16:50
12.	26/05	Bauru/SP	Pulmão	Sales	Caravan Gran		07:35	13:00	Orgão inviável para Tx
13.	19/07	Catanduva/SP	Pulmão	FAB	Cessna 208	Coração (H.Samaritano)	19:40	02:40	11:50
14.	21/07	Cuiabá/MT	Pulmão	FAB	Emb 110	**	00:10	08:00	20:00
15.	26/07	Lontras/SC	Coração Adulto	FAB	Bandeirantes	**	22:20	08:30	16:10
16.	27/07	Goiânia/GO	Coração Adulto	FAB	Brasília	**	04:45	13:00	22:30
17.	31/07	Araraquara/SP	Coração Adulto	FAB		**	02:00	09:15	15:00
18.	10/08	São José do Rio Preto/SP	Coração Infantil	Tropic	King Air 350	Figado	04:50	10:00	17:50

Fonte: Equipe InCOR, 2023.

Tabela 6: Hospitais habilitados em retirada de órgãos.

RS	2254964	Hospital Santa Cruz de Santa de Cruz do Sul - Associação Pró-Ensino em Santa Cruz do Sul
RS	2707918	Fundação Hospitalar Sta. Terezinha de Erechim
SC	0019402	Irmandade do Senhor Jesus dos Passos e Hospital de Caridade
SC	2436469	Hospital Municipal São José
SC	2537788	Consórcio Regional de Saúde do Hospital Lenoir V. Ferreira
SC	2558246	Sociedade Divina Providência - Hospital Santa Isabel
SC	2558254	Fundação Hospitalar de Blumenau - Hospital Santo Antônio
SC	2691841	Hospital Governador Celso Ramos
SC	2758164	Hospital São José
SC	2521458	Instituto de Olhos Sadalla Amin Ghanem S/C
SC	2557843	Hospital Santa Maria
SC	2558017	Hospital de Caridade Senhor Bom Jesus dos Passos
SC	2560771	Hospital Universitário Santa Terezinha
SC	3157245	Hospital Universitário - UFSC

Fonte: BRASIL, 2007.

Seguindo estes três critérios, os hospitais selecionados para este estudo podem ser vistos na tabela 7.

Tabela 7: Hospitais escolhidos.

1. Hospital Municipal São José - Joinville, Santa Catarina
2. Hospital Santa Isabel - Blumenau, Santa Catarina
3. Hospital Imperial Florianópolis - Florianópolis, Santa Catarina
4. Hospital Evangélico de Londrina - Londrina, Paraná
5. Hospital São José - Jaraguá do Sul, Santa Catarina
6. Hospital Regional Alto do Vale - Lontras, Santa Catarina
7. Hospital São José - Criciuma, Santa Catarina
8. Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná - Curitiba, Paraná
9. Hospital do Trabalhador - Curitiba, Paraná
10. Hospital de Clínicas de Porto Alegre - Porto Alegre, Rio Grande do Sul

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

3.5.2 Cálculo dos custos

Para cálculo dos custos relacionados a cada modal de transporte, foi considerado apenas o preço do combustível atrelado ao trajeto.

Assim, para o cálculo da ambulância, foi utilizada uma média do rendimento da Fiat Ducato e do Renault Master, sendo ambos os veículos mais comumente utilizados como ambulância, e este valor foi de 8km/l. O preço da gasolina considerado foi o fornecido no site oficial da Petrobrás no dia 02 de novembro de 2023.

Analogamente, para o cálculo do helicóptero, o rendimento utilizado foi considerando a autonomia fornecida pelo capitão da Polícia Militar Marcos Vinícius Baracho de Sousa e o valor tabelado da velocidade de um helicóptero Eurocopter AS350 Ecureuil de 750km/h de

cruzeiro, gerando um valor de rendimento de 1,62km/l. O preço utilizado do combustível JET-A1, classificado como QAV, foi de 4,48R\$ de acordo com o site oficial do governo de produtores e importadores de petróleo.

Por último, para o cálculo do avião, o rendimento utilizado foi considerado a partir dos dados oficiais de um Phenom 100, escolhido por conta da constante presença na lista de trajetos realizados, representado na tabela 5. O preço do combustível foi o mesmo utilizado pelo helicóptero.

3.5.3 Determinação dos tempos fixos

Para os parâmetros dos tempos de embarque e desembarque em cada meio de transporte, houveram hipóteses que posteriormente foram validadas e confirmadas pela equipe médica do InCOR. Para o transporte ambulância, o tempo estimado de embarque e desembarque foi de 2 minutos. Para o transporte de helicóptero o tempo de embarque e desembarque considerado foi de 15 minutos. Para o transporte de avião, o tempo de embarque e desembarque considerado foi de 30 minutos.

Para os parâmetros dos tempo de finalização da cirurgia de retirada e da inicialização da cirurgia de implante, os parâmetros foram consultados a partir da experiência prática da equipe. Em média, o tempo de cirurgia de finalização é de aproximadamente 30 minutos. Em média, o tempo de cirurgia de inicialização do implante é de aproximadamente 1 hora, sendo ressaltado pela equipe que esse valor pode mudar dependendo da equipe e de sua expertise, chegando até a 1 hora e 40 minutos.

3.5.4 Cálculo das distâncias

As distâncias entre cada nó foram calculadas a partir principalmente das distâncias fornecidas pelo Google Maps. Os helipontos e aeroportos foram considerados a partir da lista oficial divulgada pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). A tabela da ANAC possui alguns códigos e formas de identificação única de cada heliponto e aeroporto, seguido do nome convencional, com a posterior localização dele. Alguns pontos importantes que também serão trazidos na tabela é o tipo de heliponto (público ou privado) e sua localização em relação ao solo (no solo ou elevado). As informações restantes são coordenadas geográficas.

Tabela 8: Trecho inicial da lista de helipontos de acordo com ANAC.

Criado em:	2023-11-01				
Código OACI	CIAD	Nome	Município	TIPO_USO;"UF"	Tipo
SNTJ	SC0081	Baltt	BALNEÁRIO CAMBORIÚ	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SNTZ	SC0082	Gran Palazzo	CHAPECÓ	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SNVX	SC0083	Helisul Slin	SÃO JOSÉ	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SNWA	SC0084	Albor	ARAQUARI	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SNYM	SC0085	Malwee	JARAGUÁ DO SUL	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSBO	SC0086	Batalhão de Operações Aéreas do C	FLORIANÓPOLIS	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSCC	SC0087	SC401 Square Corporate	FLORIANÓPOLIS	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSCZ	SC0088	Hospital Santa Isabel	BLUMENAU	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSFF	SC0089	Pitangueira	AGROLÂNDIA	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSFT	SC0090	Nanete Têxtil	JARAGUÁ DO SUL	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSIP	SC0092	Interpolos	TIMBÓ	Privado;"Santa Catarina"	No solo
SSIU	SC0093	Issaig I	IÇARA	Privado;"Santa Catarina"	No solo

Fonte: ANAC, 2023.

Para trajetos de avião de helicóptero, houve uma correção de 12% a menos do fornecido pela ferramenta Google Maps, a fim de garantir valores mais próximos da realidade considerando distâncias em linha reta por serem aviões e helicópteros, diferentemente do fornecido pela ferramenta (NOVAES, 2016). Os helipontos e aeroportos escolhidos seguiram a lógica já explicitada de proximidade com outros nós, a fim de minimizar o tempo de transporte caso este transporte seja escolhido como o caminho mínimo. Não foram considerados mais opções de helipontos para cada uma das rotas de cada um dos hospitais nesta pesquisa.

A tabela com as distâncias consideradas entre cada um dos nós pode ser vista a seguir na tabela 9).

Tabela 9: Tabela que mostra as distâncias consideradas de cada nó do grafo na prática.

		Distâncias consideradas de cada hospital									
		Hospital 1	Hospital 2	Hospital 3	Hospital 4	Hospital 5	Hospital 6	Hospital 7	Hospital 8	Hospital 9	Hospital 10
HD	HR	518	631	688	533	550	679	871	413	409	1102
HD	HR	460	563,39	614,28	475,89	497,07	606,25	777,67	368,75	365,17	983,928
HD	H2	2,76	16,75	1	2,41	45,14	1,69	8,57	2,32	1	6,96
HD	H1	3,6	0	5	0	2,4	1,9	0,5	2,6	5	0
HD	A1	12,05	12,94	14,19	2,41	49,55	12,94	8,57	5,71	14,19	6,96
HD	A1	13,6	14,7	15,9	2,7	55,5	14,5	9,6	6,4	15,9	7,8
H1	HR	458	563,39	616,96	475,89	497,75	603,57	777,67	357,14	616,96	983,928
H1	H2	9,55	16,75	14,55	2,41	47,14	11,78	8,57	5,26	14,55	6,96
H1	A1	9,55	12,94	14,55	2,41	48,57	11,78	8,57	5,26	14,55	6,96
H2	A1	10,7	5,1	15,9	0	0	13,2	0	5,9	15,9	0
A1	A2	469	525,89	630,35	481	469	601,78	881	358,03	358,03	1006,25
A2	HR	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
A2	HR	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
A2	H4	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76
A2	H3	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
H3	H4	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
H4	HR	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
H2=A1	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	HR	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41
HD	H4	462,5	562	613,4	475	489,3	606,25	776,8	355,3	363,4	1005,3
H1	H4	457	562	613,4	475	490	606,25	783	361,6	361,6	1005,3

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

As legendas da tabela são as mesmas que a do grafo: as células em vermelho representam trajetos de ambulância; as células em azul representam trajetos de helicóptero; as células em verde representam trajetos de avião.

Uma distância extra foi acrescentada ao considerar que o heliponto H2 é também o aeroporto A1, permitindo a automatização da planilha de maneira correta.

Os helipontos e aeroportos escolhidos na chegada em São Paulo foram os seguintes:

1. Aeroporto 2: Congonhas
2. Heliponto 3: R. Surubim, 373 - Cidade Monções, São Paulo - SP, 04571-050
3. Heliponto 4: Heliponto Spazio Central SSYH

Já a lista dos helipontos escolhidos para o cálculo de cada Hospital pode ser vista a seguir:

Tabela 10: Helipontos selecionados para cada hospital.

	Heliponto 1	Heliponto 2
	Endereço/Nome	Endereço/Nome
Hospital 1	Heliponto Unimed	Aeroporto de Joinville (JOI)
Hospital 2	Heliponto Hospital Santa Isabel	Itoupava Central, Blumenau - State of Santa Catarina, 89063
Hospital 3	Centro, Florianópolis - State of Santa Catarina, 88010-400	Florianópolis International Airport – Hercílio Luz
Hospital 4	Aeroporto de Londrina - Governador José Richa	Aeroporto de Londrina - Governador José Richa
Hospital 5	Heliponto Duas Rodas - Centro, Jaraguá do Sul - SC	Heliponto Unimed
Hospital 6	Heliponto Romeu Sierra Lima, R. Dom Bosco, S/N - Jardim América, Rio do Sul - SC, 89160-118	Helmut Baumgarten Airport, Lontras - SC, 89182-000
Hospital 7	Serviço Aeropolicial - SAER - Polícia Civil	Diomício Freitas Airport
Hospital 8	Heliponto Bradesco SJQG	Heliponto Vita
Hospital 9	Heliponto Bradesco SJQG	Afonso Pena International Airport
Hospital 10	Hospital De Clínicas - Av. Protásio Alves, 105 - Santa Cecília, Porto Alegre - RS, 90035-002	Aeroporto Internacional Salgado Filho

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A lista de aeroportos escolhidos para cada um dos hospitais:

Tabela 11: Aeroportos selecionados para cada hospital.

	Aeroporto 1
	Endereço/Nome
Hospital 1	Aeroporto de Joinville (JOI)
Hospital 2	Blumenau Regional Airport
Hospital 3	Florianópolis International Airport – Hercílio Luz
Hospital 4	Aeroporto de Londrina - Governador José Richa
Hospital 5	Lauro Carneiro de Loyola, Av. Santos Dumont, 9000 - Aventureiro, Joinville - SC, 89226-435
Hospital 6	Helmut Baumgarten Airport, Lontras - SC, 89182-000
Hospital 7	Diomício Freitas Airport
Hospital 8	Bacacheri Airport
Hospital 9	Afonso Pena International Airport
Hospital 10	Aeroporto Internacional Salgado Filho

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Para cada hospital foi gerada uma matriz considerando os tempos decorridos em cada uma das etapas do processo, sendo elas:

Tabela 12: Possíveis etapas do processo de transporte.

1. Tempo de embarque no primeiro trajeto de ambulância
2. Tempo de viagem no primeiro trajeto de ambulância
3. Tempo de desembarque no primeiro trajeto de ambulância
4. Tempo de embarque no primeiro trajeto de helicóptero
5. Tempo de viagem no primeiro trajeto de helicóptero
6. Tempo de desembarque no primeiro trajeto de helicóptero
7. Tempo de embarque no segundo trajeto de ambulância
8. Tempo de viagem no segundo trajeto de ambulância
9. Tempo de desembarque no segundo trajeto de ambulância
10. Tempo de embarque no trajeto de avião
11. Tempo de viagem no trajeto de avião
12. Tempo de desembarque no trajeto de avião
13. Tempo de embarque no terceiro trajeto de ambulância
14. Tempo de viagem no terceiro trajeto de ambulância
15. Tempo de desembarque no terceiro trajeto de ambulância
16. Tempo de embarque no segundo trajeto de helicóptero
17. Tempo de viagem no segundo trajeto de helicóptero
18. Tempo de desembarque do segundo trajeto de helicóptero
19. Tempo de embarque no quarto trajeto de ambulância
20. Tempo de viagem no quarto trajeto de ambulância
21. Tempo de desembarque no quarto trajeto de ambulância
22. Tempo de finalização de cirurgia de remoção do coração do doador
23. Tempo de inicialização de cirurgia de implante do coração no receptor

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Para cada hospital foi gerado uma tabela contendo os valores de cada um dos pontos acima, gerando um tempo total e um gráfico que representa uma linha do tempo de cada uma das possibilidades de rotas. Exemplos dos dois podem ser vistos a seguir:

Tabela 13: Tempos de trajeto para cada trecho de cada rota possível.

Finalização	Tempo de	Total																			
1	0,5	0,02	5,75556	0,02																	7,288889
2	0,5				0,25	1,84	0,25													1,384	
3	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	1,832	0,25													3,945333	
4	0,5				0,25	1,85	0,25	0,02	0,03556	0,02										3,918889	
5	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	1,828	0,25	0,02	0,03556	0,02										4,010222	
6	0,5	0,02	0,302222	0,02																	3,776444
7	0,5	0,03	0,302222	0,02																	4,000889
8	0,5	0,02	0,302222	0,02																	4,152751
9	0,5	0,02	0,302222	0,02																	4,064810
10	0,5	0,02	0,302222	0,02																	4,2188
11	0,5				0,25	0,0482	0,25														3,989089
12	0,5				0,25	0,0482	0,25														4,213553
13	0,5				0,25	0,0482	0,25														4,365390
14	0,5				0,25	0,0482	0,25														4,277462
15	0,5				0,25	0,0482	0,25														4,431444
16	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25														4,092422
17	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25														4,316867
18	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25														4,468729
19	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25														4,380796
20	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25														4,534778
21	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02											4,22304
22	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5								4,447484
23	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,02	4,599347	
24	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5			0,02	0,03556	0,02		4,511413	
25	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,02	4,665396	
26	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02					4,363533
27	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5			0,04	0,25				4,587978
28	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02			4,73984
29	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5			0,03504	0,25	0,02	0,02	0,02	4,651907
30	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,51	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,02	4,805889	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

As legendas da tabela são as mesmas que a do grafo: as células em vermelho representam trajetos de ambulância; as células em azul representam trajetos de helicóptero; as células em verde representam trajetos de avião. Ademais, as células amarelas e laranjas representam os tempos de embarque e desembarque respectivamente, e as células em rosa e roxo representam os tempos de cirurgia de inicialização da cirurgia de implante do coração no receptor e de finalização da cirurgia de retirada do coração do doador.

3.5.5 Pesquisa das preferências médicas

A fim de comparar os resultados obtidos com as escolhas pragmáticas que ocorrem no dia-a-dia de uma equipe do Incor, as trinta opções de rotas foram mostradas para o cirurgião líder da equipe, responsável por realizar o planejamento das rotas, a fim de que ele pudesse fazer um ranqueamento das rotas de acordo com a percepções dele de capacidade de ter um transplante bem-sucedido.

A lista de preferências devolvida pela equipe médica foi a seguinte:

1. Rota 12
2. Rota 17 e Rota 22
3. Rota 13 e Rota 14
4. Rota 18, Rota 19, Rota 23 e Rota 24
5. Rota 15 e Rota 27
6. Rota 20, Rota 25, Rota 28 e Rota 29
7. Rota 30
8. Rota 7 e Rota 11
9. Rota 8, Rota 9, Rota 16 e Rota 21
10. Rota 10 e Rota 26
11. Rota 6
12. Rota 2
13. Rota 3 e Rota 4

14. Rota 5

15. Rota 1

A partir da lista gerada pela equipe médica, podemos identificar quais critérios que eles utilizam para realizar a preferência de seus caminhos. Estas hipóteses foram posteriormente confirmadas a partir de uma entrevista não estruturada com o líder da equipe.

Os critérios, são (em ordem):

1. Rotas com viagens de avião
2. Rotas com duas viagens de helicóptero
3. Se a rota tem apenas uma viagem de helicóptero, que ela seja na segunda metade do trajeto (após o pouso no aeroporto de SP)
4. Menor quantidade de transbordos
5. Se não houver viagem de avião, priorizar as viagens que há helicóptero

É interessante notar que os critérios utilizados pela equipe são primeiramente ter a maior quantidade possível de veículos mais rápidos na viagem, principalmente pensando em São Paulo, que pode possuir os trânsitos mais intensos. A partir de então, o critério que segue é considerar o menor número de trocas de meios de transporte possíveis, transbordo, pois intuitivamente é percebido pela equipe que o transbordo gasta tempo. Nenhum critério relacionado a custo foi citado.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão os resultados obtidos por meio da metodologia já esclarecida, em termos de transbordo, tempos, distâncias e comparações com as preferências médicas que estão em vigor atualmente. Todos os tempos mostrados nesta seção são dados em horas, os custos em reais e as distâncias em quilômetros.

4.1 Tabelas de opções possíveis e gráficos

Nesta seção serão mostrados todos os resultados gerados, no quesito de tempo, para cada um dos hospitais. Após cada tabela, será mostrado um gráfico onde cada rota é vista como uma linha do tempo, considerando que cada etapa consome o tempo de 4 horas do limite do tempo de isquemia do coração. Estas etapas são os tempos de cirurgia, tempos de embarque e desembarque, e tempos de trajeto de cada modal.

As tabelas seguem as legendas no acordo com o restante do trabalho: em vermelho é o trajeto de ambulância; em azul é o trajeto de helicóptero; em verde é o trajeto de avião; os tempos de cirurgia estão em rosa/roxo; os tempos de embarque e desembarque estão em amarelo/laranja.

Para o primeiro hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir. Os números de 1 a 30 representam as possibilidades de rotas na numeração já usada neste trabalho.

Tabela 14: Tempos calculados para o Hospital 1.

Finalizaç	Tempo ei	Tempo tr	tempo de	tempo ei	tempo tr	tempo de	tempo ei	tempo tr	tempo de	tempo ei	tempo tr	tempo de	tempo ei	tempo tr	tempo de	tempo ei	tempo tr	tempo de	TOTAL		
1	0,5	0,02	5,753556	0,02															1,728889		
2	0,5	0,02		0,25	1,84	0,25													1,3,84		
3	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	1,023	0,25												1,3,045333		
4	0,5	0,02		0,25	1,85	0,25	0,02	0,035556	0,02										1,3,918889		
5	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	1,828	0,25	0,02	0,035556	0,02									1,4,010222		
6	0,5	0,02	0,302222	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1,3,776444		
7	0,5	0,02	0,302222	0,02						0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25	1,4,000889		
8	0,5	0,02	0,302222	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1,4,152751		
9	0,5	0,02	0,302222	0,02						0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,064818	
10	0,5	0,02	0,302222	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,2188	
11	0,5				0,25	0,0482	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1,3,889089		
12	0,5				0,25	0,0482	0,25			0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25	1,4,213533		
13	0,5				0,25	0,0482	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1,4,365396		
14	0,5				0,25	0,0482	0,25			0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,277462	
15	0,5				0,25	0,0482	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,431444	
16	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1,4,094222		
17	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25			0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25	1,4,316867		
18	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1,4,468729		
19	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,380796	
20	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,534778	
21	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02			1,4,22304		
22	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25	1,4,447484	
23	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1,4,599347	
24	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,511413
25	0,5				0,25	0,01104	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,665396
26	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02			1,4,363533		
27	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25	1,4,587978	
28	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1,4,73984	
29	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,651907
30	0,5	0,02	0,08	0,02	0,25	0,0382	0,25	0,02	0,237778	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02,0,035556 0,02	1,4,805889

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 31: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 1.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Neste primeiro caso foi visto que as melhores rotas se encontram nas partes superiores da tabela, ou seja, no geral a menor quantidade de trocas de meio de transporte permite que haja também um menor tempo total de isquemia. No caso deste primeiro hospital, por conta da proximidade entre o hospital e o aeroporto, viagens sem ambulâncias, apenas de helicóptero, até o aeroporto ficaram mais lentas do que a viagem puramente por ambulância, por conta do tempo de embarque e desembarque considerados. Deve-se constatar também que as viagens sem avião mas com helicópteros não seriam viáveis, por conta da limitação de autonomia dos helicópteros para grandes distâncias.

Para o segundo hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos

pode ser vista a seguir.

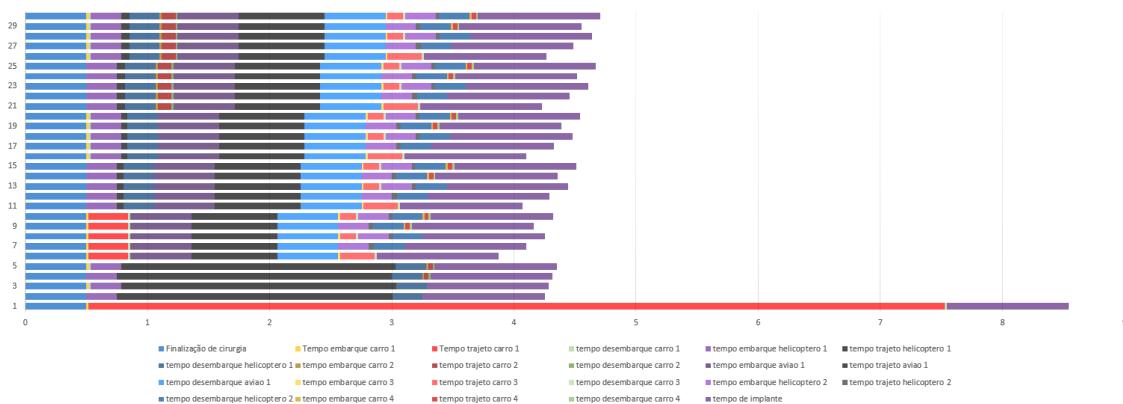
Tabela 15: Tempos calculados para o Hospital 2.

	Finalizaç	Tempo en	Tempo tr	tempo en tempo en tempo tr	tempo en tempo en tempo tr	tempo en tempo en tempo tr	tempo en tempo en tempo tr	tempo en tempo en tempo tr	TOTAL								
1	0,5	0,02	7,011111	0,02													1 8,544444
2	0,5			0,25	2,25356	0,25											1 4,25356
3	0,5	0,02	0	0,02	0,25	2,25356	0,25										1 4,286893
4	0,5				0,25	2,248	0,25	0,02	0,035556	0,02							1 4,316883
5	0,5	0,02	0	0,02	0,25	2,248	0,25	0,02	0,035556	0,02							1 4,250222
6	0,5	0,02	0,328667	0,02						0,5 0,701187	0,5 0,02 0,282222	0,02					1 3,576742
7	0,5	0,02	0,328667	0,02						0,5 0,701187	0,5	0,25 0,04 0,25					1 4,101187
8	0,5	0,02	0,328667	0,02						0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,02964 0,25					1 4,253049
9	0,5	0,02	0,328667	0,02						0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,03504 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,165116
10	0,5	0,02	0,328667	0,02						0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,0268 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,319098
11	0,5			0,25	0,05176	0,25				0,5 0,701187	0,5 0,02 0,282222	0,02					1 4,068502
12	0,5			0,25	0,05176	0,25				0,5 0,701187	0,5	0,25 0,04 0,25					1 4,293947
13	0,5			0,25	0,05176	0,25				0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,02964 0,25					1 4,444809
14	0,5			0,25	0,05176	0,25				0,5 0,701187	0,5	0,25 0,03054 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,356876
15	0,5			0,25	0,05176	0,25				0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,0268 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,510858
16	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,05176	0,25			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,282222	0,02					1 4,101836
17	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,05176	0,25			0,5 0,701187	0,5	0,25 0,04 0,25					1 4,32628
18	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,05176	0,25			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,02964 0,25					1 4,478142
19	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,05176	0,25			0,5 0,701187	0,5	0,25 0,03054 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,390209
20	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,05176	0,25			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,0268 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,544191
21	0,5			0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,282222	0,02					1 4,230409
22	0,5			0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5	0,25 0,04 0,25					1 4,454853
23	0,5			0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,02964 0,25					1 4,606716
24	0,5			0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,03504 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,518782
25	0,5			0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,0268 0,25 0,02 0,035556 0,02					1 4,672764
26	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,282222	0,02				1 4,263742
27	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5	0,25 0,04 0,25				1 4,488187
28	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,02964 0,25				1 4,640049
29	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,03504 0,25 0,02 0,035556 0,02				1 4,552116
30	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,067	0,25 0,02 0,113333	0,02			0,5 0,701187	0,5 0,02 0,128889	0,02 0,25 0,0268 0,25 0,02 0,035556 0,02				1 4,706096

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 32: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 2.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Neste segundo hospital, as viagens sem avião, diferentemente do primeiro caso, não geram tempos de isquemia que permitam a viabilidade da rota. Novamente a rota com menor tempo de isquemia foi a rota 6, sem a existência de helicópteros em toda a rota. Comparando com o anterior, as rotas 16 e 21 chamam a atenção pelo seu tempo relativamente melhor do que a vizinhança mais próxima de cada uma delas.

Para o terceiro hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

Tabela 17: Tempos calculados para o Hospital 4.

	Finalização de cirurgia	Tempo em tempo total	TOTAL																				
1	0,5	0,02	5,922222	0,02																	1 7,455556		
2	0,5				0,25	1,90356	0,25													1 3,90356			
3	0,5	0,02	0	0,02	0,25	1,90356	0,25													1 3,936893			
4	0,5				0,25	1,9	0,25	0,02	0,035556	0,02										1 3,968893			
5	0,5	0,02	0	0,02	0,25	1,9	0,25	0,02	0,035556	0,02										1 4,002222			
6	0,5	0,02	0,06	0,02																1 3,550222			
7	0,5	0,02	0,06	0,02																1 3,774667			
8	0,5	0,02	0,06	0,02																1 3,926529			
9	0,5	0,02	0,06	0,02																1 3,883596			
10	0,5	0,02	0,06	0,02																1 3,992578			
11	0,5				0,25	0,00964	0,25													1 3,966523			
12	0,5				0,25	0,00964	0,25													1 4,190973			
13	0,5				0,25	0,00964	0,25													1 4,342836			
14	0,5				0,25	0,00964	0,25													1 4,254902			
15	0,5				0,25	0,00964	0,25													1 4,408884			
16	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25													1 3,999862			
17	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25													1 4,224307			
18	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25													1 4,376169			
19	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25													1 4,288236			
20	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25													1 4,442218			
21	0,5				0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 3,999862			
22	0,5				0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5							1 4,224307			
23	0,5				0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25	1 4,376169			
24	0,5				0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5							1 4,288236			
25	0,5				0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02868	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,442218
26	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 4,033196			
27	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5							1 4,25764			
28	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25		1 4,409502		
29	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5							1 4,321569			
30	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,00964	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,641333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02868	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,475551

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 34: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 4.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

No caso do quarto hospital, por conta da menor distância entre hospital doador e hospital receptor, diversas rotas conseguem estar abaixo de 4 horas. Contudo, é dado no âmbito da saúde que quanto menor o tempo de isquemia, menor a quantidade de complicações médicas. Novamente a vizinhança 6-10 possuiu os menores tempos, com destaque para as outras rotas 16, 21 e 26.

Para o quinto hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

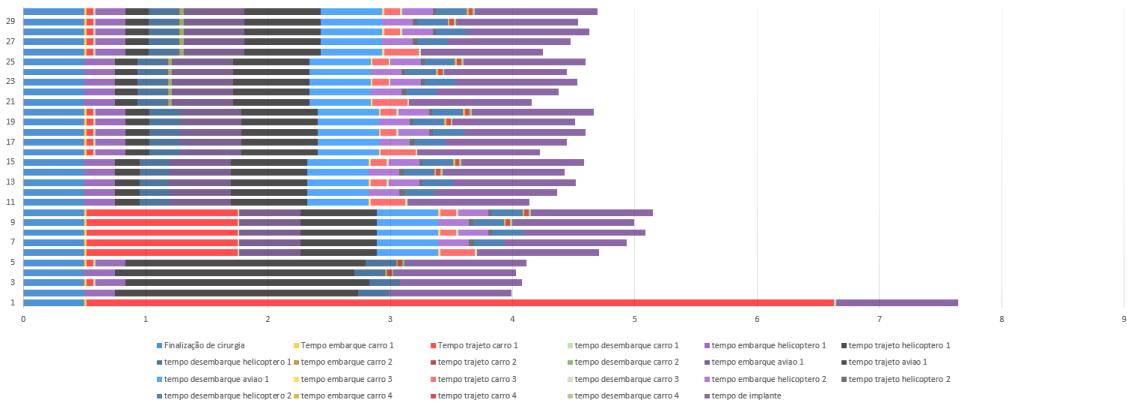
Tabela 18: Tempos calculados para o Hospital 5.

Finalizaç	Tempo en	Tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	TOTAL				
1	0,5	0,02	6,111111	0,02															1 7,644444				
2	0,5			0,25	1,98628	0,25													1 3,98528				
3	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	1,991	0,25												1 4,077667				
4	0,5			0,25	1,9572	0,25	0,02	0,035556	0,02										1 4,026089				
5	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	1,96	0,25	0,02	0,035556	0,02									1 4,115556				
6	0,5	0,02	1,233333	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 4,707556				
7	0,5	0,02	1,233333	0,02						0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25		1 4,932			
8	0,5	0,02	1,233333	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25		1 5,083862			
9	0,5	0,02	1,233333	0,02						0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,959292	
10	0,5	0,02	1,233333	0,02						0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 5,149911	
11	0,5			0,25	0,1982	0,25				0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02						1 4,139089		
12	0,5			0,25	0,1982	0,25				0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25			1 4,363533		
13	0,5			0,25	0,1982	0,25				0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25			1 4,515396		
14	0,5			0,25	0,1982	0,25				0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,427462	
15	0,5			0,25	0,1982	0,25				0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,581444	
16	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,19428	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02						1 4,221836		
17	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,19428	0,25			0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25			1 4,44628		
18	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,19428	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25			1 4,598142		
19	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,19428	0,25			0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,510209	
20	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,19428	0,25			0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,664191	
21	0,5			0,25	0,18056	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02						1 4,154782		
22	0,5			0,25	0,18056	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25			1 4,379227		
23	0,5			0,25	0,18056	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25			1 4,531089		
24	0,5			0,25	0,18056	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,443156	
25	0,5			0,25	0,18056	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,597138	
26	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,18856	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02					1 4,249449		
27	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,18856	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5				0,25	0,04	0,25			1 4,473893	
28	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,18856	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25			1 4,625756	
29	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,18856	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,537822
30	0,5	0,02	0,053333	0,02	0,25	0,18856	0,25	0,02	0	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02	1 4,691804

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 35: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 5.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O caso do quinto hospital mostra um comportamento diferente dos dados gerados. Excluindo os caminhos sem avião, por motivos já explicitados anteriormente, a vizinhança 6-10 não se destacou possuindo os menores tempos. As opções 11, 16, 21 e 26 novamente se destacaram. Este caso chama a atenção pois a diferença é que o aeroporto está consideravelmente mais longe do hospital doador do que nos casos anteriores, justificando o uso de helicópteros para o trajeto inicial, com uma viagem bem mais rápida, considerando os tempos de embarque e desembarque também, do que o trajeto de ambulância. Contudo, para o quinto hospital, é notável que não há rotas calculadas que permitam o transplante dentro do prazo máximo, de acordo com os parâmetros e restrições considerados nesta formulação.

Para o sexto hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada

uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

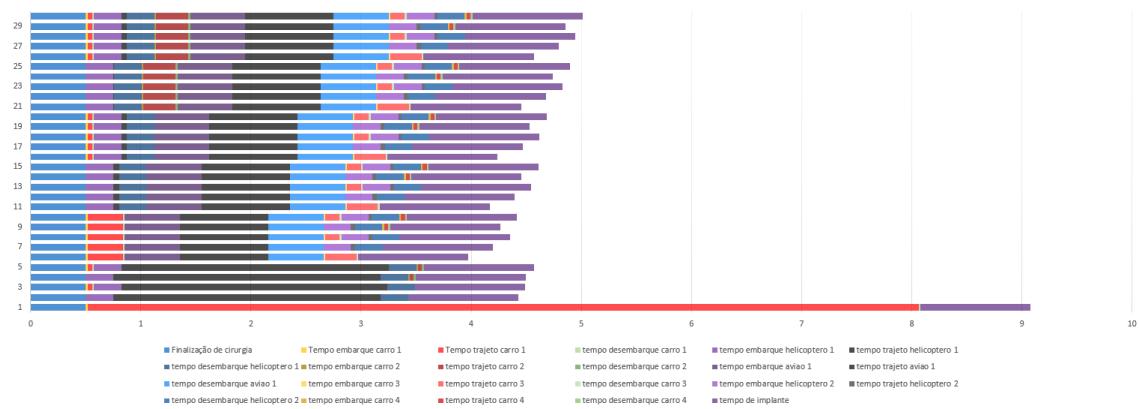
Tabela 19: Tempos calculados para o Hospital 6.

		Tempo de	Tempo tr	tempo de	tempo de	tempo de	tempo de	tempo de	tempo de	tempo de	tempo de	TOTAL							
1	0,5	0,02	7,544444	0,02															1 9,077778
2	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	2,425	0,25												1 4,425
3	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	2,41428	0,25												1 4,489836
4	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	2,425	0,25	0,02	0,035556	0,02									1 4,493889
5	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	2,425	0,25	0,02	0,035556	0,02									1 4,569444
6	0,5	0,02	0,322222	0,02							0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02						1 3,973484
7	0,5	0,02	0,322222	0,02							0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,197929
8	0,5	0,02	0,322222	0,02							0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,349791
9	0,5	0,02	0,322222	0,02							0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,41584
10	0,5	0,02	0,322222	0,02							0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,261858
11	0,5				0,25	0,05176	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02						1 4,169689
12	0,5				0,25	0,05176	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,394133
13	0,5				0,25	0,05176	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,454996
14	0,5				0,25	0,05176	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,458062
15	0,5				0,25	0,05176	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,612044
16	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02						1 4,240604
17	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,465049
18	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,616911
19	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,528978
20	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25				0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,682956
21	0,5				0,25	0,0676	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02						1 4,451356
22	0,5				0,25	0,0676	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,6758
23	0,5				0,25	0,0676	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,627662
24	0,5				0,25	0,0676	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,893711
25	0,5				0,25	0,0676	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,739729
26	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02						1 4,567271
27	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,791716
28	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,943578
29	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 4,855644
30	0,5	0,02	0,042222	0,02	0,25	0,04712	0,25	0,02	0,293333	0,02	0,5 0,802373	0,5 0,282222	0,02	0,25	0,04	0,25			1 5,009627

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 36: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 6.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O sexto hospital volta a se comportar de maneira muito semelhante aos primeiros 4. A vizinhança 6-10 possui os menores tempos e as rotas 11, 16 e 21 chamam a atenção no restante do conjunto. Ainda assim, o menor tempo de isquemia possível é muito próximo do limite de 4 horas, dependendo de pequenas variações nos parâmetros.

Para o sétimo hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

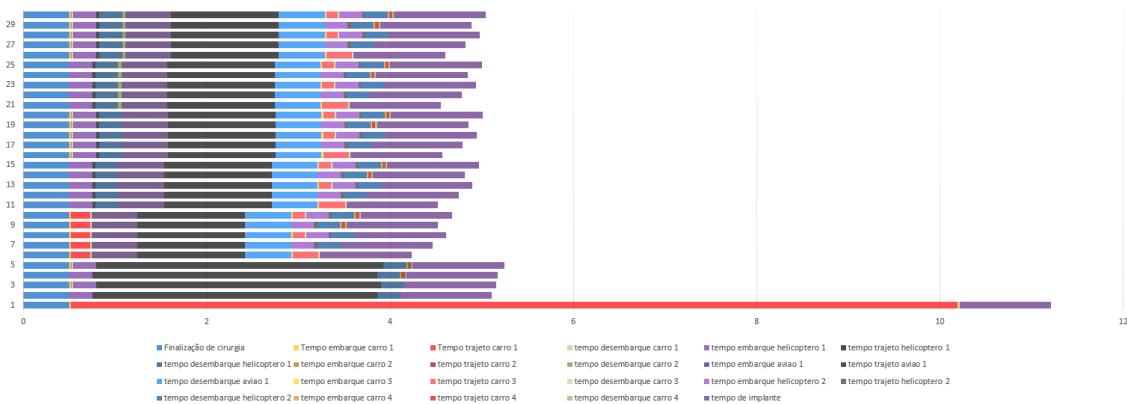
Tabela 20: Tempos calculados para o Hospital 7.

	Finalizado	Tempo en	Tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	tempo en	tempo tr	tempo de	TOTAL	
1	0,5	0,02	9,677778	0,02																			1 11,211111	
2	0,5			0,25	3,11068	0,25																	1 5,11068	
3	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	3,11068	0,25																1 5,155124	
4	0,5			0,25	3,1072	0,25	0,02	0,035556	0,02														1 5,176089	
5	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	3,132	0,25	0,02	0,035556	0,02													1 5,245333	
6	0,5	0,02	0,213333	0,02																			1 4,236889	
7	0,5	0,02	0,213333	0,02																			1 4,461333	
8	0,5	0,02	0,213333	0,02																			1 4,613196	
9	0,5	0,02	0,213333	0,02																			1 4,525262	
10	0,5	0,02	0,213333	0,02																			1 4,679244	
11	0,5			0,25	0,03428	0,25																	1 4,524502	
12	0,5			0,25	0,03428	0,25																	1 4,748947	
13	0,5			0,25	0,03428	0,25																	1 4,900809	
14	0,5			0,25	0,03428	0,25																	1 4,812876	
15	0,5			0,25	0,03428	0,25																	1 4,966858	
16	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25																1 4,568947	
17	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25																1 4,793391	
18	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25																1 4,945253	
19	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25																1 4,85732	
20	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25																1 5,011302	
21	0,5			0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,282222	0,02								1 4,557836	
22	0,5			0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5											1 4,78228	
23	0,5			0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25					1 4,934142	
24	0,5			0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5					0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02		1 4,846209	
25	0,5			0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02		1 5,000191	
26	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,282222	0,02							1 4,60228	
27	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5										1 4,826724	
28	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02964	0,25				1 4,978587	
29	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5					0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02		1 4,890653
30	0,5	0,02	0,011111	0,02	0,25	0,03428	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,174667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02	0,035556	0,02		1 5,044636

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 37: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 7.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O caso do sétimo hospital novamente se comporta de maneira semelhante com a maioria dos casos. A vizinhança 6-10 gera, no geral, os melhores resultados por conta da simplicidade da primeira metade de suas opções, e as rotas 11, 16, 21 e 26 são destaque positivo em comparação às suas respectivas vizinhanças e até se comparam aos resultados obtidos pelas vizinhança 6-10. Novamente, em outros hospitais, não há um caminho que permita este transplante com menos de 4 horas, dependendo de outras variáveis não consideradas neste estudo.

Para o oitavo hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

Tabela 21: Tempos calculados para o Hospital 8.

Finalizado	Tempo et	Tempo tr	tempo et	TOTAL																	
1	0,5	0,02	4,558889	0,02															1 6,122222		
2	0,5				0,25	1,475	0,25												1 3,475		
3	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	1,42856	0,25												1 3,519671		
4	0,5				0,25	1,4212	0,25	0,02	0,035556	0,02									1 3,490089		
5	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	1,4464	0,25	0,02	0,035556	0,02									1 3,6064		
6	0,5	0,02	0,142222	0,02							0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02			1 3,468484		
7	0,5	0,02	0,142222	0,02							0,5	0,477373	0,5						1 3,692929		
8	0,5	0,02	0,142222	0,02							0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,04	1 3,844791		
9	0,5	0,02	0,142222	0,02							0,5	0,477373	0,5			0,25	0,03504	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 3,756858	
10	0,5	0,02	0,142222	0,02							0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 3,91084
11	0,5				0,25	0,0284	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02			1 3,815769		
12	0,5				0,25	0,0284	0,25				0,5	0,477373	0,5			0,25	0,04	0,25		1 4,040213	
13	0,5				0,25	0,0284	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0264	0,25		1 4,192070
14	0,5				0,25	0,0284	0,25				0,5	0,477373	0,5			0,25	0,03504	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,104142	
15	0,5				0,25	0,0284	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,258124
16	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 3,90508	
17	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25				0,5	0,477373	0,5			0,25	0,04	0,25		1 4,129524	
18	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0264	0,25		1 4,281387
19	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25				0,5	0,477373	0,5			0,25	0,03504	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,193453	
20	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,347436
21	0,5				0,25	0,09928	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 3,966653	
22	0,5				0,25	0,09928	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5			0,25	0,04	0,25		1 4,191098	
23	0,5				0,25	0,09928	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0264	0,25		1 4,34296
24	0,5				0,25	0,09928	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5			0,25	0,03504	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,255027	
25	0,5				0,25	0,09928	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,409009
26	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02				1 4,069524	
27	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5			0,25	0,04	0,25		1 4,293969	
28	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0264	0,25		1 4,445831
29	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5			0,25	0,03504	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,357898	
30	0,5	0,02	0,057778	0,02	0,25	0,02104	0,25	0,02	0,131111	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,0268	0,25	0,02 0,035556 0,02	1 4,51188

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 38: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 8.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O oitavo hospital, consideravelmente mais próximo do hospital receptor, gera dados nos quais diversas rotas seriam capazes de permitir um transplante com um tempo de isquemia do coração menor que 4 horas. Ainda sim, as rotas sem avião seriam desconsideradas, pois a distância não é pequena o suficiente para permitir que um helicóptero tenha autonomia de realizá-la por completo. O restante do comportamento deste hospital está de acordo com o observado: vizinhança 6-10 e rotas 11, 16, 21 e 26 possuem os menores caminhos comparativamente.

Para o nono hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

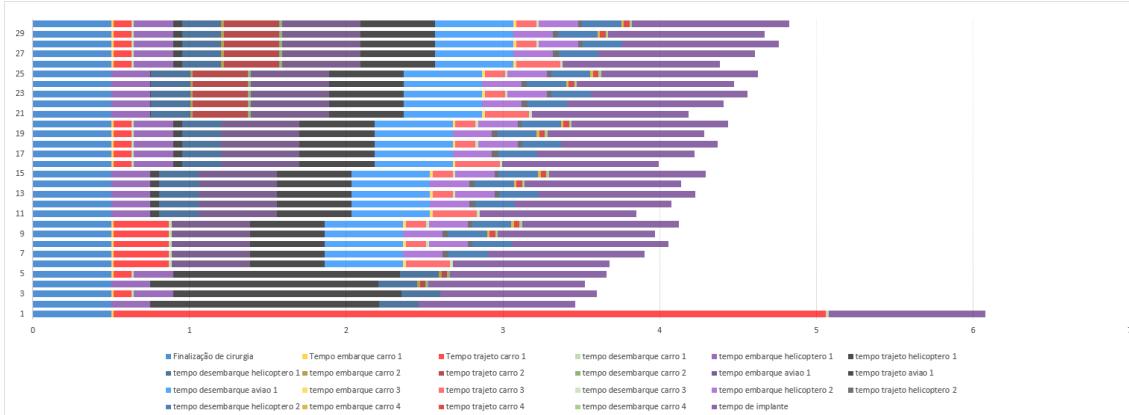
Tabela 22: Tempos calculados para o Hospital 9.

	Finalizado	Tempo em tempo de	TOTAL														
1	0,5	0,02	4,544444	0,02										1 6,07778			
2	0,5			0,25	1,46068	0,25								1 3,46068			
3	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	1,456	0,25							1 3,600444			
4	0,5				0,25	1,4536	0,25	0,02	0,035556	0,02				1 3,522489			
5	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	1,4464	0,25	0,02	0,035556	0,02				1 3,659733			
6	0,5	0,02	0,353333	0,02				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02	1 3,679598			
7	0,5	0,02	0,353333	0,02				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 3,90404			
8	0,5	0,02	0,353333	0,02				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,02964	0,25	1 4,055902			
9	0,5	0,02	0,353333	0,02				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,03504	0,25	1 3,967969			
10	0,5	0,02	0,253333	0,02				0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 4,121951			
11	0,5			0,25	0,0586	0,25		0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02	1 3,849688			
12	0,5			0,25	0,0586	0,25		0,5	0,477373	0,5	0,02	0,04	0,25	1 4,074133			
13	0,5			0,25	0,0586	0,25		0,5	0,477373	0,5	0,02	0,02964	0,25	1 4,225996			
14	0,5			0,25	0,0586	0,25		0,5	0,477373	0,5	0,02	0,03504	0,25	1 4,138062			
15	0,5			0,25	0,0586	0,25		0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 4,290044			
16	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02	1 3,995573			
17	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,04	0,25	1 4,220018			
18	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 4,283947			
19	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,02964	0,25	1 4,559902			
20	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,03504	0,25	1 4,471969			
21	0,5			0,25	0,004	0,25	0,02	0,253333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02	1 4,183598	
22	0,5			0,25	0,004	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,04	0,25	1 4,40804	
23	0,5			0,25	0,004	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,02964	0,25	1 4,659902	
24	0,5			0,25	0,004	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,03504	0,25	1 4,625951	
25	0,5			0,25	0,004	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 4,382244	
26	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,282222	0,02	1 4,606684
27	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,04	0,25	1 4,758547
28	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,128889	0,02	1 4,670613
29	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,035556	0,02	1 4,824596
30	0,5	0,02	0,111111	0,02	0,25	0,0582	0,25	0,02	0,353333	0,02	0,5	0,477373	0,5	0,02	0,035556	0,02	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 39: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 9.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O nono hospital hospital também mostra que se possível, as rotas de avião seriam preferidas.

Além disso, o comportamento dos dados é semelhante com o avaliado nos outros casos.

Para o décimo hospital, a tabela mostrando as somas dos tempos de todos os trechos de cada uma das 30 rotas, baseados nas localizações reais dos hospitais, helipontos e aeroportos pode ser vista a seguir.

Tabela 23: Tempos calculados para o Hospital 10.

	Finalização cirurgia	Tempo embarque helicóptero 1	tempo embarque carro 1	tempo trajeto carro 1	tempo desembarque carro 1	tempo embarque helicóptero 2	tempo embarque carro 2	tempo trajeto carro 2	tempo desembarque carro 2	tempo embarque helicóptero 3	tempo embarque carro 3	tempo trajeto carro 3	tempo desembarque carro 3	tempo embarque helicóptero 4	tempo embarque carro 4	tempo trajeto carro 4	tempo desembarque carro 4	TOTAL			
1	0,5	0,02	12,24444	0,02														1, 18,7778			
2	0,5				0,25	3,935712	0,25											1, 5,935712			
3	0,5	0,02	0	0,02	0,25	3,935712	0,25											1, 5,969045			
4	0,5				0,25	4,0212	0,25	0,02	0,035556	0,02								1, 6,090089			
5	0,5	0,02	0	0,02	0,25	4,0212	0,25	0,02	0,035556	0,02								1, 6,123422			
6	0,5	0,02	0,173333	0,02						0,5	1,341667	0,5	0,02	0,282222	0,02			1, 4,363889			
7	0,5	0,02	0,173333	0,02						0,5	1,341667	0,5		0,25	0,04	0,25		1, 4,588333			
8	0,5	0,02	0,173333	0,02						0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	1, 4,740196			
9	0,5	0,02	0,173333	0,02						0,5	1,341667	0,5		0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 4,652262	
10	0,5	0,02	0,173333	0,02						0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 4,806244	
11	0,5				0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,282222	0,02				1, 4,685062		
12	0,5				0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5		0,25	0,04	0,25			1, 4,909507		
13	0,5				0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,061369	
14	0,5				0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5		0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 4,973430	
15	0,5				0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,127418	
16	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,282222	0,02				1, 4,718396		
17	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5		0,25	0,04	0,25			1, 4,94284		
18	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,006769	
19	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5		0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,006789	
20	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25			0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,160751	
21	0,5				0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,282222	0,02			1, 4,718396		
22	0,5				0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5		0,25	0,04	0,25		1, 4,94284		
23	0,5				0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,094702
24	0,5				0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5		0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,006789
25	0,5				0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,160751
26	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,282222	0,02			1, 4,751729		
27	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5		0,25	0,04	0,25		1, 4,976173		
28	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,128036
29	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5		0,25	0,03504	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,040102
30	0,5	0,02	0	0,02	0,25	0,02784	0,25	0,02	0	0,02	0,5	1,341667	0,5	0,02	0,128889	0,02	0,25	0,02	0,035556	0,02	1, 5,194084

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O gráfico gerado a partir da tabela:

Figura 40: Gráfico que representa os tempos calculados do Hospital 10.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Por último, o décimo hospital é consideravelmente mais longe do hospital receptor que os outros hospitais analisados neste trabalho. A rota que mais se aproxima do tempo de isquemia máximo é a rota 6, estando de acordo com o avaliado nos outros casos. As outras rotas no geral, apesar de terem pontos melhores, ainda sim geram resultados consideravelmente mais distantes da rota 6. Ou seja, para grandes distâncias, torna-se nítida a necessidade do avião como meio de transporte principal, e as diferenças dos tempos de embarque e desembarque no caso de transbordos acabam gerando valores que se distanciam do tempo de isquemia máximo do coração, a ponto de que seria necessário variações mais bruscas nos parâmetros para garantir um transplante bem-sucedido.

4.2 Consolidação dos resultados

Para entender quais rotas fornecem, em geral, fornecem os melhores resultados em termos de tempo, para posteriormente entender quais as razões que fazem com que determinadas rotas proporcionem melhores resultados, é gerado uma tabela que consolida os valores gerados por cada rota em cada um dos hospitais, com médias, medianas e desvios padrão ao lado.

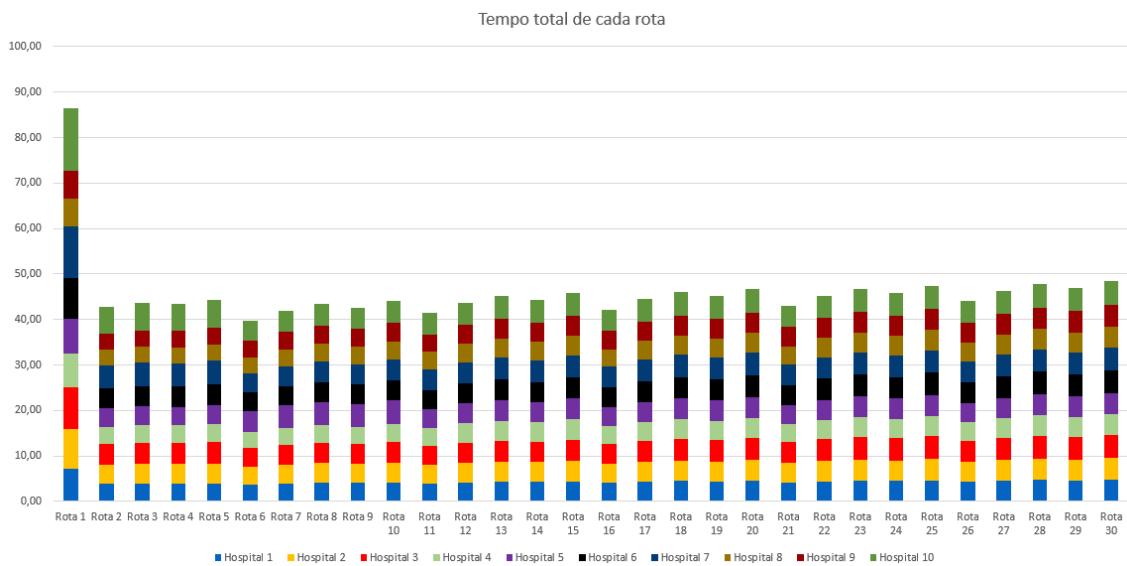
Tabela 24: Resultados consolidados.

Rota x Tempo	Hospital 1	Hospital 2	Hospital 3	Hospital 4	Hospital 5	Hospital 6	Hospital 7	Hospital 8	Hospital 9	Hospital 10	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PAD
Rota 1	7,29	8,54	9,18	7,46	7,64	9,08	11,21	6,12	6,08	13,78	8,64	8,09	2,37
Rota 2	3,84	4,25	4,46	3,90	3,99	4,43	5,11	3,48	3,46	5,94	4,28	4,12	0,76
Rota 3	3,95	4,29	4,61	3,94	4,08	4,49	5,16	3,52	3,60	5,97	4,36	4,18	0,75
Rota 4	3,92	4,32	4,52	3,97	4,03	4,49	5,18	3,49	3,52	6,09	4,35	4,17	0,79
Rota 5	4,01	4,35	4,67	4,00	4,12	4,57	5,25	3,61	3,66	6,12	4,43	4,23	0,77
Rota 6	3,78	3,88	4,04	3,55	4,71	3,97	4,24	3,47	3,68	4,36	3,97	3,93	0,38
Rota 7	4,00	4,10	4,27	3,77	4,93	4,20	4,46	3,69	3,90	4,59	4,19	4,15	0,38
Rota 8	4,15	4,25	4,42	3,93	5,08	4,35	4,61	3,84	4,06	4,74	4,34	4,30	0,38
Rota 9	4,06	4,17	4,33	3,84	5,00	4,26	4,53	3,76	3,97	4,65	4,26	4,21	0,38
Rota 10	4,22	4,32	4,49	3,99	5,15	4,42	4,68	3,91	4,12	4,81	4,41	4,37	0,38
Rota 11	3,99	4,07	4,21	3,97	4,14	4,17	4,52	3,82	3,85	4,69	4,14	4,10	0,28
Rota 12	4,21	4,29	4,44	4,19	4,36	4,39	4,75	4,04	4,07	4,91	4,37	4,33	0,28
Rota 13	4,37	4,44	4,59	4,34	4,52	4,55	4,90	4,19	4,23	5,06	4,52	4,48	0,28
Rota 14	4,28	4,36	4,50	4,25	4,43	4,46	4,81	4,10	4,14	4,97	4,43	4,39	0,28
Rota 15	4,43	4,51	4,66	4,41	4,58	4,61	4,97	4,26	4,29	5,13	4,58	4,55	0,28
Rota 16	4,09	4,10	4,36	4,00	4,22	4,24	4,57	3,91	4,00	4,72	4,22	4,16	0,26
Rota 17	4,32	4,33	4,58	4,22	4,45	4,47	4,79	4,13	4,22	4,94	4,44	4,39	0,26
Rota 18	4,47	4,48	4,73	4,38	4,60	4,62	4,95	4,28	4,37	5,09	4,60	4,54	0,26
Rota 19	4,38	4,39	4,65	4,29	4,51	4,53	4,86	4,19	4,28	5,01	4,51	4,45	0,26
Rota 20	4,53	4,54	4,80	4,44	4,66	4,68	5,01	4,35	4,44	5,16	4,66	4,60	0,26
Rota 21	4,22	4,23	4,55	4,00	4,15	4,45	4,56	3,97	4,18	4,72	4,30	4,23	0,25
Rota 22	4,45	4,45	4,77	4,22	4,38	4,68	4,78	4,19	4,41	4,94	4,53	4,45	0,25
Rota 23	4,60	4,61	4,92	4,38	4,53	4,83	4,93	4,34	4,56	5,09	4,68	4,60	0,25
Rota 24	4,51	4,52	4,84	4,29	4,44	4,74	4,85	4,26	4,47	5,01	4,59	4,52	0,25
Rota 25	4,67	4,67	4,99	4,44	4,60	4,89	5,00	4,41	4,63	5,16	4,75	4,67	0,25
Rota 26	4,36	4,26	4,75	4,03	4,25	4,57	4,60	4,07	4,38	4,75	4,40	4,37	0,26
Rota 27	4,59	4,49	4,97	4,26	4,47	4,79	4,83	4,29	4,61	4,98	4,63	4,60	0,26
Rota 28	4,74	4,64	5,12	4,41	4,63	4,94	4,98	4,45	4,76	5,13	4,78	4,75	0,26
Rota 29	4,65	4,55	5,03	4,32	4,54	4,86	4,89	4,36	4,67	5,04	4,69	4,66	0,26
Rota 30	4,81	4,71	5,19	4,48	4,69	5,01	5,04	4,51	4,82	5,19	4,85	4,82	0,26

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Gerando o seguinte gráfico:

Figura 41: Gráfico de resultados consolidados.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Nota-se que a rota 6 chama atenção, sendo a única de todas as 30 rotas possíveis que em média e também em mediana consegue ter um tempo total de isquemia menor que o tempo máximo de isquemia do coração, de 4 horas. Percebe-se também que a Rota 6 é constituída por 2 viagens de carro conectadas por uma de avião, sendo uma das rotas menos intuitivas, visto que não há helicópteros nela, já que eles possuem maior velocidade média.

4.3 Análise dos resultados

A partir dos resultados consolidados de tempo, é possível averiguar que as melhores rotas, no geral, foram:

1. Rota 6
2. Rota 21
3. Rota 11
4. Rota 7
5. Rota 16

Devemos, primeiramente considerar que para os hospitais levados em conta neste trabalho, as rotas 1, 2, 3, 4 e 5 são inviáveis, pois apesar de em diversas situações produzirem bons

resultados, há limitações de autonomia dos helicópteros, que geralmente não conseguem fazer um trajeto tão grande, sendo limitados por cerca de 200 a 250 quilômetros.

As melhores rotas possuem avião como meio de transporte para a maior parte do trajeto, mas principalmente, tem um comportamento de minimização dos transbordos, minimizando as contribuições dos embarques e desembarques. Ao analisar um exemplo genérico a partir de nossos parâmetros, visto que o tempo de embarque e desembarque do helicóptero, que são utilizados neste estudo como um meio de transporte dentro das cidades dos hospitais doadores e do hospital receptor, são de 15 minutos, o tempo de trajeto do carro deve ser necessariamente maior que 30 minutos para que exista a possibilidade do helicóptero ser uma melhor opção. Ou seja, para que uma viagem de helicóptero seja mais atrativa do que uma viagem de ambulância, o aeroporto de embarque deve estar consideravelmente mais longe do hospital doador, justificando o tempo de embarque e desembarque e a escolha do helicóptero como modal do trajeto. A comparação é feita a partir da seguinte lógica para que o helicóptero valha a pena, em termos de tempo:

$$\begin{aligned} \text{TempoTrajetoCarro} - 2x(\text{TempoEmbarqueDesembarqueHelicoptero}) &>= \\ \text{TempoTrajetoHelicoptero} \end{aligned}$$

Também, importante notar a forma com a qual as rotas foram estruturadas. Foram feitos 6 conjuntos de 5 rotas cada, fixando a primeira metade do trajeto em uma das 5 opções geradas pelas possibilidades de rotas bimodais de ambulância e helicóptero e variando a segunda metade. Elas foram organizadas de forma crescente no quesito quantidade de transbordos, ou seja, dividindo o número da rota por 5, obteremos um resto, e este resto quanto mais alto, maior o número de transbordos, excluindo o 0, pois ele gera o maior número de transbordos do subconjunto. Assim, ao analisar as melhores 5 rotas, 4 possuem resto 1 e uma possui resto 2, deixando nítido que o menor número de transbordos é o critério que mais influencia o tempo total de isquemia. Nota-se a partir da imagem a seguir, que os restos 1 e 2, mas especificamente o 1, geram resultados no geral melhores que os da sua vizinhança, com exceção do primeiro subconjunto, por não possuir o avião como principal meio de transporte. As rotas com resto 1 foram destacadas a partir de um asterisco na tabela a seguir.

Tabela 25: Análise da quantidade de transbordos por rota.

	MÉDIA	RESTO %5
Rota 1	8,64	1
Rota 2	4,28	2
Rota 3	4,36	3
Rota 4	4,35	4
Rota 5	4,43	0
Rota 6*	3,97	1
Rota 7	4,19	2
Rota 8	4,34	3
Rota 9	4,26	4
Rota 10	4,41	0
Rota 11*	4,14	1
Rota 12	4,37	2
Rota 13	4,52	3
Rota 14	4,43	4
Rota 15	4,58	0
Rota 16*	4,22	1
Rota 17	4,44	2
Rota 18	4,60	3
Rota 19	4,51	4
Rota 20	4,66	0
Rota 21*	4,30	1
Rota 22	4,53	2
Rota 23	4,68	3
Rota 24	4,59	4
Rota 25	4,75	0
Rota 26*	4,40	1
Rota 27	4,63	2
Rota 28	4,78	3
Rota 29	4,69	4
Rota 30	4,85	0

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

4.4 Análise de custos

Para o cálculo de custos, foram calculados custos a partir do gasto de combustível de cada um dos meios de transporte somados, considerando seus diferentes rendimentos, gerando o seguinte gráfico:

Tabela 26: Custos consolidados.

Rota x Custo	Hospital 1	Hospital 2	Hospital 3	Hospital 4	Hospital 5	Hospital 6	Hospital 7	Hospital 8	Hospital 9	Hospital 10	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PAD
Rota 1	368,43	448,80	489,34	379,10	391,19	482,94	619,50	293,75	290,90	783,80	454,77	419,99	151,81
Rota 2	1271,86	1557,73	1698,44	1315,80	1374,36	1676,23	2150,20	1019,56	1009,67	2720,48	1579,43	1466,04	526,63
Rota 3	1268,89	1557,73	1709,40	1315,80	1377,95	1670,17	2150,55	989,31	1009,99	2720,48	1577,03	1467,84	530,49
Rota 4	1279,91	1555,02	1697,14	1314,48	1354,01	1677,37	2148,93	983,51	1005,91	2780,71	1579,70	1454,52	546,32
Rota 5	1267,27	1555,02	1700,70	1314,48	1357,66	1678,72	2166,43	1002,78	1004,49	2780,71	1582,82	1456,34	546,97
Rota 6	869,36	973,33	1163,65	883,37	899,16	1110,83	1613,79	662,97	669,72	1839,68	1068,59	936,25	385,58
Rota 7	887,98	991,95	1182,26	901,99	917,78	1129,45	1632,40	681,58	688,34	1858,30	1087,20	954,86	385,58
Rota 8	884,94	988,91	1179,23	898,95	914,74	1126,41	1629,37	678,55	685,30	1855,26	1084,17	951,83	385,58
Rota 9	885,69	989,66	1179,97	899,70	915,49	1127,16	1630,11	679,29	686,05	1856,01	1084,91	952,57	385,58
Rota 10	884,12	988,08	1178,40	898,13	913,92	1125,59	1628,54	677,72	684,48	1854,44	1083,34	951,00	385,58
Rota 11	893,01	998,65	1191,57	888,12	996,69	1136,30	1630,66	674,20	697,65	1853,38	1096,02	997,67	381,60
Rota 12	911,62	1017,27	1210,19	906,73	1015,31	1154,91	1649,27	692,82	716,27	1871,99	1114,64	1016,29	381,60
Rota 13	908,59	1014,23	1207,15	903,70	1012,27	1151,88	1646,24	689,78	713,23	1868,96	1111,60	1013,25	381,60
Rota 14	909,33	1014,98	1207,90	904,44	1013,02	1152,62	1646,98	690,53	713,98	1869,70	1112,35	1014,00	381,60
Rota 15	907,76	1013,41	1206,33	902,87	1011,45	1151,05	1645,41	688,96	712,40	1868,13	1110,78	1012,43	381,60
Rota 16	888,65	998,65	1196,13	888,12	995,69	1134,44	1631,01	674,81	702,20	1853,38	1096,31	997,17	381,46
Rota 17	907,27	1017,27	1214,74	906,73	1014,30	1153,06	1649,63	693,42	720,82	1871,99	1114,92	1015,79	381,46
Rota 18	904,23	1014,23	1211,71	903,70	1011,27	1150,02	1646,59	690,39	717,78	1868,96	1111,89	1012,75	381,46
Rota 19	904,98	1014,98	1212,45	904,44	1012,01	1150,77	1647,34	691,13	718,53	1869,70	1112,63	1013,50	381,46
Rota 20	903,41	1013,41	1210,88	902,87	1010,44	1149,20	1645,77	689,56	716,96	1868,13	1111,06	1011,93	381,46
Rota 21	874,93	1012,81	1166,41	888,12	984,50	1114,58	1630,66	669,03	672,49	1853,38	1086,69	998,66	385,43
Rota 22	893,55	1031,43	1185,03	906,73	1003,11	1133,20	1649,27	687,64	691,11	1871,99	1105,31	1017,27	385,43
Rota 23	890,51	1028,39	1181,99	903,70	1000,08	1130,16	1646,24	684,61	688,07	1868,96	1102,27	1014,24	385,43
Rota 24	891,26	1029,14	1182,74	904,44	1000,82	1130,91	1646,98	685,35	688,81	1869,70	1103,02	1014,98	385,43
Rota 25	889,69	1027,57	1181,17	902,87	999,25	1129,34	1645,41	683,78	687,24	1868,13	1101,45	1013,41	385,43
Rota 26	896,26	1012,81	1207,43	888,12	991,73	1143,83	1631,01	679,00	713,51	1853,38	1101,71	1002,27	379,37
Rota 27	914,88	1031,43	1226,05	906,73	1010,35	1162,45	1649,63	697,62	732,13	1871,99	1120,33	1020,89	379,37
Rota 28	911,85	1028,39	1223,01	903,70	1007,31	1159,41	1646,59	694,58	729,09	1868,96	1117,29	1017,85	379,37
Rota 29	912,59	1029,14	1223,76	904,44	1008,06	1160,16	1647,34	695,33	729,84	1869,70	1118,04	1018,60	379,37
Rota 30	911,02	1027,57	1222,19	902,87	1006,49	1158,59	1645,77	693,76	728,27	1868,13	1116,47	1017,03	379,37

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

As rotas que mais se destacam, tanto negativamente quanto positivamente em relação aos custos, são as que estão sendo desconsideradas por conta principalmente da autonomia dos helicópteros. A de menor custo de todas, é a que gera os maiores valores no quesito horas com valores sempre muito maiores que as 4 horas do tempo limite de isquemia, assim, deixando de ser uma opção viável. Das opções mais caras, são as que não possuem avião, por exigir que o helicóptero fique um tempo muito maior no ar, por conta da sua velocidade três vezes menor, em média, do que o avião, gerando um consumo de gasolina muito maior.

Das opções possíveis a priori, a rota 6 novamente chama a atenção. Isso se dá pois não inclui custos de helicóptero, que rende muito menos do que ambulâncias comuns, fazendo com que os custos com combustível sejam maiores. Contudo, as diferenças observadas são muito pequenas para que sejam pontos a serem considerados neste primeiro momento da pesquisa.

4.5 Comparação com a preferência médica

Abaixo é a comparação das preferências médicas ao lado das médias de cada rota, para que possa ser feita uma análise comparativa.

Tabela 27: Comparação da preferência médica com os resultados médios gerados.

	Pred. Méd	Méd. Rotas
Rota 1	15	8,6377778
Rota 2	12	4,2849592
Rota 3	13	4,4605032
Rota 4	13	4,3525889
Rota 5	14	4,4349489
Rota 6	11	3,9675996
Rota 7	8	4,192044
Rota 8	9	4,3439062
Rota 9	9	4,2559729
Rota 10	10	4,4099551
Rota 11	8	4,1420702
Rota 12	1	4,3665147
Rota 13	3	4,5183769
Rota 14	3	4,4304436
Rota 15	5	4,5844258
Rota 16	9	4,2203222
Rota 17	2	4,4447667
Rota 18	4	4,5966289
Rota 19	4	4,5086956
Rota 20	6	4,6626778
Rota 21	9	4,1217062
Rota 22	2	4,3461507
Rota 23	4	4,4980129
Rota 24	4	4,4100796
Rota 25	6	4,5640618
Rota 26	10	4,4028298
Rota 27	5	4,6272742
Rota 28	6	4,7791364
Rota 29	6	4,6912031
Rota 30	7	4,8451853

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

É possível perceber que os melhores valores calculados não são condizentes com os valores de preferência médica. Ao analisar os critérios utilizados pelos médicos, é notável que a preferência por helicópteros acima do critério de minimização de transbordos, gere essa diferença. A princípio, a equipe médica desconsidera a importância relativa do tempo gasto em embarque e desembarque em relação à velocidade dos veículos. Esta concepção é relevante principalmente por conta das pequenas distâncias que são percorridas dentro das cidades, gerando baixos tempos de percurso tanto para a ambulância quanto para o helicóptero, fazendo com que a diferença de tempo no embarque e desembarque se torne mais pronunciada nos resultados finais.

4.6 Utilização deste estudo pela equipe médica de transplantes de órgãos

Neste momento, faz-se necessário deixar claro o roteiro sugerido para as equipes médicas que podem se utilizar deste trabalho a fim de melhorar os seus processos decisórios no momento da aceitação, ou não, de um coração, ou até de um órgão no geral. O roteiro é a versão simplificada do passo-a-passo realizado neste trabalho, afim de permitir que a equipe médica consiga averiguar com mais detalhes as opções disponíveis. Nesta seção, é descrito o processo genérico a fim de que qualquer equipe de transplantes com limitações críticas de tempo possam realizar, mas para o caso do InCOR, diversos dos parâmetros podem ser reutilizados deste estudo.

4.6.1 Determinação dos parâmetros necessários

O primeiro passo é a pesquisa dos parâmetros necessários para fazer os cálculos de tempo. Estes parâmetros são:

1. Distâncias entre dois pontos de transbordo.
2. Tempo de finalização da cirurgia de retirada.
3. Tempo de inicialização da cirurgia de .
4. Determinação dos tempos de embarque e desembarque dos meios de transporte.
5. Identificação dos veículos possíveis para identificação das velocidades médias.

4.6.1.1 Distâncias

Para a determinação das distâncias dos pontos de transbordos, eles devem primeiramente ser identificados. Para isso deve-se preencher uma tabela contendo quais as localizações dos hospitais, tanto receptor quanto doador, quais as localizações dos aeroportos mais próximos de cada hospital e quais os helipontos mais próximos de cada hospital e aeroporto.

Com todas essas informações, como a decisão do aceite do órgão ocorre horas antes da realização do trajeto, deve-se utilizar as distâncias entre cada par de pontos, de acordo com a figura 9. Para tal, pode-se utilizar ferramentas como o Google Maps para determinar a distância entre duas localidades por meio das vias. Os trajetos que as distâncias consideradas devem ser o valor fornecido pela ferramenta considerando trajeto pelas vias convencionais, de acordo com a legenda dos grafos utilizados neste estudo: HD-HR, HD-H1, HD-A1, H2-A1, A2-HR,

A2-H3 e H4-HR. Já as distâncias que devem ser utilizadas de uma linha reta entre dois pontos são aquelas que se utilizam dos meios de transporte aéreos, ou seja: HD-HR, HD-H2, HD-A1, H1-HR, H1-H2, H1-A1, A1-A2, A2-HR, A2-H4, H3-H4, H3-HR, HD-H4 e H1-H4. Com todas essas distâncias determinadas pelo uso do Google Maps, pode-se seguir para a próxima etapa.

4.6.1.2 Determinação dos parâmetros médicos

Cada equipe médica possui seus próprios padrões de tempo de cirurgia, dependendo do tamanho da equipe, da infraestrutura disponível e da própria experiência e agilidade da equipe. Neste caso seria interessante ter o coordenador da equipe para, se possível, avaliar quais são os tempos médios de cirurgia de sua equipe, tanto de retirada do órgão quanto de implante do órgão historicamente, para assim realizar uma estimativa de a partir de que instante da cirurgia de retirada do órgão iniciará o tempo de isquemia e a partir de que instante da cirurgia de implante haverá a reperfusão do órgão.

Estes valores devem estar contidos nos parâmetros da planilha também, assim como as distâncias calculadas.

4.6.1.3 Determinação dos tempos de embarque e desembarque

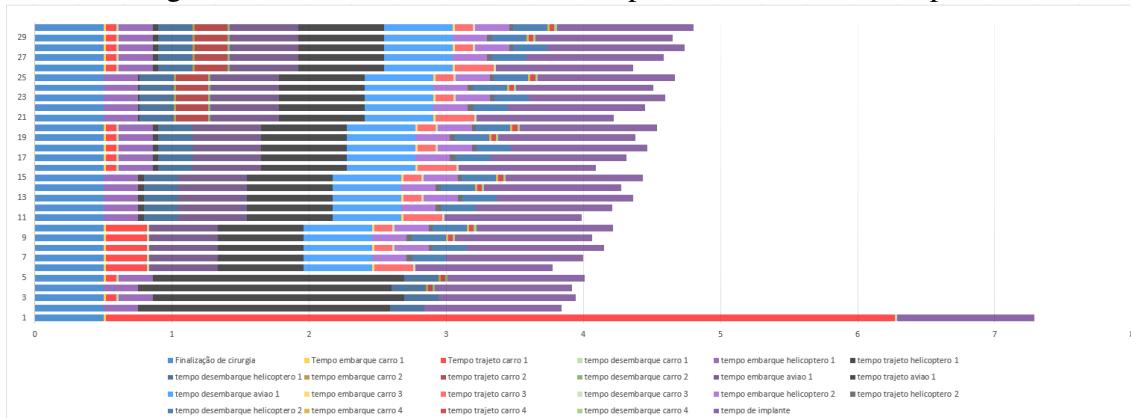
Os valores de 30 minutos para embarque e desembarque do avião, 15 minutos para embarque e desembarque do helicóptero e 2 minutos para embarque e desembarque da ambulância podem ser considerados razoavelmente padrão, mas podem variar dependendo da quantidade de pessoas da equipe que está realizando este embarque e desembarque, com a quantidade de equipamentos, com a regulamentação específica do local em que está havendo o pouso ou a decolagem, com o tipo de veículo que a equipe poderá utilizar no transporte, dentre outros. Estes aspectos devem ser considerados para fazer uma estimativa do parâmetro, que pode depois ser atualizada caso necessário.

4.6.1.4 Identificação dos possíveis veículos

Neste passo é importante realizar a consulta com os hospitais, com as Forças Aéreas Brasileiras e outras empresas parceiras de quais veículos serão disponibilizados para a equipe de transplante a fim de permitir que ela realize o translado.

A partir da identificação de quais serão os modelos de ambulância, helicóptero e avião disponíveis, deve-se consultar quais são suas respectivas velocidades médias, e no caso da ambulância, considerar uma estimativa em relação a velocidade do trânsito das cidades em questão,

Figura 42: Gráfico com todas as rotas possíveis entre dois hospitais.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

4.6.2.1 Restrição do Tempo Total de Isquemia

A partir do gráfico traçado, deve-se utilizar uma linha vertical no tempo máximo de isquemia que o órgão em questão suporta.

Figura 43: Gráfico com uma reta vertical delimitando o limite do tempo de isquemia.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Esta etapa serve para eliminar todas aquelas rotas que geram um tempo total de isquemia maior que o limite máximo do tempo de isquemia do órgão em questão. Assim, gera-se um novo conjunto, apenas com as soluções viáveis.

Figura 44: Identificação das soluções viáveis.

TOTAL		TOTAL
7,288889	Rota 1	
3,84	Rota 2	3,84
3,945333	Rota 3	3,945333
3,918889	Rota 4	3,918889
4,010222	Rota 5	
3,776444	Rota 6	3,776444
4,000889	Rota 7	4,000889
4,152751	Rota 8	
4,064818	Rota 9	
4,2188	Rota 10	
3,989089	Rota 11	3,989089
4,213533	Rota 12	
4,365396	Rota 13	
4,277462	Rota 14	
4,431444	Rota 15	
4,092422	Rota 16	
4,316867	Rota 17	
4,468729	Rota 18	
4,380796	Rota 19	
4,534778	Rota 20	
4,22304	Rota 21	
4,447484	Rota 22	
4,599347	Rota 23	
4,511413	Rota 24	
4,665396	Rota 25	
4,363533	Rota 26	
4,587978	Rota 27	
4,73984	Rota 28	
4,651907	Rota 29	
4,805889	Rota 30	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

4.6.2.2 Ranqueamento das soluções viáveis

Agora com apenas as rotas viáveis, deve-se classificá-las da menor para a maior, gerando uma perspectiva de qual deve ser a primeira rota a ser avaliada e sondada.

Figura 45: Ranqueamento das soluções viáveis.

	TOTAL		TOTAL
Rota 1		Rota 6	3,776444
Rota 2	3,84	Rota 2	3,84
Rota 3	3,945333	Rota 4	3,918889
Rota 4	3,918889	Rota 3	3,945333
Rota 5		Rota 11	3,989089
Rota 6	3,776444	Rota 7	4,000889
Rota 7	4,000889	Rota 21	
Rota 8		Rota 5	
Rota 9		Rota 1	
Rota 10		Rota 8	
Rota 11	3,989089	Rota 9	
Rota 12		Rota 10	
Rota 13		Rota 12	
Rota 14		Rota 13	
Rota 15		Rota 14	
Rota 16		Rota 15	
Rota 17		Rota 16	
Rota 18		Rota 17	
Rota 19		Rota 18	
Rota 20		Rota 19	
Rota 21		Rota 20	
Rota 22		Rota 22	
Rota 23		Rota 23	
Rota 24		Rota 24	
Rota 25		Rota 25	
Rota 26		Rota 26	
Rota 27		Rota 27	
Rota 28		Rota 28	
Rota 29		Rota 29	
Rota 30		Rota 30	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

4.6.2.3 Caracterização das soluções viáveis

Nesta etapa, a equipe médica usará da tabela para compreender quais são as etapas sugeridas em cada uma das melhores rotas viáveis.

Figura 46: Caracterização do tipo de rota das melhores rotas viáveis.

	TOTAL									
Rota 6	3,776444	0,02	0,302222	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02
Rota 2	3,84	0,25	1,84	0,25						
Rota 4	3,918889	0,25	1,85	0,25	0,02	0,035556	0,02			
Rota 3	3,945333	0,02	0,08	0,02	0,25	1,832	0,25			
Rota 11	3,989089	0,25	0,0482	0,25	0,5	0,625333	0,5	0,02	0,282222	0,02
Rota 7	4,000889	0,02	0,302222	0,02	0,5	0,625333	0,5	0,25	0,04	0,25
Rota 21										
Rota 5										
Rota 1										
Rota 8										
Rota 9										
Rota 10										
Rota 12										
Rota 13										
Rota 14										
Rota 15										
Rota 16										
Rota 17										
Rota 18										
Rota 19										
Rota 20										
Rota 22										
Rota 23										
Rota 24										
Rota 25										
Rota 26										
Rota 27										
Rota 28										
Rota 29										
Rota 30										

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A partir da compreensão de quais são as rotas sugeridas a partir das melhores soluções viáveis, acrescentar o conhecimento humano pragmático que ainda não foi inserido neste estudo, que considerou estes aspectos como limitações.

4.6.2.4 Processo decisório humano

Para finalizar o processo, aspectos que não foram considerados neste trabalho devem ser considerados nesta etapa, para que a equipe determine qual será o trajeto escolhido. No caso mostrado na figura 46, por conta do trajeto com uma distância muito grande, o helicóptero escolhido não teria autonomia para fazer todo o trajeto, inviabilizando as rotas 2, 3 e 4, pois as três possuem a característica de não haver viagens de avião.

Outros fatores também devem ser considerados, como a disponibilidade dos veículos para a realização dos projetos a todo momento do translado; a disponibilidade dos locais de pouso e decolagem a todo momento do translado; condições meteorológicas que podem afetar nos

transporte aéreos, principalmente; horários de pico, que nas grandes cidades podem gerar congestionamento nas vias principais, aspecto este que pode ser avaliado já no momento do translado a partir de aplicativos de trânsito; capacidade dos veículos de transportar toda a equipe, dentre outros.

Este roteiro de passos permite a equipe médica saber mais rapidamente e com mais segurança de não ter deixado alguma opção de rota de lado, qual seriam as principais rotas a serem consideradas para que o tempo de isquemia máximo do órgão não seja atingido, para mais rapidamente iniciar as pesquisas sobre os outros fatores que influenciam este processo como um todo. Antes de haver este processo delimitado, caberia a equipe médica inicialmente fazer a pesquisa de quais rotas possíveis de maneira ainda desordenada e desorganizada, dependendo de acertos humanos para encontrar a melhor rota das 30 possíveis a partir das distâncias entre todos os pontos relevantes do trajeto como um todo.

5 CONCLUSÕES

Os dados sobre transplantes de órgãos, principalmente os dados referentes a captação à distância mostraram que uma grande parcela, cerca de 18% dos corações disponibilizados para o Estado de São Paulo são negados por questões de "Distância/Logística", ou seja, é um indicador que foi pouco trabalhado na literatura de engenharia no contexto recente e que está sob o escopo de atuação da Engenharia de Produção. Este indicador mostra que, no geral, as captações de coração à distância não são feitos por conta do restritivo tempo de isquemia limite (4 horas), e portanto, ao realizar o implante do órgão, o risco de disfunções e problemas de saúde decorrentes dos transplantes aumenta exponencialmente.

Por sua vez, o tempo de isquemia limite não inclui diversas etapas do processo de transplante de órgãos, sendo iniciado apenas no momento que a equipe médica do receptor do coração realiza o pinçamento da aorta no doador, e finalizando quando há a reperfusão do coração já no receptor. Ou seja, a criticidade deste tempo se dá, basicamente, no transporte do hospital no qual o doador estava, no nosso caso sempre em outro estado, para o hospital no qual o receptor aguarda pelo órgão, no nosso caso considerando o Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, por ser o maior centro transplantador do país.

O processo de transporte referido, se dá unicamente por três meios de transporte: ambulâncias; helicópteros; e aviões. Contudo, há de se notar que os aviões referidos são fornecidos pelas Forças Aéreas Brasileira ou por outras empresas parceiras, visto que menos de menos de 1% dos transplantes ocorre utilizando a aviação comercial comum, de acordo com a equipe médica do InCOR.

O processo, a fim de ser próximo da realidade, considera que há, em uma rota de viagem do hospital doador até o hospital receptor, no máximo uma única viagem de avião, e no máximo duas viagens de helicóptero. Esta restrição, faz sentido considerando que para haver mais de uma viagem de avião por exemplo, devem haver dois aeroportos de pouso, e a aeronave poderia realizar o pouso apenas no segundo, visto que é o meio de transporte mais rápido, não justificando uma parada para realizar a troca de meio de transporte. O raciocínio análogo se aplica no

caso dos helicópteros. Neste estudo também foram considerados aspectos simplificadores do problema a fim de permitir a compreensão do funcionamento e da estrutura do modelo conceitual formulado. Os parâmetros considerados são fixos, e em pesquisas futuras, é recomendado que eles sejam analisados a partir de suas respectivas distribuições estatísticas, por meio de simulações por exemplo. Também, foi considerada a disponibilidade total tanto de veículos quanto de aeroportos e helipontos, desconsiderando os tempos de abertura, fechamento e outras condições que afetam no seu funcionamento.

Os veículos considerados foram o jato Phenom 100, o helicóptero Eurocopter AS350 Ecureil, e a ambulância Renault Master. As velocidades dos veículos aéreos foram as tabeladas de acordo com seus fabricantes, e a velocidade do veículo terrestre foi considerado o dobro da velocidade do trânsito de São Paulo, por conta da preferência legal que as ambulâncias possuem.

Para cada trajeto em um determinado veículo, foi considerado um tempo de embarque e desembarque. O comportamento dos tempos de embarque e desembarque é diretamente proporcional ao veículo em questão. Os veículos de mais alta velocidade também exigem um maior tempo de embarque e desembarque, trazendo a complexidade para este problema.

Foram traçadas todas as possíveis rotas considerando estes meios de transporte, gerando um total de 30 rotas possíveis. Foram feitas simulações manuais com 10 hospitais, localizados na região Sul do Brasil, por ser a região que mais doa órgãos do país, utilizando como referência locais nos quais já houveram doação de órgãos de fato coletadas pela equipe parceira. Para cada hospital, foi identificado o aeroporto mais próximo e os helipontos mais próximos tanto do próprio hospital quanto do aeroporto, e as distâncias foram listadas. A partir das velocidades médias dos veículos, os tempos foram calculados, sendo posteriormente analisados para definir quais rotas são, em geral, mais rápidas e compará-las com a preferência e os critérios médicos atuais, para identificação de semelhanças e diferenças.

Em suma, a preferência médica atual da equipe contatada não consegue, por experiência, identificar as rotas que no geral seriam as com menor tempo de isquemia. A possibilidade de sempre realizar o trajeto no meio de transporte mais veloz é altamente priorizada pela equipe, mas pelos cálculos realizados, para viagens internas nas cidades e estados, no geral, é mais rápido realizar os trajetos por ambulância, visto que o tempo de embarque e desembarque do helicóptero faz com que o trajeto de ambulância, subtraído dos tempos de embarque e desembarque do helicóptero seja menor do que o tempo de trajeto do helicóptero, situação que ocorreu a maior parte das vezes nos casos estudados. Este raciocínio se aplica no caso de o trajeto de helicóptero e ambulância iniciarem em um local, mas ainda devemos considerar que pode haver um trajeto de carro até o heliponto, ou seja, ainda teríamos que subtrair o tempo de desembarque

da ambulância para justificar a troca para um helicóptero.

Assim, foi feita a modelagem conceitual do processo de transplante de órgãos, em específico o coração, por meio de grafos coloridos, para depois aplicar a lógica existente no grafo para o estudo de casos reais e entender como que cada rota modelada se comporta, para posteriormente compará-las entre si e compará-las com a preferência e critérios médicos da equipe parceira do InCOR, gerando assim, um método bem determinado para auxiliar no processo de tomada de decisão de equipes de transplante de órgãos com captação à distância

REFERÊNCIAS

- 1 MARINHO, A. Um estudo sobre as filas para transplantes no sistema único de saúde brasileiro. *Cadernos de Saúde pública*, SciELO Public Health, v. 22, p. 2229–2239, 2006.
- 2 Associação Brasileira de Transplante de Órgãos. *ABTO*. 2023. Disponível em: <<https://site.abto.org.br>>. Acesso em: 23 de setembro 2023.
- 3 OLIVEIRA, F. et al. Bioética: uma face da cidadania. In: *Bioética: uma face da cidadania*. [S.l.: s.n.], 1997. p. 144–144.
- 4 Associação Brasileira de Transplante de Órgãos. *ABTO*. 2019. Disponível em: <<https://site.abto.org.br>>. Acesso em: 06 de agosto 2023.
- 5 Secretaria da Saúde do Estado de Piauí. *CENTRAL DE TRANSPLANTES DO ESTADO DO PIAUÍ*. 2023. Disponível em: <<https://www.profjmsilva.com.br>>. Acesso em: 11 de agosto 2023.
- 6 ANDRIOLI, L. M. Transporte de órgãos para transplante. *Fatec Americana*, 2015.
- 7 Global Observatory on Donation and Transplantation. *GODT*. 2021. Disponível em: <<https://www.transplant-observatory.org>>. Acesso em: 06 de agosto 2023.
- 8 MOURA, L. C.; SILVA, V. S. Manual do núcleo de captação de órgãos: iniciando uma comissão intra-hospitalar de doação de órgãos e tecidos para transplantes-cihdott. In: *Manual do núcleo de captação de órgãos: iniciando uma Comissão Intra-Hospitalar de Doação de Órgãos e Tecidos para Transplantes-CIHDOtt*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–111.
- 9 GARCIA, C. D.; PEREIRA, J. D.; GARCIA, V. D. Doação e transplante de órgãos e tecidos. *São Paulo: Segmento Farma*, 2015.
- 10 MIEDES, A. C. et al. *La actitud e intención de la donación de órganos en la población española: análisis mediante regresión logística multinivel*. [S.l.]: Universitat Jaume I, 2004.
- 11 MONTELEONE, J. P. *Proposta de regionalização do Sistema de Doação e Transplante de Órgãos do Estado de São Paulo através de uma modelagem de localização*. 2022.
- 12 BRASIL. Decreto no 10.211, de 23 de março de 2001. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis\2001/l10211.htm\#:~:text=LEI\%20No\%2010.211\%2C\%20DE\%2023\%20DE\%20MARO\%20DE\%202001.&text=Altera\%20dispositivos\%20da\%20Lei\%20n,fins\%20de\%20transplante\%20e\%20tratamento>.
- 13 FERRAZ, A. S. et al. Integrative review: indicators of result process of organ donation and transplants. *Brazilian Journal of Nephrology*, SciELO Brasil, v. 35, p. 220–228, 2013.
- 14 TORRES, J. M. d. S. et al. Efeitos metabólicos da l-alanil-glutamina em ratos submetidos à isquemia da pata traseira esquerda seguida de reperfusão. *Acta Cirúrgica Brasileira*, SciELO Brasil, v. 18, p. 39–44, 2003.

- 15 NOTHEN, R. R. A doação de órgãos no cenário da unidade de terapia intensiva. In: *A doação de órgãos no cenário da unidade de terapia intensiva*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 59–59.
- 16 FUZZATI, R. *Organ transplantation management*. 2005.
- 17 SAMPAIO, T. L. Envolvimento da enzima naphoxidase no efeito nefroprotetor do (-)- α -bisabolol em um modelo de lesão renal aguda por isquemia-reperfusão in vitro. 2018.
- 18 VLIET, J. A. van der et al. Influence of prolonged cold ischemia in renal transplantation. *Clinical transplantation*, Wiley Online Library, v. 25, n. 6, p. E612–E616, 2011.
- 19 MANGINI, S. et al. Transplante cardíaco: revisão. *Einstein (São Paulo)*, SciELO Brasil, v. 13, p. 310–318, 2015.
- 20 MOTA, D. de O. et al. Solid organ transplantation activities evolution in brazil: Analysis of 20 years. In: ELSEVIER. *Transplantation Proceedings*. [S.l.], 2020. v. 52, n. 5, p. 1256–1261.
- 21 BACAL, F. et al. 3^a diretriz brasileira de transplante cardíaco. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, Sociedade Brasileira de Cardiologia - SBC, v. 111, n. 2, p. 230–289, Aug 2018. ISSN 0066-782X. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/abc.20180153>>.
- 22 ANDRAUS, W. et al. Análise dos sistemas de alocação de órgãos para transplantes do aparelho digestivo no brasil. *Medicina (Ribeirão Preto)*, v. 46, n. 3, p. 237–242, 2013.
- 23 MOTA, D. de O. et al. São paulo state liver transplantation supply chain study. In: ELSEVIER. *Transplantation Proceedings*. [S.l.], 2020. v. 52, n. 5, p. 1247–1250.
- 24 VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. *Handbook of food engineering practice*. [S.l.]: CRC press, 1997.
- 25 GUERRA, C. I. C. et al. O custo que envolve a retirada de múltiplos órgãos. *Revista da Associação Médica Brasileira*, SciELO Brasil, v. 48, p. 156–162, 2002.
- 26 BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial*. [S.l.]: Bookman editora, 2009.
- 27 NOVAES, A. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2016.
- 28 BRASIL. Portaria nº 2.600, de 21 de outubro de 2009. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2009. ISSN 1677-7042. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2009/prt2600_21_10_2009.html>.
- 29 BRASIL. Decreto no 10.267, de 5 de março de 2020. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03\ato2019-2022/2020/decreto/D10267.htm>.
- 30 GARCIA, V. D. et al. *Por uma política de transplantes no Brasil*. [S.l.]: Office Editora São Paulo, 2002.
- 31 RATZ, W. *Indicadores de desempenho na logística do sistema nacional de transplantes: um estudo de caso*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.
- 32 SLACK, N. et al. *Administração da produção*. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2009. v. 2.

- 33 REY, M. F. Indicadores de desempenho logístico. *Revista Logmam*, v. 30, n. 10, p. 86–90, 1999.
- 34 AHUJA, R. K.; MAGNANTI, T. L.; ORLIN, J. B. *Network flows: theory, algorithms and applications*. [S.l.]: Prentice Hall, 1995.
- 35 VERGA, J. *Algoritmos para redes de transporte multimodal aplicado ao tráfego urbano*. Tese (Doutorado) — [sn], 2014.
- 36 ZILIASKOPOULOS, A.; WARDELL, W. An intermodal optimum path algorithm for multimodal networks with dynamic arc travel times and switching delays. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 125, n. 3, p. 486–502, 2000.
- 37 LIU, L.; MU, H.; YANG, J. Toward algorithms for multi-modal shortest path problem and their extension in urban transit network. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer, v. 28, p. 767–781, 2017.
- 38 KIRCHLER, D. *Efficient routing on multi-modal transportation networks*. Tese (Doutorado) — Ecole Polytechnique X, 2013.
- 39 GOLDBERG, A. V.; HARRELSON, C. Computing the shortest path: A search meets graph theory. In: *SODA*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 5, p. 156–165.
- 40 JING, X.; LIU, Y.; CAO, W. A hybrid genetic algorithm for route optimization in multimodal transport. In: IEEE. *2012 Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design*. [S.l.], 2012. v. 1, p. 261–264.
- 41 HEDI, A. et al. Hybrid algorithm for solving a multimodal transport problems using a transfer graph model. In: IEEE. *2009 Global Information Infrastructure Symposium*. [S.l.], 2009. p. 1–6.
- 42 KENGPOL, A.; TUAMMEE, S.; TUOMINEN, M. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *The International Journal of Logistics Management*, Emerald Group Publishing Limited, v. 25, n. 3, p. 581–610, 2014.
- 43 The International society for heart and lung transplantation. *ISHLT*. 2019. Disponível em: <<https://www.ishlt.org/>>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.