

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ESCOLA DE ENGENHARIA

Modelos de simulação para o apoio ao gerenciamento de estoque de hemocomponentes

Virgínia Silva Magalhães

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ESCOLA DE ENGENHARIA

Modelos de simulação para o apoio ao gerenciamento de estoque de hemocomponentes

Virgínia Silva Magalhães

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte
2018

Magalhães, Virgínia Silva.

Modelos de simulação para o apoio ao gerenciamento de estoque de hemocomponentes.

73 páginas

Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Simulação
2. Otimização via Simulação
3. Gerenciamento de Estoque
4. Transfusão Sanguínea
5. Hemocentro

I. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia de Produção.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Carlos Roberto Venâncio de Carvalho

Prof. Dr. João Flávio de Freitas Almeida

Prof. Dr. Marcelo Addas de Carvalho

Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

À Deus;
Aos meus pais, Elisabete e Manoel (in memoriam);
Aos meus irmãos Victor, Vinícius, Virgílio e Viviane.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, por nunca me abandonar, mesmo diante das dificuldades. Por ter me dado a força necessária para superar todos os desafios. E por me apresentar pessoas tão especiais ao longo desta caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Ricardo Pinto, pela valiosa orientação, confiança, carisma, paciência, amizade e alegria apresentada durante toda essa jornada, além de toda a experiência compartilhada.

Ao Marcelo Addas Carvalho, pela disposição e confiança no fornecimento dos registros de dados, imprescindíveis para a elaboração desta dissertação.

À minha família, especialmente aos meus pais, Elisabete e Manoel (in memoriam), e irmãos, Victor, Vinícius, Virgílio e Viviane, por toda força, amor incondicional, apoio pessoal e profissional, união, amizade e carinho.

Aos colegas do laboratório de simulação e do departamento, pelos conhecimentos compartilhados, os momentos de alegria proporcionados, pela confiança e amizade, que tornaram essa batalha menos árdua.

À todos meus amigos pelo convívio diário, apoio nos momentos de dificuldade, pelas conversas, brincadeiras e distrações, tornando a caminhada mais leve e prazerosa.

Por fim, agradeço à CAPES pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de
água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*
Madre Teresa de Calcuta

Resumo

O sangue é vital no cotidiano do ser humano. Muitas vezes lidamos com situações adversas que exigem reposição de sangue em nosso corpo, seja devido à realização de cirurgias, procedimentos hemoterápicos, tratamento de doenças crônicas ou outras disfunções. A reposição do sangue, por sua vez, é realizada de acordo com a compatibilidade sanguínea existente entre doador e receptor, e com tipo de hemocomponente necessário, conforme o diagnóstico apresentado pelo paciente. Gerenciar adequadamente a produção e o estoque de hemocomponentes se faz necessário uma vez que é essencial alcançar o equilíbrio entre oferta de sangue e a demanda de hemocomponentes, ambas com comportamentos estocásticos. O sistema é complexo e apresenta diversas aleatoriedades, que estão presentes na demanda, na coleta ou até mesmo nas perdas apresentadas pelos produtos sanguíneos, visto que os mesmos possuem uma vida útil bastante limitada. Outro ponto importante ligado ao suprimento desse recurso, refere-se à disparidade existente entre os ritmos de coleta do sangue e a demanda pelo mesmo. Enquanto a coleta apresenta sazonalidades associadas à disponibilidade de doadores e aos horários disponíveis para a realização dos procedimentos; a demanda, por sua vez, é aleatória pela sua própria natureza, apresentando picos e períodos de baixa necessidade. Nesse sentido, as metodologias de simulação são excelentes aliadas para representar o sistema, visto que são capazes de representar, com razoável precisão, as complexidades presentes no gerenciamento de estoque de hemocomponentes e apoiar a tomada de decisão de problemas envolvidos no mesmo. Nesse trabalho foi desenvolvido um modelo de simulação para representar o sistema de suprimento de sangue para hospitais. O modelo contempla a demanda por bolsas dos diversos tipos sanguíneos, a reposição dessas e o descarte daquelas que atingem o tempo de expiração. O modelo conceitual é implementado em *software* específico de simulação e validado através de dados reais, fornecidos por um hemocentro brasileiro de grande porte. Os dados foram tratados considerando-se tipos sanguíneos convencionais, hospitais mais demandados, tipos de hemocomponentes e cidades de origem dos pacientes. Um modelo de otimização via simulação também foi proposto e implementado no mesmo *software* usado para a simulação. O modelo tem como objetivo prever níveis mínimos de estoque, de forma a abastecer satisfatoriamente os hospitais selecionados, a partir de níveis aceitáveis para perdas e rupturas de estoque. Os resultados obtidos pelo modelo de otimização via simulação mostram um tamanho de estoque equivalente a 4 dias de consumo adequado para atender a demanda, com os níveis aceitáveis de perdas e rupturas. O ponto de reposição, por sua vez, apresentou-se com uma média equivalente a 2 dias de consumo.

Palavras chave: Simulação, Otimização via Simulação, Gerenciamento de Estoque, Transfusão Sanguínea, Hemocentro.

Abstract

Blood is vital in the daily life of the human being. We often deal with adverse situations that require blood replacement in our body, whether due to surgery, hemotherapy procedures, treatment of chronic diseases or other disorders. Blood replacement is performed according to the blood compatibility between donor and recipient, and with the type of blood components required, according to the diagnosis presented by the patient. Properly managing the production and stocking of blood components is necessary since it is essential to achieve the balance between blood supply and the demand for blood components, both with stochastic behaviors. The system is complex and presents several randomness, which are present in the demand, in the collection or even in the losses presented by the blood products, since they have a very limited useful life. Another important point related to the blood supply refers to the disparity between the rates of blood collection and the demand for it. While the collection presents seasonality, related to the availability of donors and the schedules available for carrying out the procedures; demand, in its turn, is random in nature, with peaks and periods of low need. Therefore, the simulation methodologies are suitable to depict these systems, since they are able to reproduce with reasonable precision the complexities of the stock management, of blood components, and to support the decision-making in that problems. In this work a simulation model was developed to depict the blood supply system for hospitals. The model is able to represent the demand for blood bags of each kind, the replacement of these and the disposal of those due to expiration time. The model is implemented in a simulation software and validated through real data, provided by a large Brazilian blood center. The data, on the other hand, are previously treated considering conventional blood types, hospitals with higher demand, most requested blood groups and cities where patients come from. A simulation-optimization model is also proposed and implemented in the same software used to simulation. The objective of this model is to predict minimum levels of stock, to satisfactorily supply the selected hospitals, from acceptable levels for disposal and stock shortages. The results obtained by the simulation-optimization model show a stock size equivalent to 4 days of adequate consumption to meet the demand, with acceptable levels of losses and ruptures. The replacement point, in turn, presented with an average equivalent of 2 days of consumption.

Keywords: Simulation, Simulation-Optimization, Inventory Management, Blood Transfusion, Blood Center.

Lista de Figuras

1.1	Processo de transfusão sanguínea.	2
1.2	Produtos obtidos a partir do sangue total coletado.	3
2.1	Processo de suprimentos do sangue.	9
4.1	Passos de um estudo de simulação.	21
4.2	Conceitos de verificação e validação.	22
4.3	Otimização via simulação.	23
5.1	Ordem de execução dos módulos no sistema.	26
5.2	Processo de retirada de bolsas do estoque por expiração.	27
5.3	Processo de reposição das bolsas.	29
5.4	Atendimento da demanda diária.	32
6.1	Seleção dos dados fornecidos pelo hemocentro da Unicamp.	40
6.2	Tipo sanguíneo dos pacientes que requerem transfusão de CH.	41
6.3	Tipo sanguíneo das bolsas de CH transfundidas.	41
6.4	Diferença percentual entre consumo e demanda de CH.	42
6.5	Quantitativo de transfusões sanguíneas para o CH.	42
8.1	Regime transitório x Regime permanente.	49
8.2	Percentual de perdas totais por replicação.	51
8.3	Percentual de rupturas totais por replicação.	51
8.4	Ordens de reposição entregue em data posterior a sua geração.	57
8.5	Ordens de reposição geradas ao final da semana.	57
8.6	Tamanho do estoque (dias) x Ponto de reposição (dias).	59
8.7	Ordens emitidas para as configurações 1, 2 e 3.	63
8.8	Ordens emitidas para os cenários 4, 5 e 6.	63
8.9	Ordens emitidas para as configurações 7, 8 e 9.	63
8.10	Ordens emitidas para a configuração 10.	63
8.11	Ordens emitidas para a configuração 11.	64
8.12	Ordens emitidas para a configuração 12.	64
8.13	Ordens emitidas para a configuração 13.	64

Lista de Tabelas

1.1	Compatibilidade sanguínea.	2
2.1	Fracionamento de uma bolsa de sangue.	10
3.1	Pesquisas em gestão de estoque de produtos sanguíneos.	14
5.1	Entidades das formulações.	26
5.2	Conjuntos das formulações.	26
5.3	Parâmetros das formulações.	26
5.4	Variáveis das formulações.	27
5.5	Tabela de controle do estoque de bolsas.	28
6.1	Considerações para o estudo.	41
6.2	Distribuição da demanda para o concentrado de hemácias.	43
7.1	Validação da demanda total	46
7.2	Validação da demanda média (%) e consumo médio (%).	46
8.1	Médias e desvios padrão apresentados pelas amostras das replicações.	50
8.2	Determinação do intervalo de confiança para o parâmetro de desempenho em estudo.	50
8.3	Variáveis de análise da simulação para cada tipo sanguíneo.	52
8.4	Dados de entrada para o cenário inicial.	52
8.5	Resultados iniciais da simulação computacional.	53
8.6	Limite dos controles.	54
8.7	Parâmetros de entrada do otimizador.	55
8.8	Resultado inicial da otimização via simulação para as variáveis de controle.	55
8.9	Resultado inicial obtido com 150 replicações no simulador.	56
8.10	Resultados médios obtidos para as demais variáveis, considerando 150 replicações.	56
8.11	Configurações dos cenários em estudo.	58
8.12	Resultados apresentados para as variáveis de controle.	59
8.13	Resultados obtidos pelos cenários com 150 replicações no simulador.	60
8.14	Resultados médios para as variáveis analisadas pelo simulador.	62
8.15	Valores apresentados para cálculo do fator de correção.	65
8.16	Resultados obtidos para os controles, função objetivo e demanda.	65
8.17	Resultados obtidos pelos cenários analisados, com 150 replicações no simulador.	66

Lista de Algoritmos

1	Pseudocódigo para modelagem da retirada de bolsas do estoque para descarte.	28
2	Pseudocódigo da modelagem que gera ordem diária para cada tipo sanguíneo.	30
3	Pseudocódigo da modelagem que determina o lead time final dos pedidos após determinação do lead time inicial.	30
4	Pseudocódigo da modelagem que incrementa a ordem gerada no estoque após o aguardo do lead time.	31
5	Pseudocódigo da modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda pelo mesmo tipo sanguíneo.	33
6	Pseudocódigo para modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda por tipos sanguíneos compatíveis.	34
7	Pseudocódigo para modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda, verificação final.	35

Lista de Abreviaturas

- CHEO:** Complexo Hospitalar Prefeito Edivaldo Orsi
- CH:** Concentrado de Hemácias
- CRIO:** Crioprecipitado
- CP:** Concentrado de Plaquetas
- HBC:** Hospital Boldrini de Campinas
- HCC:** Hospital das Clínicas de Campinas
- HMCP:** Hospital e Maternidade Celso Pierro
- HMGC:** Hospital Mário Gatti de Campinas
- IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IC:** Intervalo de Confiança
- KPI:** Key Performance Indicator
- OMS:** Organização Mundial de Saúde
- PDM:** Programação Dinâmica de Markov
- PFC:** Plasma Fresco Congelado
- PO:** Pesquisa Operacional
- PRP:** Plasma Rico em Plaquetas
- SPDM:** Associação Paulista para Desenvolvimento da Medicina
- SUS:** Sistema Único de Saúde
- UNICAMP:** Universidade Estadual de Campinas

Lista de Nomenclaturas

Hemocomponentes: Produto oriundo do sangue obtido por processos físicos.

Lead time: Tempo decorrido entre o pedido e a entrega de um produto.

Ponto de reposição: Nível do estoque, abaixo do qual deve haver reposição do produto.

Ruptura: Falta ou escassez de um produto.

Trade-off: Relação de conflito/ "perde-e-ganha".

Vida Útil: Tempo até o vencimento de um produto.

Warm Up: Termo em inglês referente ao tempo de aquecimento, ou seja, o tempo relativo ao período transiente de um sistema.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	O sangue e suas subdivisões	1
1.2	Contextualização	5
1.3	Justificativa	6
1.4	Objetivos	7
1.5	Organização do texto	7
2	Sistema de suprimento de sangue	9
2.1	Doação e coleta de sangue	9
2.2	Separação em hemocomponentes e armazenamento	10
2.3	Distribuição de sangue	11
3	Revisão de literatura	13
3.1	Gestão de estoque de produtos sanguíneos	13
3.2	Modelagens de simulação e/ou otimização no gerenciamento de produtos sanguíneos	15
4	Modelagem de simulação	20
4.1	Projeto de simulação	20
4.2	Otimização via simulação	22
5	Modelo conceitual	25
5.1	Modelo de simulação proposto	25
5.1.1	Retirada de bolsas do estoque por expiração	27
5.1.2	Solicitação de ordem de reposição	29
5.1.3	Retirada do estoque para atendimento de demanda	31
5.2	Modelo de otimização via simulação	35
6	O estudo de caso	38
6.1	Caracterização do problema	38
6.2	Premissas	39
6.3	Levantamento de dados	40
7	Verificação e validação do modelo	44
7.1	Verificação do modelo	44
7.2	Validação operacional do modelo	45

8 Experimentos computacionais e análise dos resultados	48
8.1 Simulação computacional	48
8.1.1 Parâmetros de execução do modelo de simulação	48
8.1.2 Variáveis analisadas	51
8.1.3 Cenário inicial para simulação computacional	52
8.2 Otimização via simulação	53
8.2.1 Definição inicial de parâmetros e configurações de execução do otimizador	53
8.2.2 Análise dos resultados obtidos	55
8.2.3 Outros cenários analisados	57
8.2.4 Análises adicionais consideradas	64
9 Conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros	67
Referências Bibliográficas	69

Capítulo 1

Introdução

O capítulo inicial apresenta características a respeito do assunto tratado ao longo da dissertação, através da contextualização do problema e apresentação das razões para o qual o trabalho foi desenvolvido. Também são exibidos, os objetivos a serem alcançados, bem como, a estrutura textual.

1.1 O sangue e suas subdivisões

O sangue é caracterizado como um dos componentes que compõem o sistema circulatório, sendo os outros dois, os vasos sanguíneos e o coração. É ele o responsável pelo transporte de oxigênio, nutrientes e hormônios, além de outras funções como proteção e regulação de todo o corpo humano. O corpo humano, por sua vez, apresenta em sua fase adulta, um volume de sangue próximo de cinco litros, separados em plasma, plaquetas, leucócitos e hemácias.

O plasma é a parte líquida do sangue, responsável pelo transporte das hemácias, plaquetas e leucócitos, além de outras substâncias dissolvidas, como as proteínas, os nutrientes, as excretas, os hormônios, as hemoglobinas, os sais e os gases. É ele que permite que as células recebam nutrientes e excretem substâncias geradas durante o metabolismo.

As hemácias são células responsáveis pelo transporte do oxigênio e parte do gás carbônico, feito através da hemoglobina. Já os leucócitos, também chamados de glóbulos brancos, são células que agem como barreiras contra os microorganismos estranhos ou causadores de doenças, além de destruir as células mortas e restos de tecidos. As plaquetas, por fim, são pequenas partículas de células presentes na medula óssea, responsáveis pela homeostasia primária.

Quando as taxas dos elementos descritos acima extrapolam os limites padrões de normalidade, devido a alguma doença adquirida ou lesão grave em que se perde muito sangue ou outro fluido que o corpo humano não consegue repor sozinho, torna-se necessário a realização de transfusão sanguínea.

A transfusão sanguínea é um procedimento que exige cuidado, controle e segurança, visto que um sangue contaminado pode levar o paciente a adquirir alguma doença, por vezes, incurável. Dentre os cuidados a serem tomados está a compatibilidade sanguínea

existente entre um doador e um paciente, e evidenciada a partir do confronto entre grupos sanguíneos ABO e antígenos (*RhD*).

Esse confronto é exibido através da Tabela 1.1, onde o grupo sanguíneo ABO corresponde as principais tipagens sanguíneas (A, B, AB e O), e o antígeno *RhD* sua característica secundária predominante, nesse caso com atribuição positiva ou negativa.

Tabela 1.1: Compatibilidade sanguínea.

	Doador								
	AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-	
Paciente	AB+	♥	♥	♥	♥	♥	♥	♥	♥
AB-		♥		♥		♥		♥	
A+			♥	♥			♥	♥	
A-				♥				♥	
B+					♥	♥	♥	♥	
B-						♥		♥	
O+							♥	♥	
O-								♥	

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde [2015].

A tabela acima mostra que o grupo sanguíneo O, também chamado de doador universal, pode doar para todos os outros grupos sanguíneos, entretanto, recebe apenas sangue do mesmo tipo sanguíneo. Já o grupo AB ou receptor universal, recebe sangue de todos os grupos sanguíneos, porém doa apenas para o próprio grupo. Em contrapartida, pessoas que apresentam antígeno RhD+ podem receber tanto de portadores de RhD+ quanto de RhD-, porém só doam para quem apresenta antígeno RhD+. Por outro lado, o portador do antígeno RhD- pode doar para ambos os tipos de RhD, entretanto só recebe de pessoas com RhD-.

O procedimento de transfusão de sangue só é efetivamente realizado no paciente, se houver êxito em um conjunto de etapas previamente definidas, conforme é mostrado na Figura 1.1.

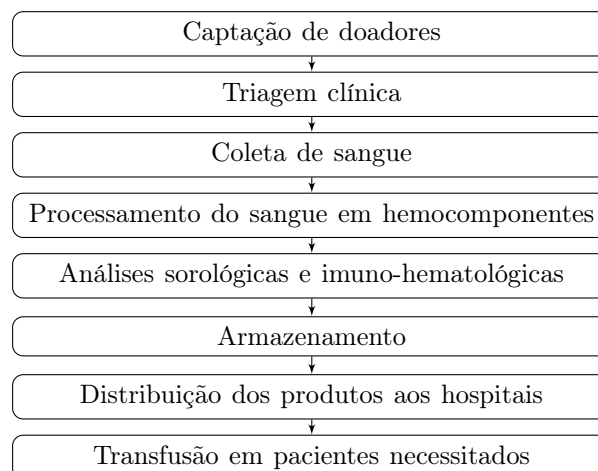


Figura 1.1: Processo de transfusão sanguínea.
Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde [2015].

A etapa de **captação de doadores** é caracterizada por dois tipos de doadores, voluntários e de reposição. Os doadores voluntários são aqueles cuja doação não advém de uma causa específica, realizam a doação sem ter conhecimento de quem vai receber o sangue. Esses doadores geralmente doam sangue frequentemente, de acordo com o intervalo mínimo estabelecido entre uma doação e outra. Já os chamados de doadores reposição se caracterizam por doações "*forçadas*", ou seja, aquelas em que há uma razão pessoal. Os doadores que encaixam neste último perfil geralmente apresentam um grau de parentesco próximo do paciente.

A **triagem clínica** permite que a doação seja feita com segurança e reduz os riscos de infecção nos pacientes que receberão a transfusão. Esta etapa é composta de perguntas a respeito dos hábitos do doador, a fim de certificar se o doador possui todos os pré-requisitos necessários à doação.

Na **coleta de sangue** é recolhido um volume aproximado de 450 ml de sangue dos pacientes aptos à doação, no qual posteriormente serão processados e separados em subcomponentes. A vida útil desses subcomponentes já começa a ser contabilizada nessa etapa.

A **etapa de processamento do sangue** engloba dois tipos de produtos, os hemocomponentes e os hemoderivados. Para o Ministério da Saúde [2015], a diferença entre eles é que os hemocomponentes são obtidos por meio de processos físicos, como o congelamento e a centrifugação do sangue coletado, enquanto que os hemoderivados, são obtidos a partir do fracionamento do plasma através de processos físico-químicos e em escala industrial. Ambos os tipos são obtidos de acordo com uma sequência, representada a partir da Figura 1.2.

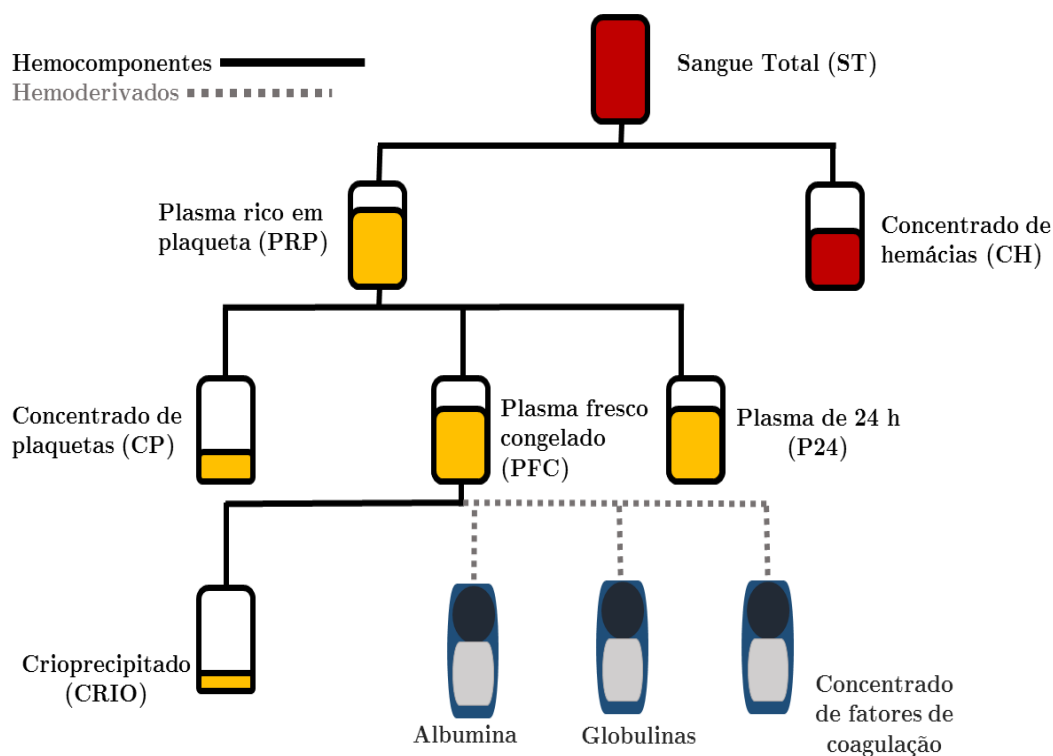


Figura 1.2: Produtos obtidos a partir do sangue total coletado.

Fonte: Guia de uso de hemocomponente, adaptado de Ministério da Saúde [2015].

Para esta pesquisa, serão abordados apenas os hemocomponentes, que são separados

em concentrado de hemácias, plasma fresco congelado, concentrado de plaquetas e crioprecipitado. Dentre esses, o primeiro se faz mais importante ao estudo, uma vez que sua proporção é de 1:1 (uma bolsa de sangue por unidade de sangue doado). O processo de obtenção de cada hemocomponente se dá a partir de uma sequência cronológica de atividades e apresenta características distintas, como por exemplo, vida útil, armazenamento e prescrição de uso.

A obtenção do Concentrado de Hemácias (CH) ocorre após a remoção (por centrifugação) de grande parte do plasma presente no sangue coletado. É indicado para pacientes com anemia e/ou que precisam restaurar a massa eritrocitária e o transporte oxigênio pelo corpo. Sua vida útil gira em torno de 35 a 42 dias (dependendo da solução conservadora), apresenta uma variação de volume de 220ml a 280ml, e deve ser conservado em refrigeradores com temperatura entre 2°C a 6°C (Ministério da Saúde [2015]).

Já o Concentrado de Plaquetas (CP) pode ser obtido centrifugando o sangue por duas vezes. Na primeira vez, uma leve centrifugação é realizada, a fim de obter o Plasma Rico em Plaquetas (PRP). Já na segunda, o PRP é centrifugado em uma velocidade mais alta, adquirindo assim, o CP. Uma bolsa de concentrado de plaquetas tem aproximadamente 50ml e deve ser conservada em agitação contínua, em temperatura entre 22°C \pm 2°C. Sua vida útil gira em torno de 5 dias e é utilizado em pacientes que apresentem disfunções plaquetárias ou sangramentos em que a contagem de plaquetas esteja inferior a 50.000/mm³. Também pode ser utilizado para prevenir sangramentos em procedimentos invasivos, naqueles pacientes que possuam baixa contagem de plaquetas ou disfunção plaquetária. (Ministério da Saúde [2015]).

O Plasma Fresco Congelado (PFC) é a porção acelular do sangue, obtido a partir da centrifugação de uma unidade de sangue total e transferência em circuito fechado para uma bolsa satélite. O sangue deve ser congelado completamente em até 8 horas e mantido a uma temperatura de, no máximo, 18°C negativos. É indicado nos casos de coagulopatias que não houver produtos disponíveis com fatores de coagulação em concentrações estáveis ou quando os mesmos apresentam-se com deficiências de múltiplos fatores. Sua vida útil, quando conservado em temperatura adequada (entre 25 °negativos e 18°C negativos), é de 12 meses. Porém, quando é mantido em temperaturas inferiores à 25°C negativos, sua vida útil se estende para 24 meses. Esse hemocomponente também pode ser obtido por procedimentos de aférese, entretanto, é realizado apenas em casos especiais, visto que essa prática não é autorizada no país (Ministério da Saúde [2015]). O volume da bolsa, por sua vez, varia entre 150 a 400 ml, dependendo da prática adotada (Hemocentro de Campinas [2010]).

Por fim tem-se o Crioprecipitado (CRIO), que é obtido ao descongelar uma unidade de plasma fresco congelado à temperatura de 1°C a 6°C, visto que é a parte insolúvel nessa temperatura. Após o descongelamento, o plasma sobrenadante é removido deixando-se na bolsa a proteína precipitada e 10-15 ml desse plasma. Esse material é então recongelado dentro do período de 1 hora e mantido em temperatura inferior a 20°C negativos, até que sua vida útil de 1 ano seja finalizada. É indicado para controle ou prevenção de hemorragias relacionadas à diminuição de fibrinogênio (fator I de coagulação) ou deficiência do fator XIII de coagulação (Ministério da Saúde [2015]).

As **análises sorológicas e imuno-hematológicas** ocorrem após o processamento dos hemocomponentes e visam assegurar que a transfusão sanguínea seja realizada com máxima segurança, além de prevenir reações transfusionais hemolíticas, como por exem-

plo, as causadas por incompatibilidade sanguínea, que se caracterizam em febre, dores, náuseas e outros. Segundo o Hemocentro de Campinas [2010], nestas análises é obrigatório a realização de testes relacionados a tipagem sanguínea (ABO/Rh), pesquisa de anticorpos irregulares (pai), prova de compatibilidade e reclassificação ABO/Rh do doador e receptor.

Ao final, os produtos sanguíneos obtidos durante o processo, caso sejam aprovados em todos os testes, são **armazenados** em um ambiente adequado (de acordo com as especificações do Ministério da Saúde) e **distribuídos** à hospitais e ambulatórios, para posterior **transfusão** no receptor.

1.2 Contextualização

A necessidade por sangue cresce constantemente com a evolução dos procedimentos que o demandam, seja por ser um produto vital, insubstituível e/ou por possuir uma vida útil limitada. Apesar do efeito da longevidade nos dias atuais, no que se diz à cuidados com a saúde, alimentos mais saudáveis, check-ups regulares e atividades físicas, possíveis patologias não são extintas do cotidiano. Nesse contexto, o uso de produtos sanguíneos para tratamentos, cirurgias e outros procedimentos médicos são requeridos, quando necessário.

Avanços tecnológicos têm sido realizados no âmbito dos substitutos, porém a demanda por sangue e seus subprodutos sempre vai existir. Sua utilização se dá por meio da prática de transfusão sanguínea que, por sua vez, deve-se exigir um cuidado minucioso, visto que envolve critérios e etapas a serem respeitados. Casos como traumatismos, anemias, hemorragias, cirurgias, hemodiálises, acidentes graves e outras situações em que há uma perda significativa de sangue, estão propícias a essa prática. As cirurgias mais modernas e mais complexas não seriam possíveis sem a utilização do sangue.

Em cirurgias e tratamentos, as demandas por sangue e seus componentes se apresentam de modo estável e previsível, com ocorrência de picos de demanda eventualmente. As doações, por outro lado, têm comportamento instável ao longo do tempo, dado que depende da vontade do ser humano, que, por sua vez, sofre influência de alguns fatores como mês, campanhas sociais ou cenários momentâneos.

Outro ponto fundamental é o cuidado com a disponibilização dos produtos sanguíneos, no local certo, no tempo desejado e na quantidade requerida. A falta desses, em momento adequado, pode gerar consequências fatais, uma vez que se lidam com "vidas". Logo, assegurar a disponibilidade do produto aos pacientes que necessitam de transfusão sanguínea é de suma importância ao hemocentro.

O hemocentro é o local onde ocorre a doação de sangue e obtenção dos produtos sanguíneos. Seu objetivo é maximizar a entrega de sangue dos doadores certos para os pacientes certos, dentro de um limite de tempo, com segurança. Os produtos sanguíneos, após obtidos, são armazenados em bolsas e posteriormente transfundidos. Cada hemocomponente possui uma característica própria, tanto no que se diz à sua funcionalidade sobre o corpo humano quanto à sua vida útil.

É importante a conscientização da sociedade quanto a doação de sangue. A doação permite que os estoques sejam mantidos de forma ativa, ou seja, sem escassez. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que a taxa de doadores de sangue seja de

no mínimo 10/1.000 habitantes ao ano. Segundo o Ministério da Saúde [2017], o Brasil se apresenta com uma taxa de 18/1.000 habitantes ao ano, desses 63% são doadores voluntários. Apesar de superar o mínimo recomendado pela OMS, essa taxa se apresenta baixa, visto que a meta é de 30/1.000 habitantes ao ano.

Saber gerenciar os produtos sanguíneos, diante as diversas aleatoriedades encontradas, é, portanto, um grande desafio. Assegurar a existência de estoques com dimensionamento adequado (devido vida útil dos produtos) nos centros de saúde, hospitais e clínicas, torna-se essencial para que se minimize a escassez e as perdas. A escassez de um produto, também conhecida como ruptura ou falta, representa a quantidade de bolsas faltantes para atender a demanda. Enquanto que, as perdas representam a quantidade de bolsas que são descartadas do estoque por atingir a data de vencimento.

Por outro lado, a complexidade existente no gerenciamento do estoque para este tipo de produto, faz com que sejam analisados fatores de toda sua cadeia de suprimentos. Quando mal gerenciado, o estoque de produtos sanguíneos contribui à altos gastos operacionais, além de comprometer a vida das pessoas. Dentre os principais "fatores-chave" influentes nesse gerenciamento estão o ponto de reposição e a tamanho do estoque. O ponto de reposição representa o nível mínimo que o estoque deve ser mantido, abaixo do qual deve ser gerado uma nova ordem de reposição. Já tamanho do estoque refere-se a capacidade do estoque. Saber lidar com eles, portanto, é um ponto crucial para minimização das perdas e escassez.

Na cadeia de suprimentos de sangue tanto demanda quanto oferta apresentam comportamentos estocásticos e difíceis de controlar, é ineficiente tratar do gerenciamento considerando apenas a experiência profissional. Com isso, o uso de ferramentas que propiciam o auxílio na tomada de decisão são relevantes. Nesse sentido, a Pesquisa Operacional (PO) é um método de aplicação da ciência que envolve diversas técnicas matemáticas importantes no apoio da tomada de decisão de problemas. Sendo, a otimização e a simulação computacional algumas das técnicas muito utilizadas em pesquisas que envolve produtos sanguíneos.

Portanto, é feito um estudo sobre o gerenciamento de estoque de bolsas de sangue, de cinco hospitais da região de Campinas, a fim de estabelecer uma modelagem de simulação computacional que represente o suprimento do estoque e da demanda de produtos sanguíneos. A otimização via simulação, é utilizada na tentativa de minimizar algumas variáveis de controle, como o tamanho e o ponto de reposição do estoque. A validação do modelo, nesse caso, é obtida por meio de dados disponibilizados pela Universidade de Campinas-Unicamp, envolvendo um histórico de transfusões sanguíneas realizadas durante cinco anos.

1.3 Justificativa

Ao observar uma notável deficiência de estudos na área e tendo em mãos um vasto banco de dados disponibilizados pelo hemocentro da Unicamp, surgiu o interesse em encontrar uma modelagem para representar o suprimento da demanda de produtos sanguíneos dos hospitais abastecidos pelo hemocentro. O tema possui um relevante impacto tanto no ramo da engenharia quanto na medicina. Enquanto o engenheiro tem como propósito a minimização dos custos, o médico vê a eficiência no compromisso com o doador

e a valorização do processo de suprimentos dos produtos sanguíneos.

Então, é proposto um modelo de simulação que representa o sistema de estoque de produtos sanguíneos e um modelo de otimização via simulação que determina o tamanho e o ponto de reposição do estoque, considerando níveis máximos de perdas e escassez. A escolha da simulação é dada pelas várias possibilidades que a ferramenta proporciona. Visto como um método da Pesquisa Operacional, a simulação é apropriada para tratar problemas tais como o abordado nesta pesquisa, uma vez que retrata um caso real através de um *software* computacional. O método permite que diversos cenários sejam criados e analisados, para que possíveis comportamentos sejam percebidos e tratados antecipadamente. Isso garante uma maior segurança no apoio a tomada de decisão, além de permitir que falhas ou mudanças inapropriadas sejam corrigidas.

Já a escolha da otimização via simulação é feita para que se tenha condições de minimizar variáveis relevantes ao problema, como tamanho e ponto de reposição do estoque, que por sua vez, só conseguem ser avaliadas através da simulação computacional. Esse método atua de forma iterativa até que uma condição de parada seja satisfeita, o que favorece a obtenção de resultados significativos.

1.4 Objetivos

O presente estudo utiliza uma metodologia baseada em modelagem de simulação capaz de representar o suprimento de hemocomponentes em hospitais, a partir de um hemocentro. A modelagem deve contemplar as aleatoriedades presentes nas demandas, perdas e rupturas, além das variações referentes à tipagem sanguínea e perecibilidade. Uma otimização via simulação também é proposta a fim de obter um estoque capaz de atender a demanda e obter a necessidade de coleta.

Especificamente é proposto:

- Desenvolver um modelo de simulação envolvendo a cadeia de suprimentos de hemocomponentes que seja aplicável a hospitais que adotam procedimentos de transfusões sanguíneas;
- Desenvolver um modelo de otimização via simulação, que seja capaz de reduzir as perdas e rupturas de produtos sanguíneos e realizar o atendimento da demanda dos hospitais selecionados;
- Utilizar o modelo de otimização via simulação para auxiliar no dimensionamento do tamanho e ponto de reposição dos estoques, nos hospitais selecionados que realizam transfusões sanguíneas, reduzindo os custos com eventuais descartes de bolsas e escassez, além de aumentar a eficiência do atendimento aos pacientes.

1.5 Organização do texto

De acordo com o conteúdo abordado nesta introdução, pode-se notar parte da complexidade presente no gerenciamento do estoque de produtos perecíveis e insubstituíveis, e, portanto, a necessidade de estudos voltados para esta área. Diante disso, é abordado

nesta pesquisa um estudo de caso para o problema mencionado, sob a seguinte estrutura textual:

No capítulo 2, uma revisão sobre o funcionamento do sistema de suprimento de sangue em estudo é realizada, abrangendo desde a coleta até a distribuição dos produtos nos hospitais. Já no capítulo 3, é apresentada uma revisão de literatura sobre os trabalhos existentes na área, bem como as técnicas utilizadas para tratar o problema. O capítulo 4, por sua vez, apresenta considerações da modelagem de simulação, seguido pelo capítulo 5, que representa a modelagem conceitual proposta ao problema tratado, ramificando-se em três processos distintos e complementares. A descrição do estudo de caso, bem como as premissas adotadas e o levantamento de dados é exibido no capítulo 6. As técnicas de verificação e validação do modelo, são abordadas no capítulo 7. Já os experimentos computacionais e as análises dos resultados são descritos no capítulo 8, que é seguido das considerações finais e sugestões para trabalhos futuros, no capítulo 9.

Capítulo 2

Sistema de suprimento de sangue

Os hemocentros e hospitais são organizações que apresentam necessidades quanto a aquisição de sangue e produtos sanguíneos, respectivamente. Essa necessidade está ligada a procedimentos transfusionais, seja para tratamento clínico, cirúrgico ou de emergência; e leva a buscar pessoas capacitadas à doação. Segundo o site do Hemocentro de Campinas, o propósito das organizações é atender a todos os indivíduos que demandam procedimentos hemoterápicos ou hematológicos, com eficiência, segurança e rapidez.

A cadeia de suprimentos de sangue é um sistema que integra todos os procedimentos e organizações de interesse, no qual abrange desde a captação dos doadores até a entrega do produto sanguíneo aos receptores a partir do procedimento de transfusão. Esse processo pode ser ilustrado genericamente pela figura 2.1 e se faz importante para redução dos gastos operacionais, aumento da eficiência de atendimento e compromisso com o doador, a fim de que o sangue doado seja utilizado da melhor forma possível.



Figura 2.1: Processo de suprimentos do sangue.

O processo é iniciado quando pessoas interessadas em doar sangue chegam aos hemocentros, em um ato de solidariedade, visto que o sangue é um produto que não pode ser comprado. No hemocentro, é realizado um conjunto de procedimentos envolvendo desde a coleta até a separação do sangue em hemocomponentes. Logo após, os hemocomponentes são encaminhados aos hospitais e demais unidades de distribuição que os requerem, para fins de transfusão.

2.1 Doação e coleta de sangue

Ao chegarem nos hemocentros, os candidatos a doadores passam por uma triagem, no qual é feito um questionário para verificar se estão habilitados à doação. O questionário

aborda questões relacionadas a idade, peso, uso de drogas e bebidas alcoólicas, gravidez, doenças, tratamentos, cirurgias, medicações, relações sexuais, entre outros. Seu objetivo é visar a segurança do doador e do receptor, de modo que os riscos de infecção sejam reduzidos. Os cidadãos aptos a realizarem o procedimento de doação são então encaminhados ao setor de coleta, onde é coletado um volume de sangue de aproximadamente 450 ml para doação e mais 25 ml para realização de exames clínicos. Todo o processo de doação leva em média 55 minutos para se concluir (IBAP [2017]), onde cerca de 10 minutos é destinado a coleta do sangue.

Alguns pontos críticos que impedem a coleta, além das questões do questionário inicial, estão relacionados à disponibilidade de doadores e à sazonalidade para realização dos procedimentos. A implicação da disponibilidade de doadores envolve fatores como feriados e férias, em que as pessoas costumam fazer ingestão de bebidas alcoólicas, viagens a passeio ou outras ações que reduzem interesse e/ou impedem a prática de doação. Já a realização dos procedimentos, envolve a sazonalidade relativa ao funcionamento das atividades, visto que os hemocentros ficam abertos apenas de segunda-feira a sexta-feira, nos turnos matutino e vespertino.

Além desses pontos críticos, a coleta também está propícia a perdas, sejam elas operacionais ou por validade. A existência da coleta de sangue e a disponibilidade do doador sangue não infere que o sangue seja efetivamente utilizado, uma vez que o sangue pode ser descartado no processo operacional, durante as análises microbiológicas devido a diversos fatores, ou então, pelo simples fato do produto sanguíneo não ter sido utilizado durante o seu período de vida útil.

2.2 Separação em hemocomponentes e armazenamento

O sangue coletado é encaminhado ao setor de processamento, onde é separado em hemocomponentes, a partir de processos físicos de centrifugação e congelamento. A coleta de uma bolsa de sangue de aproximadamente 450 ml se decompõe em até quatro hemocomponentes (Figura 2.1). Cada hemocomponente é armazenado em bolsas com as seguintes composições e volumes:

Tabela 2.1: Fracionamento de uma bolsa de sangue.

Hemocomponentes	Composição	Volume da Bolsa
Concentrado de Hemácias	Grande quantidades de hemácias e pequenas quantidade de leucócitos, plasma, plaquetas, além de solução anticoagulante.	220 – 280 ml
Concentrado de Plaquetas	Grande quantidade de plaquetas.	50 ml – 60ml (coleta normal) 200ml – 300 ml (coleta por aférese)
Crioprecipitado	Plasma fresco congelado a 4°C.	10 ml – 15 ml
Plasma Fresco Congelado	Porção líquida do sangue que contem agua, proteína e íons, entre outros.	>180ml

Fonte: Ministério da Saúde [2015].

O uso de soluções anticoagulantes em algumas composições dos hemocomponentes permite a conservação dos produtos sanguíneos, pois impedem sua coagulação e tam-

bém mantem as células vivas durante o armazenamento. Essas soluções também podem apresentar soluções aditivas, que podem ajudar a aumentar a sobrevivência, em alguns casos. Porém, quando há alguma irregularidade no processo, a bolsa de sangue deve ser descartada, impossibilitando o uso da mesma para fins de transfusão sanguínea.

As bolsas de hemocomponentes são mantidas em estoques nos hemocentros, com temperaturas apropriadas, até que sejam encaminhadas aos hospitais necessitados ou descartadas devido o prazo de validade das mesmas terem sido expiradas. O transporte dos produtos sanguíneos, até os hospitais demandados, deve ser feito conforme às especificações de viabilidade do produto. Os hospitais, por sua vez, devem dispor de estoques internos, também com temperaturas adequadas, para armazenar os produtos sanguíneos até que seja realizada a transfusão sanguínea ou até que sejam descartados por desatualização.

Os estoques dos hospitais têm como propósito dispor produtos sanguíneos para atender determinadas demandas que já contam com procedimentos agendados, como é o caso de cirurgias e procedimentos clínicos (quimioterapias, transplantes de medula óssea, entre outro); e também para cobrir eventualidades diárias que não se podem antever, como por exemplo, acidentes graves e outros serviços de emergência. Os níveis dos estoques mantidos devem ser capazes de atender todas as demandas requeridas, até que novas ordens de pedidos sejam geradas e os estoques abastecidos.

O tempo decorrido entre a realização de um pedido até sua entrega no hospital pode variar entre 3 a até 24 horas, visto que o hospital pode estar localizado distante do hemocentro ou ser uma região de difícil acesso. A demora na entrega também pode estar relacionada ao fluxo do trânsito, as condições climáticas ou a falta do produto requerido no hemocentro.

2.3 Distribuição de sangue

O ritmo da chegada de sangue nos hemocentros é diferente do ritmo da sua saída, em forma de produtos sanguíneos, para os hospitais e ambulatorios. No mesmo contexto, ocorre entre hospitais e ambulatorios, cujos ritmos de chegada de bolsas e transfusões são diferentes dos ritmos apresentados pelo hemocentro.

Para fins explicativos, pode-se considerar duas fases na distribuição dos produtos sanguíneos, que estão diretamente relacionadas. A primeira fase refere-se às demandas que cada hospital requer do hemocentro, cujo ritmo depende da política de estoque adotada pelo hospital e dos tipos sanguíneos. Já a segunda, trata-se daquelas demandas que são requeridas pelos pacientes que chegam ao hospital para atendimento médico e necessitam de procedimentos de transfusão sanguínea. Essa última fase é aleatória por sua própria natureza, e apresenta picos e períodos de baixa necessidade, já que os pacientes podem chegar ao hospital (funcionamento 24 horas) a qualquer momento e requerer o serviço.

As perdas e escassez são consequências apresentadas em ambas as demandas, seja devido à expiração do produto ou à falta para suprir essas demandas. A complexidade de lidar com esses contratemplos ocorre devido a aleatoriedade presente na demanda. Entretanto, um bom gerenciamento e dimensionamento do estoque, pode ser capaz de minimizar essas consequências. O histórico de transfusões torna-se um grande aliado nesse contexto. Outro fator com considerável importância trata-se da propensão que

cada região tem por determinadas tipagens sanguíneas. Cada região pode apresentar uma demanda maior para alguns grupos sanguíneos do que outros.

Capítulo 3

Revisão de literatura

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre a gestão de estoque de produtos sanguíneos, bem como métodos de otimização e simulação, a fim de obter resultados significativos.

Sabe-se que a gestão de estoque em uma organização é fundamental para que se possa acompanhar o fluxo de produtos que entram e saem no sistema, e assim alcançar vantagem competitiva no mercado (Martins e Alt [2009]). Esse alcance é obtido ao realizar ações estratégicas, como por exemplo, determinar a quantidade a ser requerida, de modo que o estoque não se apresente escasso, mas também que não haja perdas ou estoques altos. Além disso, quando se trata de produto perecível, um cuidado maior com o estoque deve-se ter, visto que os produtos podem estragar em um curto espaço de tempo ou se tornarem obsoletos. Nesse caso, a quantidade de reposição não vai depender apenas da quantidade de produtos em estoque, mas também da validade apresentada pelo mesmo (Cooper et al. [2016]).

Segundo Beulke e Berto [2001], a falta de controle do estoque pode implicar em desperdício, mau uso, ociosidades, desvios, entre outros. Na área de saúde, como é o caso de hospitais e hemocentros, essas implicações podem ter consequências graves, visto que lidam com a saúde do usuário. Logo, uma boa gestão de estoque é essencial para que a organização mantenha suas atividades ativas e reduza os gastos associados ao mesmo. O estoque, por sua vez, deve ser capaz de atender a toda demanda e ter um baixo custo de manutenção.

3.1 Gestão de estoque de produtos sanguíneos

O suprimento de sangue é essencial para maioria da população e para o setor de saúde, logo, o equilíbrio de fatores como, perdas e escassez, se faz presente em sua gestão (Guobjornsdottir [2015]). Para Rytilla e Spens [2006] e Baesler et al. [2014], uma boa gestão deve procurar atender toda a demanda e minimizar a quantidade de bolsas de sangue que são perdidas por causa de sua vida útil curta.

Segundo Baesler et al. [2014], a cadeia de suprimentos de sangue assemelha-se à uma cadeia logística tradicional e apresenta etapas de coleta do sangue, processamento, separação em componentes, armazenamento, transporte e por fim, a transfusão. Porém, o

que a torna mais complexa que a tradicional, é o comportamento estocástico e difícil de controlar apresentado pela oferta e demanda do mesmo.

O sangue é caracterizado como um produto de natureza perecível, com incertezas tanto na oferta quanto na demanda e no estoque. Algumas organizações, como é o caso dos supermercados, enfrentam situações similares às apresentadas na cadeia de suprimento de sangue, seja na variedade limitada, vida útil de prateleira curta, níveis de qualidade rigorosos ou substituição na procura; porém a complexidade da cadeia de sangue é maior. Sua substituição, por exemplo, poderia reduzir os riscos relacionados à desperdício, porém não é aconselhável o fornecimento de substitutos do sangue nessa área de transfusão (Jonsson [2008]; Cooper et al. [1997]; Wisner et al. [2012]; Cooper et al. [2016]).

Nesse contexto, teorias matemáticas e algoritmos especiais têm sido criados, de forma a se ter um controle mais eficiente. Assim, trabalhos sob diversos enfoques vêm sendo publicados na área, conforme pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Pesquisas em gestão de estoque de produtos sanguíneos.

Área	Autor(es)	Contribuições
Operações de estoque tradicional	Woo e Nacke [2006];	Aborda um procedimento pouco invasivo que requer menor quantidade de sangue para transfusão e necessita de tempo menor de hospitalização.
	Atkinson et al. [2012];	Propõe uma política de alocação de bolsas de sangue com o limite de 14 dias para reduzir significativamente a idade do sangue transfundido, o que reduz a morbidade e mortalidade.
	Wisner et al. [2012];	Trata da integração dos processos na cadeia de suprimentos. Se uma atividade falha, ou é desempenhada de forma insatisfatória, então todo o fluxo é rompido, colocando em risco a eficiência de toda a cadeia de suprimentos.
	Baesler et al. [2014];	Utiliza a simulação para modelar o estoque de hemocomponentes em hemocentros, de forma a aumentar a capacidade do sistema de atender às necessidades dos pacientes.
Administração do sangue	Cooper et al. [1997];	Estuda a gestão da cadeia de suprimentos como uma integração dos processos de negócio a partir dos usuários finais até os fornecedores originais.
	Katsalaki [2008];	Implementa regras para melhorar a gestão dos bancos de sangue nos hospitais, a partir de um sistema de controle em tempo real, onde deve-se atualizar o nível ótimo de estoque, determinar o ponto de pedido, políticas de entrega. Isso leva à redução de custos e gera o aumento da segurança.
	An et al. [2011];	Desenvolve um sistema de simulação básico que projeta a variação semanal nas doações, requisições e disponibilidade das unidades de sangue. A simulação permite controlar diversos parâmetros e possui a habilidade de instigar um choque no fornecimento, um pico de demanda e uma melhora no recrutamento.
Otimização de um produto sanguíneo	Kopach et al. [2008];	Fornecer ferramentas aprimoradas para gerenciar o fornecimento de CH's, dadas as novas necessidades decorrentes da extensão das datas de vencimento, enquanto leva em consideração uma política de multi camadas de controle de sangue, baseada em duas taxas de demanda (urgente e não-urgente).
	Haijema et al. [2007];	Os autores focam na produção e no gerenciamento de estoque de plaquetas em um banco de sangue. Plaquetas se deterioram rapidamente e podem ser usadas com uma idade de 5-7 dias. Utilizam uma combinação de programação dinâmica de Markov e simulação em um estudo de caso real.
	Haijema et al. [2009];	É apresentada uma nova abordagem que combina programação dinâmica estocástica e simulação que fornece regras de pedido simples e práticas que são quase ótimas. O artigo em questão estende a combinação SDP-Simulação para incluir as pausas nas doações de sangue, como por exemplo na Páscoa e no Natal.
	Van Dijk et al. [2009];	É apresentada uma nova abordagem que combina programação dinâmica estocástica e simulação que fornece regras de pedido simples e práticas que são quase ótimas.
Métodos e efeitos para aumentar vida útil do produto	Cumming et al. [1977];	Propõe congelar algumas bolsas de sangue no período em que há excesso do mesmo e utilizá-las nos períodos de falta (período de férias), para aliviar a escassez, mas isso se dá a um custo alto.
	Pegels et al. [1977];	Avaliam quatro políticas: uso de CH's congelados (uma alternativa tecnológica), extensão do tempo de vida do sangue fresco (de 21 para 28 dias, uma alternativa legal), melhorar o planejamento da coleta (uma alternativa de planejamento) e melhorar o gerenciamento do estoque (uma alternativa de gestão).
	Hess [2004];	Utiliza a técnica de congelamento de CH como uma tecnologia valiosa para preservar unidades de fenótipo raro. Com isso, os CH's descongelados são utilizados mais facilmente em procedimentos cirúrgicos.
Viabilidade	Lowalekar e Ravi [2017]	Demonstra a aplicação das ferramentas do Thinking Process no contexto de grandes bancos de sangue na Índia, onde identificam a causa raiz do problema e a eliminam usando um conjunto de soluções simples e poderosas. Também demonstram como a Teoria das Restrições melhorara significativamente o desempenho operacional e financeiro dos bancos de sangue.

Existem ainda várias outras abordagens de gestão de estoque para produtos sanguíneos, porém, Cooper et al. [2016] relata que até então, na literatura pesquisada, não há

nenhum cálculo que permita dimensionar metas de estoque para esse tipo de produto, logo, uma cautela maior deve ser obtida em sua gestão de estoque, visto que seu prazo de validade ser de 21 a 35 dias dependendo de como é coletado (Portaria 1.353 do Ministério da Saúde).

Por outro lado, Guobjornsdottir [2015] diz que o nível ideal de estoque pode ser estimado, em certo período de tempo, a partir de estratégias traçadas com uso de dados históricos e modelo de simulação.

3.2 Modelagens de simulação e/ou otimização no gerenciamento de produtos sanguíneos

A simulação é um método que vem sendo bastante utilizado em estudos de gestão de estoque de produtos sanguíneos, devido à complexidade apresentada no que diz respeito a sua vida útil legal de 21 dias e sua oferta e demanda aleatórias (Civelek et al. [2015]).

Jennings [1973] em seu estudo, trata o problema de gestão de estoque de sangue com um modelo e analisa, via simulação, a viabilidade do modelo e os efeitos de diferentes políticas alternativas de estoque. Para isso, é usado um sistema de gestão de estoque com tempo discreto para produtos perecíveis que possui fluxos de demanda distintos e para produtos com vida útil diferentes.

Já Rabinowitz [1973] e Vrat e Khan [1976] propõem um modelo computacional de um sistema de inventário de banco de sangue para determinar políticas sobre desperdício de sangue e sobre o controle de escassez. A simulação, nesse caso, apresenta minuciosamente todos os aspectos presentes na logística de um estoque de banco de sangue. Rabinowitz [1973] trabalha na análise de três estoques de bancos de sangue distintos, sob diversas condições operacionais, e conclui que apesar das políticas testadas apresentarem bons resultados, o efeito obtido para o nível de escassez foi pouco. Já Vrat e Khan [1976] analisam o estoque de sangue de um hospital e utiliza do conceito de modelo de Naddor [1966] em sua investigação. Os autores relatam inconsistências em resultados de alguns grupos sanguíneos, que possivelmente se resolveriam com a coleta de mais dados. Eles também limitam seu estudo, quando não analisam a possibilidade de substituir um grupo sanguíneo por outro que seja compatível.

Haijema et al. [2007] realiza um estudo sobre o estoque de plaquetas de sangue, que são extremamente necessárias e ao mesmo tempo possuem um tempo de vida entre 5 e 7 dias, além de uma demanda altamente variável e incerta. Os autores apresentam uma abordagem combinada de Programação Dinâmica de Markov (PDM) e simulação para encontrar regras de fornecimento do produto em um banco de sangue holandês. Os mesmos afirmam que é possível encontrar regras muito boas de fornecimento, fáceis de implementar e sendo “quase otimizadas”. Existem outros autores que também abordam a temática do estoque de plaquetas, devido seu desperdício significativo nos hospitais junto as limitações já apresentadas. Dentre estes autores estão Abdulwahab e Wahab [2014], que desenvolvem um modelo de inventário de estoque usando programação dinâmica aproximada onde analisa alternativas de políticas de controle de estoque e avalia-se quatro medidas de eficácia, sendo elas a escassez de plaquetas no sangue, a desatualização, o nível de inventário e a recompensa obtida. E Rajendran e Ravidran [2017], que criam um modelo de simulação, onde é abordado todas as atividades associadas à cadeia

de suprimento, a fim de comparar políticas de inventários de bancos de sangue diferentes com o objetivo de minimizar as perdas de plaquetas para preservar um nível de qualidade no sangue estocado.

Outras abordagens de Markov são utilizadas nos trabalhos de Pierskalla [2005], Boppana e Chalasani [2007] e Haijema [2013]. O primeiro autor usa o modelo de Markov em tempo contínuo, para investigar situações de emergência quando a demanda por um produto sanguíneo aumenta significativamente. O modelo permite mostrar como mudam as taxas de aquisição e tempo máximo de armazenamento de certo produto, para um determinado nível de disponibilidade. Os segundos autores aplicam os modelos de Markov para determinar taxas de aquisição de sangue adequadas, de forma que a quantidade de sangue coletada e processada e o desperdício (devido a vida útil curta de alguns produtos sanguíneos) sejam minimizados. Já Haijema [2013], aborda o Problema de Decisão de Markov a fim de determinar políticas de ordem de pedidos ótima em estoques de sangue, inicialmente em um único hospital e, posteriormente, em um grupo de hospitais. A análise de viabilidade usando a simulação computacional, nesse caso, foi documentada para se verificar, posteriormente, sistemas específicos.

Há também aqueles que abordam outro componente, o concentrado de hemácias. Stanger et al. [2012] apresentam em seu estudo o gerenciamento de inventário do concentrado de hemácias em laboratórios de transfusão hospitalar. Suas pesquisas são de caráter exploratório e realizadas por meio de entrevistas. Nesse caso, os autores buscam por princípios que trarão melhores práticas na gestão do inventário, além de recomendações para que as perdas sejam minimizadas. Os autores descobrem que o bom desempenho de um inventário é movido pela qualidade dos profissionais de laboratório, que devem se apresentar especializados, treinados e experientes. Outros fatores como a transparência do inventário, gerenciamento simples e sinalização cruzada eletrônica, também facilitam o bom desempenho. Já Dumkrieger et al. [2014] avaliam o tempo de vida útil desse componente quando se trata do suprimento de sangue em um centro clínico. Os autores utilizam a simulação de eventos discretos para estudar os cenários e ponderam que com uma vida útil máxima de 28 dias, o componente é suportável nas condições atuais, o que não teria os mesmos efeitos caso a vida útil máxima fosse de 21 dias. Eles também alertam as diferenças existentes nos resultados apresentados por *softwares* diferentes, quando se trata dos mesmos cenários. Para eles, o modelo apresentado por um dos *softwares* subestima as perdas de desatualização e não fornece informações sustentáveis a respeito do aumento do estoque necessário. No estudo de Puranam et al. [2017], objetiva-se o gerenciamento de concentrado de hemácias em um grande centro médico regional de transfusão sanguínea. Os autores consideram em seu estudo múltiplas fontes independentes de fornecimento. Dependendo da fonte de fornecimento, a vida média do produto é mais curta. Logo, um programa dinâmico é proposto pelos autores, a fim de minimizar custos em vários períodos.

Mendonca et al. [2010] abordam técnicas baseadas em modelos de simulação, para auxiliar os tomadores de decisão a melhorar os processos relacionados a quantidade de amostras de sangue e coleta de sangue em uma das maiores e mais diversificada instituições de saúde do Canadá. A simulação é utilizada de forma estratégica para se chegar a soluções para os atrasos no processo e também para propor recomendações ao mesmo. Os processos, por sua vez, foram diagnosticados de acordo com os procedimentos operacionais padrão e outras técnicas hospitalares e comparados com outros sistemas de análise e coleta de sangue.

Já Gurgel e Do Carmo [2014] estudam adaptação as técnicas de dimensionamento de estoques utilizadas em um banco de sangue do exterior, em um hemocentro do Brasil. O hemocentro brasileiro apresentou-se até então dificuldades em estabelecer parâmetros para controle do estoque e em dimensionar a demanda a partir dos hemocomponentes. Com as técnicas presentes no modelo adaptado, observou-se a adequação da gestão de estoques em alguns casos. O controle consiste em aumentar os serviços de hemoterapia, de modo que a escassez e as perdas do sangue coletado sejam reduzidas, porém o modelo em estudo pelos autores não é eficaz a todos os produtos derivados do sangue, o que faz com que cada produto utilize um modelo específico em sua análise.

An et al. [2011] propõem um simulador estocástico que represente um centro de sangue dos Estados Unidos, que possui picos na demanda da doação dos produtos sanguíneos e choque na oferta. O objetivo principal é avaliar os possíveis impactos causados na disponibilidade do sangue quando ocorre uma epidemia ou algo parecido. Os autores desenvolvem um modelo multiestado, ou seja, que haja transições entre estados. É trabalhado entre três estados, pessoas que nunca doam, doadores esporádicos e doadores regulares. Eles relatam que o tempo e a duração de recrutar doadores sejam elementos-chave para amenizar os efeitos de um choque no sistema.

Baesler et al. [2011] já procuram determinar a capacidade de produção máxima de um centro de sangue no Chile, além de propor mudanças para uma possível expansão futura. Eles utilizam a simulação e replicam o modelo para investigar seu comportamento e avaliar futuras expansões. Ferramentas de gerenciamento de operações são aplicadas para auxiliar na modelagem e também para propor melhorias ao processo de produção. Com este estudo, eles perceberam que não é necessário realizar grandes mudanças para aumentar integralmente a absorção da demanda de sangue. Também concluíram que as técnicas utilizadas são boas para se investigar os gargalos no processo, o que é significativo no auxílio a tomada de decisão de uma futura expansão.

Outros autores buscam métodos para melhorar a eficiência do desempenho no gerenciamento e fornecimento de sangue. Rytilla e Spens [2006], usam a simulação como ferramenta em sua pesquisa para aumentar a eficiência do uso do recurso escasso na gestão das cadeias de suprimentos de sangue em centros de saúde na Finlândia. Os autores aplicam a modelagem de eventos discretos nos serviços de transfusões sanguíneas e utilizam informações médicas para refinar o modelo. Eles acreditam, com o uso da simulação, que decisões menos arriscadas possam ser tomadas e que os sistemas podem se tornar mais compreensíveis e eficientes. Por outro lado, os autores não garantem a validade da modelagem, pelos mesmos serem simplificações de uma abordagem real, mas, que se usados com senso, se tornam uma ferramenta importante no gerenciamento de riscos e incertezas nesta área. Já Silva Filho et al. [2013], estudam a distribuição dos componentes sanguíneos de uma cadeia de sangue a partir da previsão da demanda, utilizando modelagem computacional. Para eles, uma boa previsão de demanda influencia na qualidade do processo de planejamento, que por sua vez, influencia na eficiência do desempenho no centro de sangue.

Existem também propostas de modelos de simulação híbridos para melhorar a eficiência da gestão, conforme apresentado por Onggo [2014]. O autor usa pelo menos dois diferentes métodos de simulação (por exemplo, simulação dinâmica, evento discreto, baseado em agente), para simular a cadeia de suprimento de sangue de países de baixa e média renda que possuem características distintas as apresentadas pelas cadeias de suprimentos de sangue de países com alta renda. Seu artigo aborda três elementos, os módulos, as

interfaces dos módulos e as regras de atualização. Para cada elemento pode ser usado um método diferente de simulação e a conexão existente entre eles que irá definir a informação a ser utilizada. Já as regras de atualização vão definir como as informações enviadas de um módulo afetam os demais. Em teoria, os três elementos são consistentes com a estrutura integrada, porém a implementação conceitual não foi concluída neste artigo.

Para Lowalekar e Ravichandran [2014], a importância de um estudo se dá no gerenciamento de estoque de um banco de sangue na Índia, visto que o sistema de banco de sangue indiano é diferente dos sistemas ocidentais em alguns quesitos como, coleta, armazenamento, processamento, uso e transfusão. Eles abordam a relação existente entre a gestão de estoques de um banco de sangue “formais” com os bancos de sangue indianos e identifica fatores peculiares apresentados no contexto indiano. Além disso, os autores identificam vários pequenos modelos aplicáveis nos bancos de sangue indianos e relatam que a diferença existente entre oferta e demanda só seria gerenciável, na Índia, caso fossem aplicadas estratégias eficazes e bem-sucedidas. Em outro trabalho posterior, Lowalekar e Ravi [2017] realiza uma pesquisa com o objetivo de demonstrar a aplicação da teoria das restrições no banco de sangue indiano. Os autores mostram como os problemas enfrentados pelo banco tem uma ligação forte e como eles surgem de uma causa específica. No trabalho são usados, árvore de realidade atual, para identificar a causa principal dos problemas; diagrama de conflitos, para identificar os principais conflitos que causam mau desempenho no banco de sangue; e árvore de realidade futura, para mostrar como a teoria das restrições ajuda a reduzir as perdas e escassez, embora a quantidade coletada seja menor. Os autores também relatam um aumento na receita do banco de sangue, redução nas despesas operacionais e taxa de erro, com a abordagem da teoria das restrições.

Já Geronimo e Antonelli [2016] estudam todos os fatores envolvidos no Banco de Sangue de Maringá, seja pessoas, processos, procedimentos e outros. Nesse caso, os autores utilizam técnicas de modelagem e simulação dinâmica, no qual usam de entrevistas e questionários para complementar as informações necessárias na coleta de dados e para que a modelagem esteja favorável ao cenário. Para complementar são apresentadas distribuições estatísticas e tabelas do modelo.

Os autores Desalvo et al. [2011] estudam a previsão de demanda para transfusões sanguíneas, em uma cidade da Itália. Foram analisadas características relacionadas a idade e grupo sanguíneo. Uma desvantagem encontrada, relaciona-se ao surgimento de novos usos terapêuticos, que não são previstos neste estudo.

Outro estudo, dessa vez realizado por Kretchy et al. [2017], busca investigar a distribuição dos grupos sanguíneos e fator RhD na região leste de Gana, de maneira que o inventário do banco de sangue da região seja efetivo. Os dados são coletados de quatro centros de cuidados à saúde da região. Os autores percebem incompatibilidade nas características de grupo sanguíneo e fator RhD para uma população de doadores ao invés de receptores, que possivelmente ocorre devido a evolução do grupo sanguíneo tipo O na respectiva região. Como a escassez surge, muitas vezes, devido à falta de sangue para determinado grupo sanguíneo, os autores recomendam a adoção de uma política de estoque O+ que seja suficiente para os procedimentos de transfusão.

Todos esses estudos mostram a importância do gerenciamento do produto sanguíneo, um recurso vital e insubstituível. Nota-se que grande parte dos estudos utilizam metodologias de simulação a fim de minimizar os fatores escassez, desperdício e custos relacionados ao inventário do produto sanguíneo (Lowalekar e Ravi [2017]).

Neste trabalho, utiliza-se a simulação de eventos discretos e uma técnica pouco abordada na literatura pesquisada, a otimização via simulação. O uso da otimização via simulação permite que os tomadores de decisão tenham mais segurança no gerenciamento de estoques de produtos sanguíneos, determinando um tamanho mínimo de estoque, capaz de atender a demanda e manter perdas e escassez dentro de níveis aceitáveis. Essa técnica quando aplicada ao gerenciamento de sangue tem relevância científica e pode ser considerada até mesmo inédita sob inúmeros aspectos.

Capítulo 4

Modelagem de simulação

Esta dissertação compreende um estudo de caso sobre o dimensionamento adequado de estoque de produtos sanguíneos para alguns hospitais pré-determinados. O dimensionamento do estoque reflete tanto o tamanho requerido para o estoque quanto ao nível do estoque para que seja feita uma nova reposição. Devido a complexidade apresentada por este problema, é proposta uma metodologia que integra um projeto de simulação e junto a uma otimização via simulação.

4.1 Projeto de simulação

A simulação caracteriza-se por uma imitação, feita no computador, de um processo ou sistema real que pode ser operado definida ou indefinidamente. Enquanto em tempo real um processo pode ser verificado em anos, a simulação pode verificar com um intervalo de tempo em segundos (devido a velocidade computacional). Com isso, os resultados de vários cenários podem ser comparados, em curto intervalo de tempo, para que se escolha uma opção melhor (Hillier e Lieberman [2013]; Azadeh et al. [2008]; D’Ambrogio et al. [2009]; Law e Kelton [2000]).

A simulação computacional é utilizada para prever dados que não se tem conhecimento, para fins heurísticos ou para gerar compreensão dos dados já existentes. Quando se trata em prever dados desconhecidos, procura-se respostas sobre como se comportar à determinadas circunstâncias (não conhecidas) do mundo real, com base em alguns aspectos já determinados. Já quando utilizada para fins heurísticos, busca-se explorar informações necessárias para nós mesmos ou para apresentar conhecimento aos outros. Por fim, as simulações feitas para compreender os dados já existentes objetivam-se responder a perguntas sobre como esses eventos poderiam ter ocorrido, ou sobre como esses eventos realmente ocorreram (Winsberg [2013]).

Nesta pesquisa, buscam-se compreender o dimensionamento dos estoques de produtos sanguíneos em hospitais, a partir de um banco de dados que contém registros de transfusões sanguíneas realizadas durante cinco anos (2011-2015), em um hemocentro de Campinas. Mas, para que o estudo seja efetivo, um conjunto de passos sequenciais e regressáveis (caso necessário) devem ser realizados e obedecidos, conforme é mostrado pela Figura 4.1.

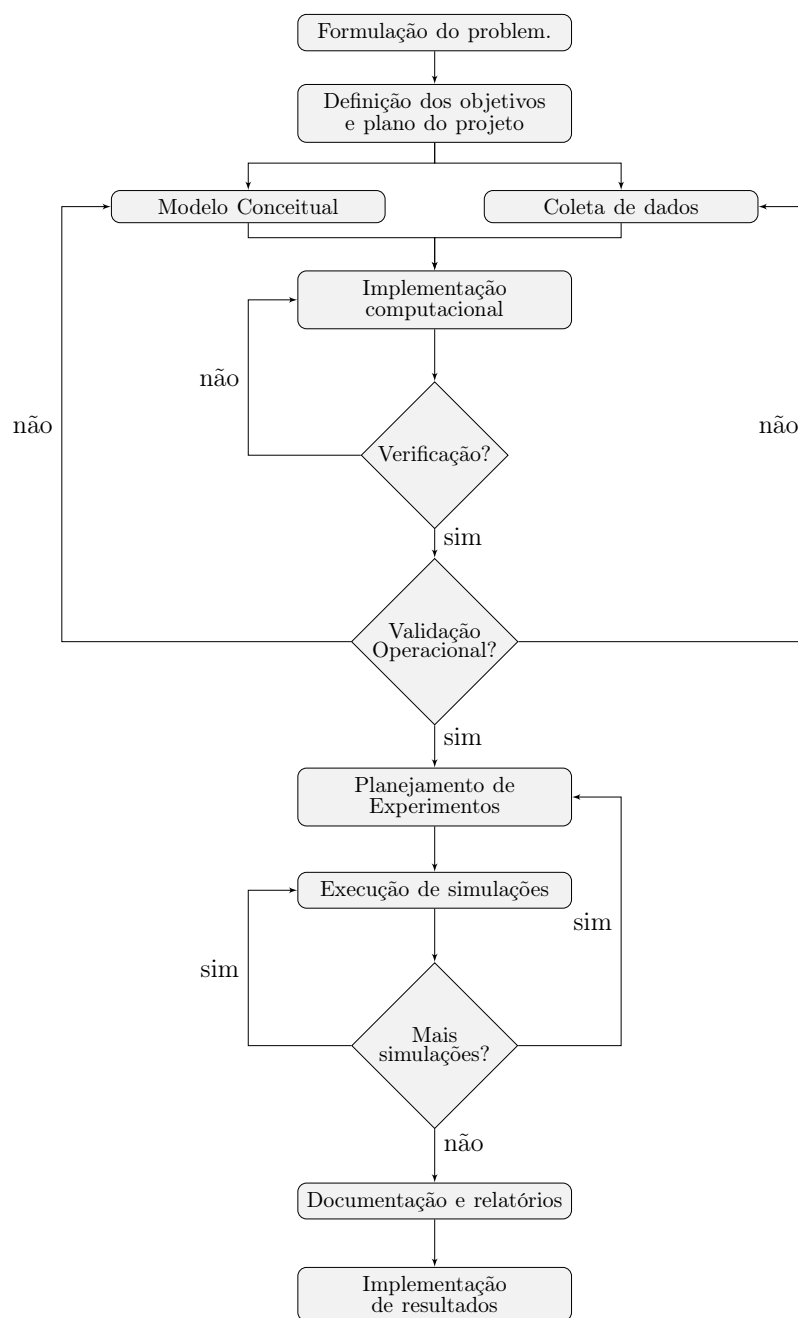


Figura 4.1: Passos de um estudo de simulação.

Fonte: Adaptado de Banks et al. [2005].

O projeto é iniciado com a formulação do problema real em estudo, definição dos objetivos e o esboço geral do problema. A formulação do problema deve ser clara para que os "stakeholders"(partes interessadas) compreendam o problema. Já os objetivos e esboço geral indicam as questões que devem ser respondidas através da simulação e os cenários inclusos na investigação do estudo, respectivamente.

Feito isso, é apresentado o modelo conceitual e os dados de entrada do modelo. O modelo conceitual trata-se de uma simplificação do problema real, representada a partir de relações lógicas e fórmulas matemáticas. É recomendado que modelos mais simples sejam desenvolvidos inicialmente. Os dados de entrada, por sua vez, são aqueles obtidos através da coleta de dados, tratados e transformados em informações relevantes para a

composição do modelo computacional a ser implementado, ou para o estudo em geral.

Posteriormente tem-se a tradução do modelo conceitual em modelo computacional (feito através de um programa de computador), seguido de sua verificação e validação. A verificação e validação do modelo podem estar relacionadas ao modelo conceitual e/ou ao modelo operacional, conforme é abordado pela Figura 4.2. Enquanto a validação ocorre tanto no modelo conceitual quanto no computacional (validação operacional), a fim de perceber se há alguma incoerência entre problema simulado e o real; a verificação é realizada apenas no modelo computacional, para saber se o modelo desenvolve corretamente. Caso necessário, volta-se aos passos anteriores e ajusta-se o modelo.

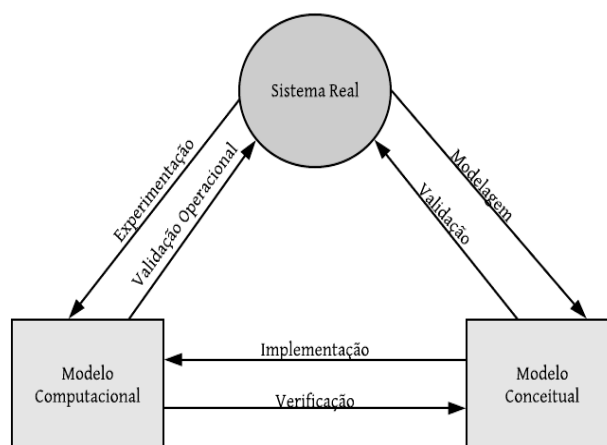


Figura 4.2: Conceitos de verificação e validação.
Fonte: Adaptado de Chwif e Medina [2015].

Com o modelo verificado e validado, realiza-se o planejamento de experimentos, execução e mensuração de corridas, para que se possa analisar adequadamente o problema tratado. Nesse passo, podem ser experimentadas e avaliadas diversas hipóteses, para que se chegue a uma conclusão sobre qual apresenta e retrata melhores resultados ao estudo. Por fim, são emitidas as documentações apresentadas na simulação e os relatórios dos experimentos, a fim de implementar os resultados obtidos.

4.2 Otimização via simulação

A expressão “*otimização via simulação*” surgiu da junção das ferramentas de simulação e otimização para resolver problemas de otimização em que a função objetivo, ou as restrições, ou até mesmo ambas, só podem ser avaliadas através da simulação computacional (Azadivar [1992], Chwif e Medina [2015]). Para Banks et al. [2005], o objetivo da *otimização via simulação* é de minimizar ou maximizar algumas medidas de desempenho de um sistema que, por sua vez, só podem ser avaliados através da simulação computacional. O modelo de simulação, nesse caso, é uma maneira de orientar avaliações complexas para produzir soluções de alta qualidade, na ausência de modelagens matemáticas tratáveis.

Um simples modelo de simulação permite a avaliação do desempenho do sistema de apenas um cenário, cujo conjunto de variáveis foram especificadas. Com a agregação da ferramenta de otimização, diversos cenários são propostos ao modelo de simulação a fim

de encontrar um melhor cenário que se adeque ao problema. Os cenários são propostos mediante a alteração dos valores das variáveis de decisão do otimizador, chamadas controles.

Segundo Rogers [2002], os controles são parâmetros controláveis associados à simulação, tratados pelo otimizador como variáveis de decisão e passíveis de limitações inferiores e superiores de valores. Além dos controles, temos as chamadas variáveis de resposta, que são as variáveis de desempenho do modelo, ou KPI's (Key Performance Indicator). Outras limitações também pode ser adicionadas, para restringir ainda mais o espaço solução do estudo. Essas limitações são representadas através de restrições, que por sua vez, podem estar associadas aos controles escolhidos ou às medidas de desempenho analisadas como respostas.

A função objetivo se apresenta com a finalidade de maximizar ou minimizar alguma medida de desempenho de interesse para o sistema que está sendo modelado. O objetivo pode incluir qualquer controle ou variável de resposta do modelo, já o(s) controle(s) pode(m) ser qualquer variável ou capacidade de recurso presente no modelo de simulação.

A otimização atua de forma iterativa com o modelo de simulação (Figura 4.3), para o qual se fornece os valores das variáveis ou parâmetros a serem simulados e, em troca, recebe-se do modelo de simulação o valor das medidas de desempenho. Segundo Chwif e Medina [2015], a interação entre ambos é finalizada quando os critérios de parada, definidos previamente, forem satisfeitos.

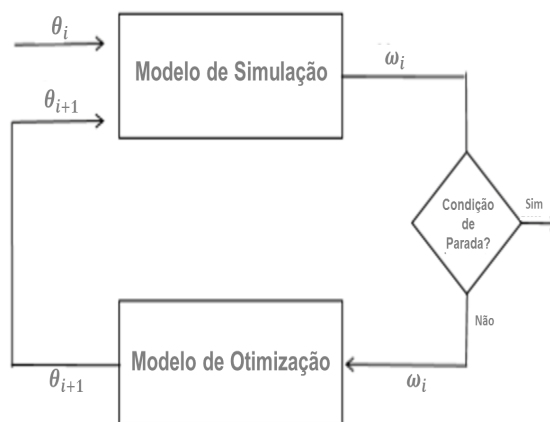


Figura 4.3: Otimização via simulação.

Fonte: Adaptado de Pinto et al. [2017].

As ferramentas de *Otimização via Simulação* já são acopladas a *softwares* comerciais de simulação por volta de 10 anos, embora se tenha relatos sobre a mesma na literatura há mais de 20 anos. Além disso, é válido ressaltar que, assim como há grandes vantagens no uso dessa ferramenta, ela também apresenta limitações, que devem ser respeitadas e tratadas juntamente com os analistas experientes (Chwif e Medina [2015]).

Os modelos de simulação, nesse contexto, não são modelos exatos, pois fazem uso de heurísticas. Com isso, a solução ótima, deve ser vista como "ótima local" e não como "ótima global", já que não se pode garantir soluções ótimas globais com o uso de heurísticas.

A estratégia de busca de valores aos controles (soluções) no otimizador é tratada por meio de heurísticas ou metaheurísticas conhecidas, como Algoritmos Genéticos, Busca

Tabu, Simulated Annealing, entre outros. Os valores gerados servem como entrada no modelo de simulação, que por sua vez, é executado e avaliado de acordo com o conjunto de restrições que foram criados. Esse processo é repetido até que as configurações de execução apresentada pelo otimizador, atinjam às condições de parada.

É importante salientar que ao invés de usar as ferramentas de otimização embutidas nos *softwares* de simulação, pode-se partir para o desenvolvimento de heurísticas próprias, desenvolvidas especificamente para o sistema em estudo. Essa opção apesar de muito mais trabalhosa, produz normalmente resultados de forma mais rápida (menor custo computacional).

Para este estudo, adotou-se como objetivo da otimização, a minimização do tamanho do estoque de cada tipo sanguíneo (E_{max_w}). Entretanto, restrições relacionadas a níveis máximos de perdas, rupturas e percentuais do estoque, para cada tipo sanguíneo, são consideradas, o que necessita o uso da simulação na obtenção dos resultados.

Também optou-se por usar as ferramentas de otimização disponíveis nos próprios *softwares* de simulação.

Capítulo 5

Modelo conceitual

Para Mylopoulos [1992], a modelagem conceitual descreve formalmente alguns aspectos do mundo físico e social em torno de nós, para fins de compreensão e comunicação, e é retratada, muitas vezes, a partir de esquemas conceituais com notações formais. Chwif e Medina [2015] e Robinson [2008] abordam essa modelagem como uma simplificação da realidade, onde o sucesso do estudo de simulação será maior com uma melhor estruturação do modelo. A construção do modelo conceitual não é valorizada por muitos autores (Chwif e Medina [2015]), no entanto, outros consideram esta etapa como a mais importante do estudo de simulação (Law [1991]).

Para Robinson [2008], a estrutura do modelo afeta todos os aspectos em estudo, ou seja, afeta a entrada dos dados, a velocidade com que o modelo é desenvolvido, a validade do modelo, a velocidade de experimentação e a confiança que é colocada nos resultados do modelo. Logo, concentrar em uma simplificação adequada do problema torna-se uma questão chave (Pidd [2003]).

Nesse contexto, o capítulo descreve os modelos de simulação e otimização propostos, considerando os fatores (conjuntos, entidades, atributos e variáveis) atribuídos ao problema, bem como o desenvolvimento dos mesmos.

Vale destacar que o modelo descrito é uma representação simplificada da realidade e para isso foram adotadas certas premissas básicas, de forma que a operacionalidade do modelo seja possível.

5.1 Modelo de simulação proposto

O modelo conceitual proposto, consiste em um sistema subdividido em três módulos integrados (Figura 5.1). O primeiro módulo representa o processo de verificação diário da validade das bolsas em estoque. Já o segundo módulo, aborda o processo de solicitação da ordem de reposição de bolsas, caso haja necessidade. Por fim, o último módulo retrata o consumo de bolsas sanguíneas demandadas.

Para o desenvolvimento do modelo as seguintes premissas básicas são consideradas:

- O sistema é iniciado com o estoque cheio e considerando a alocação das mesmas com discretização da vida útil (encontrada a partir dos registros disponibilizados);

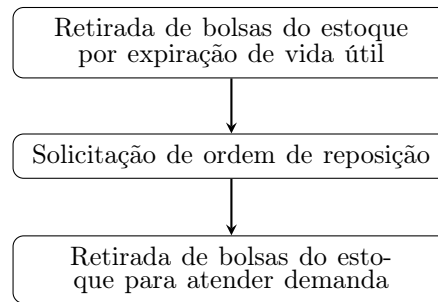


Figura 5.1: Ordem de execução dos módulos no sistema.

- A checagem do estoque é feita diariamente, uma única vez, às 00:00h.
- A necessidade de reposição é checada diariamente, uma única vez, às 00:00h.
- A demanda é considerada concentrada às 12:00h.

Vale ressaltar que, a escolha dos horários para checagem do estoque e necessidade de reposição foram escolhidos arbitrariamente, mas considerando a sequência de execução dos módulos. Já a demanda, foi considerada totalmente concentrada às 12:00h, uma vez que não é possível distribuí-la uniformemente ao longo do dia.

Os conjuntos, entidades, atributos e variáveis de decisão do problema de simulação do estoque, por sua vez, são apresentados pelas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.

Tabela 5.1: Entidades das formulações.

Entidades	Descrição
D_{Val}	: usada para checar a validade das bolsas e descartar do estoque aquelas vencidas;
D_{Dem}	: usada para checar se há demanda para determinado tipo sanguíneo e consumir bolsas caso exista estoque disponível para atender a demanda;
D_{Rep}	: usada para checar se deve ser emitido e atribuído uma ordem de reposição no estoque;

Tabela 5.2: Conjuntos das formulações.

Conjuntos	Descrição
I	: representa os dias para vencimentos hemocomponentes com $i = 1...I$;
W	: representam os tipos sanguíneos com w e $z = 1...8$, ordenados como $AB+$, $AB-$, $A+$, $A-$, $B+$, $B-$, $O+$ e $O-$, respectivamente;

Tabela 5.3: Parâmetros das formulações.

Parâmetros	Descrição	Unidade
$DistProb_w$	: armazena a distribuição de probabilidade do consumo do tipo sanguíneo w .	-
Sorteio	: parâmetro que armazena distribuição discreta para vida útil das bolsas;	-
$Comp_{wz}$	: parâmetro binário que habilita o suprimento da demanda do tipo sanguíneo w com o tipo sanguíneo z ;	-
Dem_w	: quantidade demandada para cada tipo sanguíneo w em cada dia;	(bolsas)
$DemAux_w$	: parâmetro auxiliar que armazena o valor de Dem_w ;	
E_{max_w}	: tamanho do estoque para o tipo sanguíneo w ;	(bolsas)
Est_{iw}	: quantidade disponível em estoque, por vida útil i e tipo sanguíneo w ;	(bolsas)

Tabela 5.3 - Continuação: Parâmetros das formulações.

Parâmetros	Descrição	Unidade
$EstDisp_w$	: quantidade total disponível em estoque, do tipo sanguíneo w ;	(bolsas)
$LeadTime$	: tempo entre a realização de uma ordem de pedido e sua entrega no estoque;	(horas)
$Quant_w$	: quantidade de bolsas do tipo sanguíneo w a serem requeridas no hemocentro;	(bolsas)
$Quantr_w$	: quantidade de bolsas que deve haver em estoque, abaixo da qual, deve ser gerada uma nova ordem de reposição;	(bolsas)
$VidaUtil_w$	: tempo de validade restante da bolsa para o tipo sanguíneo w ;	(dias)
$Imax$	: dias de validade máxima da bolsa;	(bolsas)

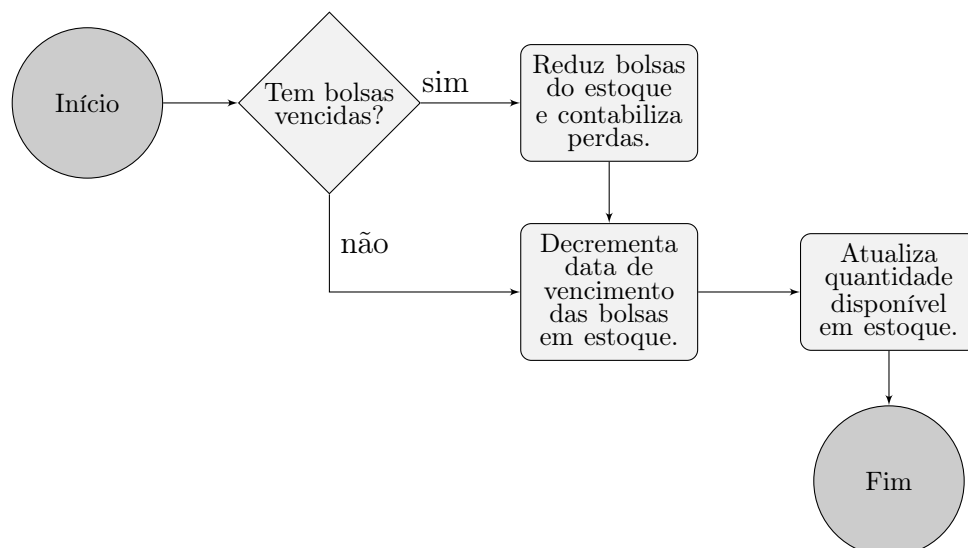
Tabela 5.4: Variáveis das formulações.

Parâmetros	Descrição	Unidade
$Rupturas_w$	: quantidade total de bolsas do tipo w que faltaram para atender a demanda;	(bolsas)
NDR_w	: número de dias em que houve ruptura do estoque para bolsas do tipo w ;	(dias)
$Perdas_w$	: quantidade total de bolsas em estoque que atingiram o prazo de expiração por tipo sanguíneo w ;	(bolsas)
$EntradaEst_w$	: quantidade total de bolsas que entraram no estoque;	(bolsas)
$EstTransito_w$	: quantidade total de bolsas que já foram solicitadas e aguarda tempo de Lead Time para reposição em estoque;	(bolsas)
$DemTotal_w$	: quantidade total de bolsas que foram consumidas para o tipo sanguíneo w ;	(bolsas)
$DemandaTotal$	: quantidade total de bolsas que foram consumidas para todos os tipos sanguíneos;	(bolsas)

Os hemocomponentes são estudados individualmente. A composição de cada abordagem, por sua vez, é descrita nas seções subsequentes.

5.1.1 Retirada de bolsas do estoque por expiração

O processo de *Retirada de bolsas do estoque por expiração* consiste em verificar diariamente, ao fim do dia, se o estoque possui produtos sanguíneos cuja vida útil tenha sido expirada, para que sejam descartados (Figura 5.2).

**Figura 5.2:** Processo de retirada de bolsas do estoque por expiração.

O módulo gera, às 00:00h, uma entidade para verificação de bolsas que apresentam vida útil expirada. Se houver bolsas expiradas no estoque, as mesmas são descartadas e as perdas são contabilizadas. Após a verificação, é atualizado a perecibilidade das bolsas em estoque e a quantidade de bolsas disponíveis no estoque.

O processo de verificação é detalhado a seguir. O modelo mantém uma tabela dinâmica cuja estrutura é mostrada na Tabela 5.5. As linhas são representadas pelo estoque disponível de cada grupo sanguíneo em função do número de dias de vida útil, sendo que a primeira linha ($i = 0$) corresponde ao número de bolsas que existem no estoque, de cada tipo sanguíneo, cuja validade termina no dia corrente; a segunda linha ($i = 1$) ao próximo dia após o dia corrente, e assim por diante. Ao final de cada coluna, na última linha, é obtida a quantidade total de bolsas disponíveis no estoque, para cada tipo sanguíneo.

Tabela 5.5: Tabela de controle do estoque de bolsas.

Vida útil (i)	Quantidade do hemocomponente por tipo sanguíneo (w)							
	(AB+)1	(AB-)2	(A+)3	(A-)4	(B+)5	(B-)6	(O+)7	(O-)8
0	Est_{01}	Est_{02}	Est_{03}	Est_{04}	Est_{05}	Est_{06}	Est_{07}	Est_{08}
1	Est_{11}	Est_{12}	Est_{13}	Est_{14}	Est_{15}	Est_{16}	Est_{17}	Est_{18}
2	Est_{21}	Est_{22}	Est_{23}	Est_{24}	Est_{25}	Est_{26}	Est_{27}	Est_{28}
...
I_{max}	Est_{i1}	Est_{i2}	Est_{i3}	Est_{i4}	Est_{i5}	Est_{i6}	Est_{i7}	Est_{i8}
Total	$\sum Est_{i,1}$	$\sum Est_{i,2}$	$\sum Est_{i,3}$	$\sum Est_{i,4}$	$\sum Est_{i,5}$	$\sum Est_{i,6}$	$\sum Est_{i,7}$	$\sum Est_{i,8}$

A dinâmica de atualização da Tabela 5.5, promove o descarte e a contabilização das bolsas como sendo perdas. Essa atualização é feita pelo Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Pseudocódigo para modelagem da retirada de bolsas do estoque para descarte.

```

1 início Gerar entidade de checagem
2   para cada  $w \in W$  faça
3      $Perdas_w \leftarrow Perdas_w + Est_{0w}$ ;
4      $Est_{0w} \leftarrow 0$ ;
5   fim
6   para cada  $i \in 0..I_{max}$  faça
7     para cada  $w \in W$  faça
8        $Est_{i,w} \leftarrow Est_{i+1,w}$ ;
9     fim
10  fim
11  para cada  $w \in W$  faça
12     $Est_{I_{max},w} \leftarrow 0$ ;
13  fim
14 fim
```

Ao inicializar a checagem, é incrementado na variável $Perdas_w$ a quantidade de produtos em estoque de cada tipo sanguíneo, cuja vida útil $i = 0$, descartando-as do estoque logo em seguida. Feito isso, decrementa-se a vida útil, transferindo as quantidades existentes em cada linha para a linha imediatamente superior. Por fim, é atribuída a quantidade $Est_{I_{max},w} = 0$ na última linha, que representa o estoque com a maior vida útil, visto que até aquele momento, as bolsas em estoque diminuiram sua vida útil em 1 dia.

5.1.2 Solicitação de ordem de reposição

Após verificar a validade dos hemocomponentes em estoque, têm-se o processo de *Solicitação de Ordem de Reposição*, cujo propósito é verificar se o estoque precisa ser alimentado com mais bolsas de sangue. Assim, é verificado ainda às 00:00h, se o estoque disponível de cada tipo sanguíneo está abaixo do ponto de reposição, para que seja gerado uma nova ordem de reposição. Ao gerar uma ordem, aguarda-se o tempo até a entrega (lead time) e posteriormente incrementa-se a ordem gerada ao estoque disponível (Figura 5.3).

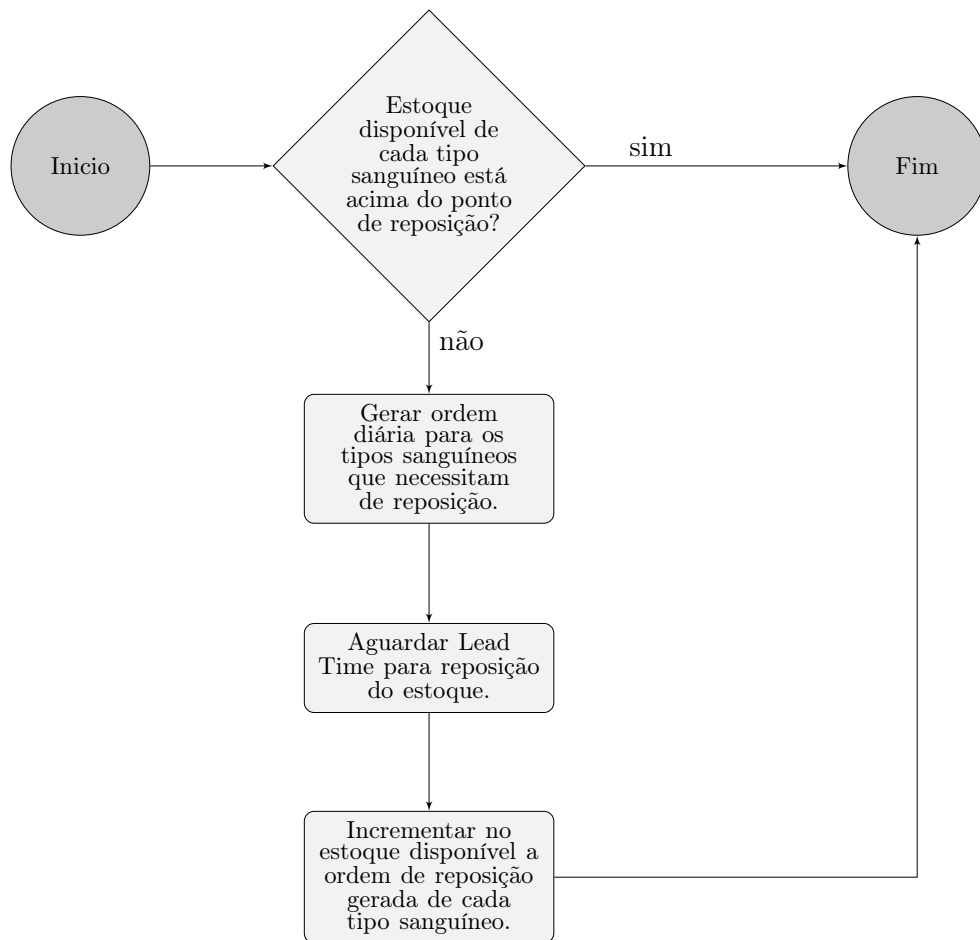


Figura 5.3: Processo de reposição das bolsas.

A modelagem detalhada de todo o processo é obtida pelos Algoritmos 2, 3 e 4. A análise, nesse caso, é realizada de acordo com a interação entre tipo sanguíneo (w), estoque disponível, ponto de reposição, estoque máximo e lead time.

Para geração da ordem diária (Algoritmo 2), verifica-se se o estoque disponível de cada tipo sanguíneo está abaixo do ponto de reposição do mesmo. Caso esteja, é verificado se não há alguma ordem de reposição já despachada e não recebida ($EstTransito_w > 0$). Se houver ordem de reposição a ser recebida e a soma da mesma com a variável $EstDisp_w$ alcançar o tamanho daquele estoque (E_{max_w}), não se processa nova ordem de reposição. Caso contrário, a ordem de reposição ($Quant_w$) receberá a diferença entre o tamanho do estoque (E_{max_w}) e soma da quantidade total de bolsas disponíveis ($EstDisp_w$) com o estoque em "trânsito" ($EstTransito_w$). Com isso, o estoque em "trânsito" passa a assumir um novo valor, agora acrescido da nova ordem de reposição gerada.

Algoritmo 2: Pseudocódigo da modelagem que gera ordem diária para cada tipo sanguíneo.

```

1 início Gerar entidade de reposição
2   para ( $w = 1$  até 8) faça
3     se ( $EstDisp_w \leq Quantr_w$ ) então
4       se ( $EstTransito_w + EstDisp_w \geq Emax_w$ ) então
5         |  $Quant_w \leftarrow 0$ ;
6         fim
7       senão
8         |  $Quant_w \leftarrow Emax_w - EstDisp_w - EstTransito_w$ ;
9         |  $EstTransito_w \leftarrow EstTransito_w + Quant_w$ ;
10        fim
11      fim
12    fim
13 fim

```

O próximo passo, ao gerar uma ordem de reposição diária, é aguardar o lead time para que o estoque seja reabastecido. Para isso, deve-se levar em consideração alguns fatores temporais, como o dia da semana (*DiaSemana*) de geração da ordem e valor do atributo *LeadTime* (Algoritmo 3).

Algoritmo 3: Pseudocódigo da modelagem que determina o lead time final dos pedidos após determinação do lead time inicial.

```

1 início Determinar lead time dos pedidos
2    $LeadTime \leftarrow UNIF(3, 24)$ ;
3   se ( $DiaSemana = 7$ ) então
4     |  $LeadTime \leftarrow 56$ ;
5     fim
6   se ( $DiaSemana = 1$ ) então
7     |  $LeadTime \leftarrow 32$ ;
8     fim
9   se ( $DiaSemana = 6$  e  $LeadTime > 19$ ) então
10    |  $LeadTime \leftarrow 80$ ;
11    fim
12  se ( $DiaSemana \geq 2$  e  $DiaSemana \leq 5$  e  $LeadTime > 19$ ) então
13    |  $LeadTime \leftarrow 32$ ;
14    fim
15  se ( $DiaSemana \geq 2$  e  $DiaSemana \leq 6$  e  $LeadTime < 8$ ) então
16    |  $LeadTime \leftarrow 8$ ;
17    fim
18 fim

```

O valor inicial do atributo *LeadTime* varia de acordo com uma distribuição uniforme, que seria o tempo previsto para entrega do hemocomponente ao hospital apresentado nas premissas. Entretanto, esse tempo previsto pode aumentar em decorrência do dia da semana vigente ou do horário previsto para a entrega. Como a verificação prevista no modelo é realizada todos os dias às 00:00h, quando a ordem é gerada aos sábados, deve-se aguardar um lead time de 56 horas, equivalente as horas ociosas de sábado (24 horas), domingo (24 horas) e a parte ociosa até o horário de funcionamento da segunda-feira (8:00h). Cabe ressaltar que pedidos com entregas previstas em horários ociosos, serão entregues assim que o hemocentro estiver em funcionamento. No modelo foi assumido um horário de funcionamento de segundas às sextas-feiras, entre 08:00h e 19:00h.

Nessa mesma lógica, é reatribuído um lead time de 32 horas nas ordens geradas aos domingos. Já as ordens com previsão de entrega às sextas-feiras, após às 19:00h, serão reatribuídas um lead time equivalente a 80 horas. Nesse caso, a entrega seria realizada apenas na segunda-feira no início do dia. Nos demais dias da semana, entregas previstas após às 19:00h serão reatribuídas um valor de lead time igual a 32 horas. Já às entregas previstas antes do horário de funcionamento, atribui-se um lead time de 8 horas, que corresponde ao horário inicial de funcionamento. Os lead times que não se enquadram nesses cenários, permanecem com o valor atribuído inicialmente.

Após definir e aguardar o lead time, é iniciado o processo de incremento da ordem gerada no estoque de cada tipo sanguíneo (Algoritmo 4).

Algoritmo 4: Pseudocódigo da modelagem que incrementa a ordem gerada no estoque após o aguardo do lead time.

```

1 início Gerar entidade de reposição dos estoques
2   para (  $w = 1$  até 8) faça
3      $EstTransito_w \leftarrow EstTransito_w - Quant_w$ ;
4      $EstDisp_w \leftarrow EstDisp_w + Quant_w$ ;
5      $EntradaEst_w \leftarrow EntradaEst_w + Quant_w$ ;
6     para (  $aux = 1$  até  $Quant_w$ ) faça
7        $Sorteio \leftarrow Dist.(VidaUtil_w)$ ;
8        $EstSorteio_w \leftarrow EstSorteio_w + 1$ ;
9        $aux ++$ ;
10    fim
11  fim
12 fim
```

Inicialmente desconta-se o número de bolsas da ordem de reposição ($Quant_w$) do estoque de produtos em trânsito ($EstTransito_w$), incrementa-se esse número na quantidade total disponível ($EstDisp_w$) e na variável que contabiliza a quantidade total que entra em estoque ($EntradaEst_w$). Por fim, atribui-se o número de bolsas constante na ordem de reposição ao estoque, uma por uma, através de uma distribuição discreta que descreve a vida útil das bolsas sanguíneas em função dos registros apresentados.

5.1.3 Retirada do estoque para atendimento de demanda

O último módulo aborda a *Retirada de bolsas do estoque para atendimento de demanda* (Figura 5.4). O processo é iniciado todos os dias, às 12:00h, com a apresentação da demanda diária para cada um dos oito tipos sanguíneos. Essa demanda depende de alguns fatores e pode ser ou não regida por distribuições de probabilidade, visto que existem dias em que não há demanda para todos os tipos sanguíneos, segundo os registros encontrados no banco de dados disponibilizado para esta pesquisa.

Após a definição da demanda diária, é verificada a disponibilidade de suprimento da demanda por bolsas do mesmo tipo sanguíneo inicialmente, e posteriormente, caso haja necessidade, pelos tipos sanguíneos compatíveis. Cada vez que houver suprimento da demanda integral ou parcial, os estoques e a quantidade restante a ser atendida devem ser atualizados, até que a demanda seja atendida em sua integralidade ou todos os estoques tenham sido verificados. Ao final, incrementa-se, caso haja necessidade, as variáveis que

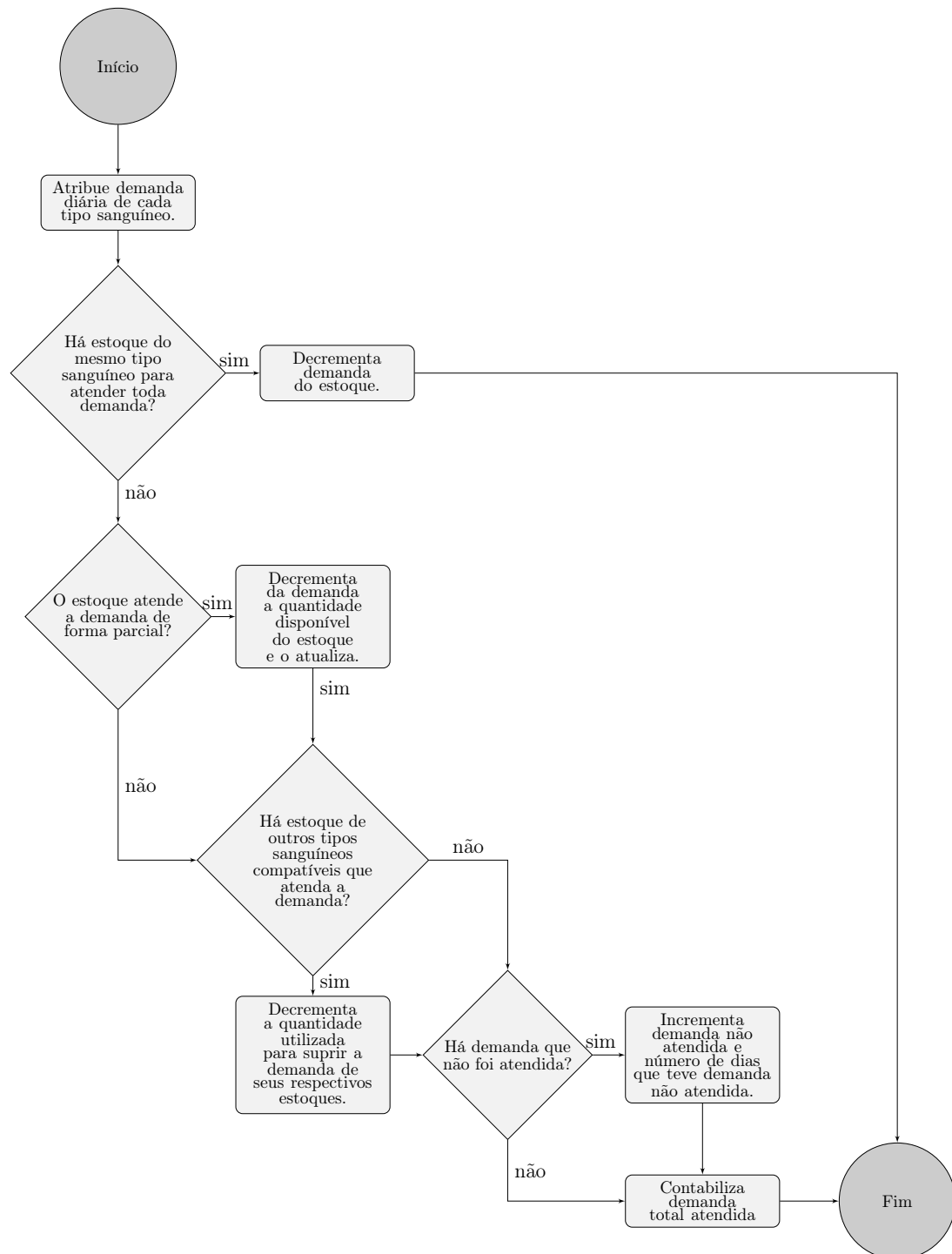


Figura 5.4: Atendimento da demanda diária.

armazenam o número de dias que houve rupturas (demanda não atendida), a quantidade de rupturas e a demanda total atendida.

A descrição detalhada de todo esse processo pode ser visto nos algoritmos 5, 6 e 7, sequencialmente. Inicialmente, no Algoritmo 5, é calculado "a priori" e armazenado no atributo $Percz_w$, a porcentagem de dias em que não houve demanda para cada tipo sanguíneo (w). Feito isso, cria-se outro atributo (X) que armazena uma distribuição uniforme entre 0 e 1, a fim de sortear a possibilidade de haver ou não demanda em determinado dia. Quando a porcentagem se apresentar superior ao valor do atributo X

significa que haverá demanda naquele dia, para determinado tipo sanguíneo.

Algoritmo 5: Pseudocódigo da modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda pelo mesmo tipo sanguíneo.

```

1 início Atendimento diário da demanda
2    $X \leftarrow UNIF(0, 1)$ ;
3   para ( $w=1$  até 8) faça
4     se ( $X \geq Percz_w$ ) então
5        $Dem_w \leftarrow DP_w$ ;
6        $DemAux_w \leftarrow Dem_w$ ;
7        $j \leftarrow 1$ ;
8       enquanto ( $DemAux_w > 0$  e  $DemAux_w \leq EstDisp_w$  e  $j \leq Imax$ ) faça
9         se ( $Est_{j,w} \geq DemAux_w$ ) então
10           $Est_{j,w} \leftarrow Est_{j,w} - DemAux_w$ ;
11           $EstDisp_w \leftarrow EstDisp_w - DemAux_w$ ;
12           $DemAux_w \leftarrow 0$ ;
13         fim
14         senão
15           se ( $Est_{j,w} < DemAux_w$  e  $Est_{j,w} > 0$ ) então
16              $DemAux_w \leftarrow DemAux_w - Est_{j,w}$ ;
17              $EstDisp_w \leftarrow EstDisp_w - Est_{j,w}$ ;
18              $Est_{j,w} \leftarrow 0$ ;
19              $j \leftarrow j + 1$ ;
20           fim
21         senão
22           se ( $Est_{j,w} = 0$ ) então
23              $j = j + 1$ ;
24           fim
25         fim
26       fim
27     fim
28   fim
29 fim
30 fim

```

Caso haja demanda, estima-se qual será o número de bolsas demandadas, conforme a distribuição de probabilidade que rege cada tipo sanguíneo e armazena-se na variável Dem_w . Para que se tenha um melhor controle, é criada a variável auxiliar ($DemAux_w$) que armazena o valor de Dem_w . A partir de então, iniciam-se as análises de suprimento, considerando-se as bolsas disponíveis em estoque.

Em um primeiro momento, verifica-se para cada tipo sanguíneo, a possibilidade de suprimento integral (linhas 7-9) ou parcial (linhas 11-14) por bolsas do mesmo tipo. Entretanto, quando a demanda não consegue ser atendida pelo mesmo tipo ou é atendida parcialmente, faz-se necessário a verificação dos estoques disponíveis de bolsas compatíveis que sejam capazes de suprir a demanda faltante. Em ambos os casos, é necessário a atualização do estoque quanto ao número de bolsas a serem atendidas e a quantidade disponível em estoque.

A verificação dos estoques compatíveis é apresentada pelo Algoritmo 6 e pode ser realizada somente após a análise de atendimento da demanda de cada tipo sanguíneo pelo mesmo tipo. Além disso, a ordem de verificação segue a mesma sequência definida na Tabela 5.2. Todos os tipos sanguíneos compatíveis devem ser analisados e utilizados

integral ou parcialmente de acordo com a necessidade demandada (linhas 3 - 27), exceto quando a demanda atinge seu nível de atendimento ($DemAux_w = 0$).

Algoritmo 6: Pseudocódigo para modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda por tipos sanguíneos compatíveis.

```

1 início Atendimento diário da demanda
2   se ( $DemAux_w > 0$ ) então
3     para ( $aux=1$  até 8) faça
4       se ( $COMP_{w,aux} = 1$  e  $w \neq aux$ ) então
5          $j \leftarrow 1$ ;
6         enquanto ( $DemAux_w > 0$  e  $j < I_{max}$  e  $EstDisp_{aux} > 0$ ) faça
7           se ( $Est_{j,w} \geq DemAux_w$ ) então
8              $Est_{j,w} \leftarrow Est_{j,w} - DemAux_w$ ;
9              $EstDisp_{aux} \leftarrow EstDisp_{aux} - DemAux_w$ ;
10             $DemAux_w \leftarrow 0$ ;
11          fim
12          senão
13            se ( $Est_{j,aux} < DemAux_w$  e  $Est_{j,aux} > 0$ ) então
14               $DemAux_w \leftarrow DemAux_w - Est_{j,aux}$ ;
15               $EstDisp_{aux} \leftarrow EstDisp_{aux} - Est_{j,w}$ ;
16               $Est_{j,aux} \leftarrow 0$ ;
17               $j = j + 1$ ;
18            fim
19            senão
20              se ( $Est_{j,aux} = 0$ ) então
21                 $j = j + 1$ ;
22              fim
23            fim
24          fim
25        fim
26      fim
27    fim
28  fim
29 fim

```

Após a verificação dos estoques compatíveis para todos os tipos sanguíneos, tem-se a conferência quanto à demanda não atendida dos mesmos (Algoritmo 7). Dessa maneira, quando não houver estoque compatível suficiente para suprir a demanda de bolsas faltantes de determinado tipo sanguíneo ($DemAux_w > 0$), adiciona-se na variável $Rupturas_w$ a quantidade de bolsas faltantes e, incrementa-se o número de dias que houveram rupturas (NDR_w), independente da quantidade.

Com a conferência das demandas não atendidas e a atualização das variáveis $Rupturas_w$ e NDR_w , é finalizado o último processo que compõe o sistema.

A quantidade total de bolsas disponíveis, de cada tipo sanguíneo w , representada neste estudo pela variável $EstDisp_w$, é a responsável pela interligação dos fluxos das entidades (D_{Val} , D_{Rep} e D_{Dem}) das três abordagens descritas. Essa quantidade é controlada ao longo de todo o sistema, respeitando o tamanho do estoque de cada tipo sanguíneo, já predeterminado no início da simulação. Sendo assim, toda vez que uma nova reposição de bolsas de sangue nos hospitais controlados (selecionados), acrescenta o valor $Quant_w$ em $EstDisp_w$. Em contrapartida, toda vez que houver bolsas com data de validade expirada no estoque, as mesmas são reduzidas de $EstDisp_w$.

Algoritmo 7: Pseudocódigo para modelagem de retirada de estoque para atendimento da demanda, verificação final.

```

1 início Verificacao final da demanda
2   para ( $w = 1$  até  $8$ ) faça
3     se ( $DemAux_w > 0$ ) então
4        $Rupturas_w \leftarrow Rupturas_w + DemAux_w$ ;
5        $NDR_w \leftarrow NDR_w + 1$ ;
6     fim
7   fim
8 fim

```

Uma atenção especial deve ser dada ainda, ao valor da ordem de reposição $Quant_w$ quando já houver uma outra ordem de reposição $Quant_w$ em trânsito. Nesse caso, a nova ordem de reposição deve descontar as bolsas das ordens que já estão em trânsito, conforme é apresentado pela linha 8, do Algoritmo 2.

O sistema em estudo também apresenta demanda e lead time incertos, o que requer a geração de ordens com mais antecedência. Logo, é importante ressaltar a necessidade de um bom planejamento do estoque, no que se refere ao ponto de reposição ($Quantr_w$) e ao tamanho do estoque ($Emax_w$). O $Quantr_w$, por sua vez, deve considerar uma quantidade segura de produtos em estoque, a fim de evitar faltas de produtos. Quanto maior o ponto de reposição, menor será o intervalo entre emissões de ordens.

Além disso, estimar o valor mínimo de $Emax_w$ e um $Quantr_w$ aceitável, considerando uma taxa de ruptura e um nível de perdas mínimos (pré-determinados), é uma das decisões desta pesquisa. Entretanto, o uso da simulação computacional por si só não consegue prever esse *trade-off* existente entre demanda e perdas, o que leva a utilização conjunta com outras ferramentas, como a otimização.

5.2 Modelo de otimização via simulação

O modelo de otimização via simulação proposto para dimensionamento de estoque de produtos sanguíneos, tem como objetivo principal a minimização do tamanho do estoque. Nesse contexto, a otimização consiste em definir o tamanho mínimo dos estoques capaz de atender a demanda de pacientes que requerem transfusão sanguínea, de forma que:

- Não seja extrapolado o percentual máximo de estoque de cada tipo sanguíneo;
- A diferença existente entre o ponto de reposição e o tamanho do estoque seja limitado;
- O estoque de bolsas sanguíneas comporte uma quantidade suficiente para atender toda a demanda a ele dirigida, dentro dos limites de perdas estabelecidos e aceitando uma ruptura (falta) máxima.

Os conjuntos, parâmetros e variáveis considerados na modelagem de otimização em estudo são:

- **Conjuntos**

W : representam os tipos sanguíneos com w e $z = 1...8$, ordenados como $AB+$, $AB-$, $A+$, $A-$, $B+$, $B-$, $O+$ e $O-$, respectivamente.

- **Parâmetros**

$LimPerd_w$: percentual máximo de perdas de bolsas;

$LimRupt_w$: percentual máximo de rupturas de bolsas;

$PercMax_w$: percentual máximo aceitável do estoque para cada tipo sanguíneo w ;

ϕ : fração máxima do estoque a ser usada como ponto de reposição ($\phi \leq 0$).

- **Variáveis de controle**

$Quantr_w$: ponto de reposição do estoque de produtos sanguíneos para o tipo w ;

$Emax_w$: tamanho do estoque de produtos sanguíneos para o tipo w .

- **Variáveis de resposta**

$Perdas_w$: quantidade total de bolsas em estoque que atingiram o prazo de expiração por tipo sanguíneo w ;

$Rupturas_w$: quantidade total de bolsas que faltaram do tipo w ;

$TotalEst_w$: quantidade total de bolsas que entraram no estoque;

$TotalGeralEst$: soma total de produtos de todos os tipos sanguíneos que entraram no estoque;

$PercPerdas_w$: quantidade de bolsas perdidas, em função da quantidade de bolsas que entraram no estoque, para o tipo sanguíneo w ;

$PercRupt_w$: quantidade de rupturas de bolsas, em função da quantidade de bolsas que entraram no estoque, para o tipo sanguíneo w ;

$PercEstoque_w$: percentual de bolsas no estoque para o tipo sanguíneo w .

- **Outras considerações**

$$PercPerdas_w = \frac{Perdas_w}{EntradaEst_w} \quad \forall w \in W \quad (5.1)$$

$$PercRupt_w = \frac{Rupturas_w}{EntradaEst_w} \quad \forall w \in W \quad (5.2)$$

$$PercEstoque_w = \frac{EntradaEst_w}{TotalGeralEst} \quad \forall w \in W \quad (5.3)$$

O modelo matemático da otimização é apresentado a seguir:

- **Função Objetivo**

$$z(o) = \min \sum_{w \in W} Emax_w \quad (5.4)$$

- **Sujeito a:**

$$PercPerdas_w \leq LimPerd_w \quad \forall w \in W \quad (5.5)$$

$$PercRupt_w \leq LimRupt_w \quad \forall w \in W \quad (5.6)$$

$$PercEstoque_w \leq PercMax_w \quad \forall w \in W \quad (5.7)$$

$$\sum_{w \in W} PercEstoque_w \leq 1 \quad \forall w \in W \quad (5.8)$$

$$Quantr_w \leq \phi.Emax_w \quad \forall w \in W \quad (5.9)$$

A função objetivo do modelo de otimização (5.4) consiste em minimizar o tamanho do estoque de cada tipo sanguíneo w . As restrições (5.5) e (5.6) limitam a quantidade de perdas e rupturas para cada tipo sanguíneo w . A restrição (5.7) diz respeito ao percentual do estoque para cada tipo sanguíneo, limitados por um percentual máximo baseado em proporções apresentadas pelos dados disponibilizados. Já a restrição (5.8) garante que a soma do percentual do estoque de todos os tipos sanguíneos seja de 100%, ou seja, 1. Por fim, a restrição (5.9) garante que o ponto de reposição seja inferior a um percentual (ϕ) do tamanho do estoque, para o tipo sanguíneo w .

Vale ressaltar que na otimização via simulação, o conjunto de parâmetros da otimização representa a configuração do sistema. Consequentemente, cada conjunto de parâmetros representa um cenário na simulação e o objetivo é encontrar o cenário que otimiza a função objetivo.

Capítulo 6

O estudo de caso

Neste capítulo é caracterizado o problema em estudo, bem como levantado as premissas e os dados que abastecem o modelo utilizado. Além disso, são definidos os valores dos parâmetros e variáveis de entrada para execução da simulação e otimização via simulação.

6.1 Caracterização do problema

É realizado um estudo de caso a partir de registros de dados de transfusões sanguíneas do Centro de Hematologia e Hemoterapia da Unicamp - Hemocentro da Unicamp, compreendendo os anos de 2011 a 2015. O hemocentro está localizado na cidade de Campinas, que apresenta uma população estimada de 1.182.429 habitantes (Censo do IBGE [2010]). Entretanto, o hemocentro distribui bolsas de produtos sanguíneos para mais de 120 municípios, atendendo cerca de 6 milhões de habitantes.

A maioria da população que reside em Campinas e que necessita da transfusão de produtos sanguíneos, geralmente consome sangue coletado pelo Hemocentro da Unicamp. Diversos hospitais instalados na cidade requerem bolsas desse hemocentro frequentemente, dentre eles estão os envolvidos neste estudo (Hospital das Clínicas da Unicamp, Hospital Boldrini de Campinas, Hospital e Maternidade Celso Pierro, Hospital Mário Gatti de Campinas e Complexo Hospitalar Prefeito Edivaldo Orsi), que por sua vez, correspondem a 97,7% dos registros.

O Hospital das Clínicas da Unicamp (HCC) é visto como um centro de referência médica nacional, sendo um dos maiores hospitais gerais do interior de São Paulo e um dos mais importantes do país. Ele oferece atendimentos de alta complexidade e multidisciplinar, tanto em ramo de pronto socorro quanto em ambulatorial. Embora esteja sediado em Campinas, o hospital pertence ao Governo do Estado de São Paulo e é mantido com recursos do Sistema Único de Saúde - SUS e pela Unicamp. É classificado como de grande porte, com um quadro aproximado de 3.100 funcionários, que atende cerca de 500.000 pacientes por ano, em 44 especialidades distintas. São realizadas, em média, 40 cirurgias e 5.000 exames laboratoriais por dia. Todos os dias, cerca de 10.000 pessoas circulam na organização. (Hospital das Clínicas da Unicamp [2018])

O Hospital Boldrini de Campinas (HBC), refere-se ao Centro Infantil Boldrini, um hospital filantrópico especializado na área de oncologia e hematologia pediátrica, sendo o maior hospital especializado em câncer pediátrico na América Latina. Trata-se de

uma instituição pertencente a comunidade, com utilidade tanto pública, como estadual e federal. É uma instituição privada e sem fins lucrativos. Foi construído a partir de doações de empresas e da população de Campinas e região, hoje o hospital conta com 77 leitos, desses, 8 são destinados a terapia intensiva e 6 destinados ao transplante de medula óssea. O hospital não conta com lista de espera ou repressão de demanda, ou seja, todos os pacientes são atendidos, com 80% via SUS. (Centro Infantil Boldrini [2018])

O Hospital e Maternidade Celso Pierro (HMCP), também conhecido como Hospital da Puc de Campinas, surgiu com a necessidade de um hospital-escola aos alunos graduandos de cursos na área da saúde pela PUC-Campinas, como por exemplo, medicina. O principal canal de atendimento corresponde a população dependente do SUS. Esta organização é caracterizada de grande porte, com um quadro de aproximadamente 2.000 funcionários e uma média mensal de 20.000 consultas, 11.000 atendimentos em urgência/emergência e mais de 1.000 internações. Possui um total 355 leitos, onde 253 são destinados ao atendimento de pacientes do SUS (Hospital Celso Pierro da Puc-Campinas [2018]).

O Hospital Mário Gatti de Campinas (HMGC) é um hospital municipal muito demandado para casos de urgência e emergência, além de realizar exames laboratoriais e de diagnóstico por imagem. Possui um fluxo diário por volta de 2.300 pessoas e também é caracterizado como grande porte, com um quadro de 1.500 funcionários e com 230 leitos disponíveis (Hospital Municipal Dr. Mário Gatti [2018]).

O Complexo Hospitalar Prefeito Edivaldo Orsi (CHEO), antigo Complexo Hospitalar Ouro Verde, demanda 100% do seu atendimento a pacientes do SUS, seja no setor ambulatorial, pronto socorro, clínico ou cirúrgico. A organização é administrada pela Associação Paulista para desenvolvimento da medicina - SPDM, a partir do convênio com a secretaria municipal de saúde. Compreende cerca de 1.400 funcionários e realiza por volta de 300 cirurgias mensais. As últimas referências encontradas contabilizam em 224 o número de leitos ativos nesse complexo (Complexo Hospitalar Pref. Edivaldo Orsi [2018]).

Todos os hospitais apresentados caracterizam-se por atendimentos com alta demanda por procedimentos de transfusões sanguíneas, seja em casos ambulatoriais, cirúrgicos, urgência e emergência, tratamentos oncológicos e outros casos mais complexos. Com isso, o recurso sanguíneo deve ser tratado com máxima eficiência e eficácia, visto que sua falta ou má utilização traz consequências fatais. Logo, pesquisa-se por metodologias de simulação e/ou otimização que sejam eficientes ferramentas no apoio ao gerenciamento de estoque.

6.2 Premissas

As premissas apresentadas para o sistema em estudo consideram que:

- A demanda dos cinco hospitais controlados (Hospital das Clínicas da Unicamp, Hospital Boldrini Campinas, Hospital Maternidade Celso Pierro, Hospital Mário Gatti de Campinas, Complexo Hospitalar Prefeito Edivaldo Orsi) são inteiramente atendidas pelo Hemocentro da Unicamp.
- O estoque considerado no estudo seria um estoque capaz de atender os cinco hospitais controlados, para pacientes residentes em Campinas.

- Aceita-se uma perda máxima de 5% das bolsas, para todos os tipos sanguíneos, exceto para o AB-, no qual considera-se 20%.
- É estudado apenas o hemocomponente concentrado de hemácias (CH), por apresentar maior demanda e ser contabilizado de 1 para 1 (1 bolsa de sangue gera 1 bolsa de CH).
- Só aceita-se bolsas de sangue cujo antígeno RhD e grupo sanguíneo apresentam-se em suas formas convencionais, ou seja, pertencem ao grupo ABO e não apresentam erros de compatibilidade entre doador e receptor.
- A validade do concentrado de hemácias abrange 36 dias.
- O lead time entre a realização de um pedido até sua entrega ao hospital varia de 3 a 24 horas.
- É tolerado uma ruptura máxima do estoque de 5% (atendimento máximo de 95% da demanda).

6.3 Levantamento de dados

Para que a pesquisa fosse possível, foi disponibilizado pelo Hemocentro da Unicamp, um banco de dados com todas as transfusões sanguíneas realizadas entre os anos de 2011 a 2015. Cada registro de transfusão é composto pelos seguintes dados: data de transfusão da bolsa, hospital, componente, data de nascimento do paciente, sexo, bolsa pediátrica (sim ou não), especialidade, data de coleta da bolsa, cidade de residência do paciente, ABO da bolsa, RhD da bolsa, ABO do paciente e RhD do paciente.

O banco de dados apresenta um total de 197.226 registros, englobando 36 estabelecimentos (divididos em hospitais e ambulatórios), 105 cidades de residência, pacientes com idade entre 0 e 107 anos, 4 tipos de hemocomponentes, 11 especialidades, 12 tipos de ABO da bolsa e 9 tipos de ABO do paciente. Entretanto, alguns registros compostos de dados inconsistentes foram desconsiderados (Figura 6.1).

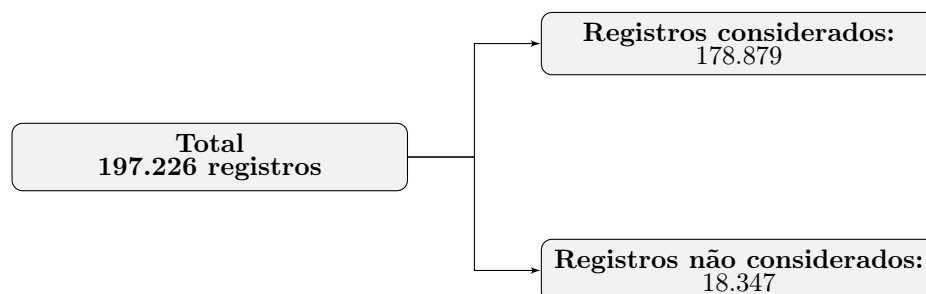


Figura 6.1: Seleção dos dados fornecidos pelo hemocentro da Unicamp.

Dentre os registros não considerados estavam aqueles que:

- Apresentavam outros grupos sanguíneos, que não os convencionais (A, B, AB e O);
- Apresentavam doações de antígeno RhD+ sobre RhD-;

- Não haviam registros de fator RhD;
- Não apresentavam registros quanto a cidade de residência.

Como o alinhamento dos dados permite o direcionamento mais aplicado da pesquisa, foi realizado posteriormente, uma análise e tratamento nos dados consistentes, para que somente os registros de interesse da pesquisa fossem mantidos. Nesse caso, os dados contemplados no estudo são:

Tabela 6.1: Considerações para o estudo.

Dados analisados	Dados considerados
Idade do paciente	0 - 106 anos
Grupo Sanguíneo	A, B, AB e O
Fator RH	+ e -
Componente Sanguíneo	CH (maior demanda)
Cidade de residência	Campinas
Hospitais	Hospital das Clínicas da Unicamp, Hospital Mário Gatti de Campinas, Hospital Boldrini Campinas Hospital e Maternidade Celso Pierro e Complexo Hospitalar Prefeito Edivaldo Orsi.

Após a exclusão dos dados inconsistentes e o tratamento dos mesmos de acordo com a Tabela 6.1, restaram 63.947 registros de transfusões (33% do total). A quantificação desses registros e a taxa de utilização dos mesmos, de acordo com cada tipo sanguíneo, é apresentado pelas Figuras 6.2 e 6.3, respectivamente.

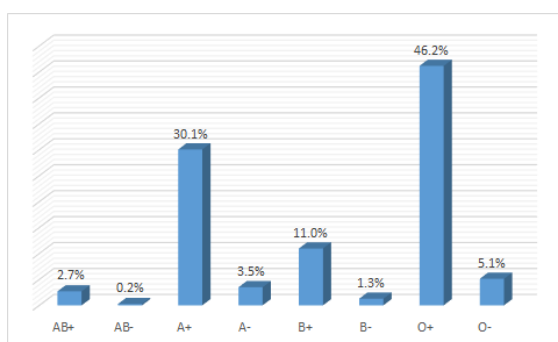


Figura 6.2: Tipo sanguíneo dos pacientes que requerem transfusão de CH.

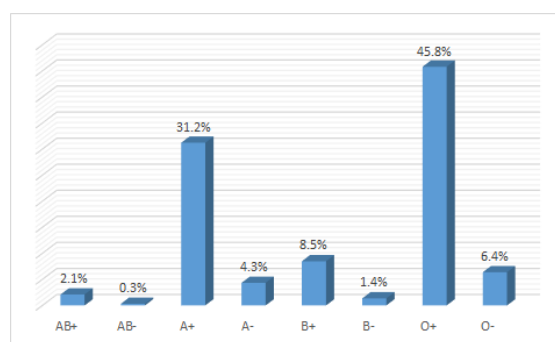


Figura 6.3: Tipo sanguíneo das bolsas de CH transfundidas.

Tanto a oferta quanto a demanda por transfusões sanguíneas apresentam níveis aproximados de estoque. Os tipos sanguíneos que apresentam maior demanda por transfusões e conseqüentemente maior taxa de utilização, são os tipos O+ (46,2%) e os A+ (30,1%). Por outro lado, os tipos sanguíneos com demanda mais escassa, são os AB- (0,2%) e os B- (1,3%).

A partir dos valores apresentados para o consumo de bolsas e os tipos sanguíneos dos pacientes, é obtida a diferença percentual entre a quantidade de bolsas requeridas e a quantidade de bolsas efetivamente utilizadas, em cada tipo sanguíneo, para o componente concentrado de hemácias (Figura 6.4). Para alguns tipos sanguíneos, como é o caso do

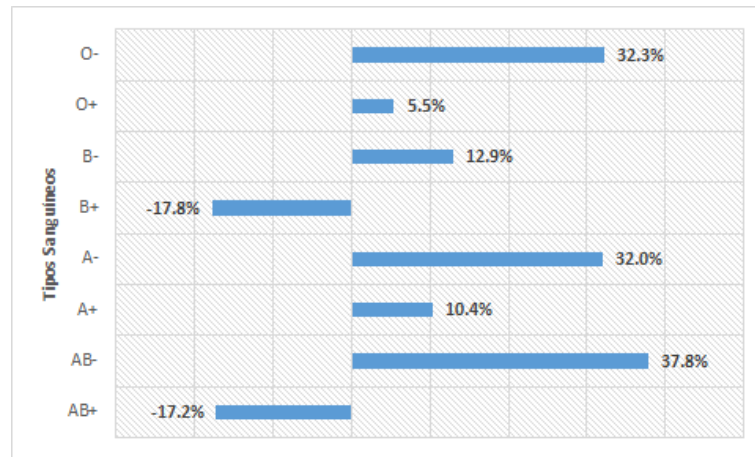


Figura 6.4: Diferença percentual entre consumo e demanda de CH.

$AB+$ e do $B+$, o nível de oferta é inferior a sua demanda. Isso ocorre devido a baixa demanda do tipo de sangue e também por existir outros tipos que possuem uma rotatividade maior e que também seja compatível.

Já a evolução das demandas sanguíneas nos hospitais controlados (hospitais em estudo) pode ser observada pela Figura 6.5, que mostra o comportamento anual das transfusões, seja em razão dos hospitais ou aos anos em análise. É notável uma maior variabilidade no CHEO, consequência à sua expansão. Enquanto que, hospitais como o HCC e HMGC que possuem média de demandas transfusionais superior a 3.000 bolsas, apresentam um decréscimo de aproximadamente 600 bolsas ao longo dos cinco anos.

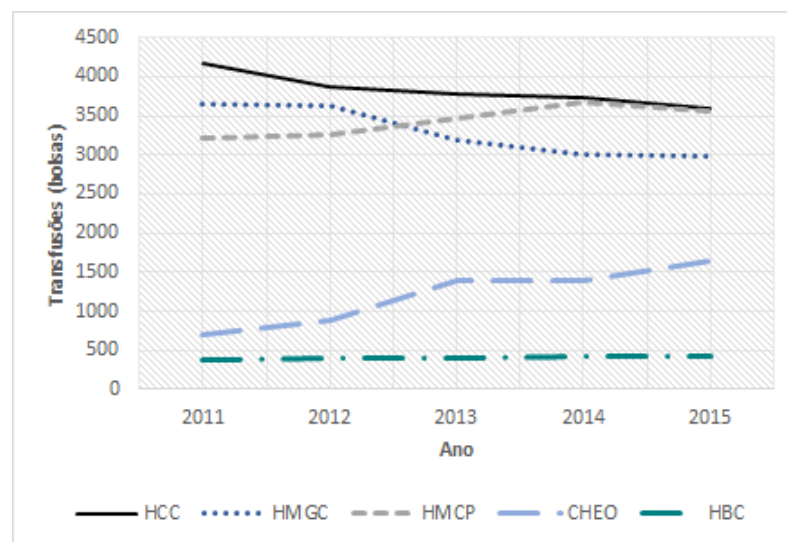


Figura 6.5: Quantitativo de transfusões sanguíneas para o CH.

Para abastecer o modelo de simulação proposto, é necessário estimar o volume de bolsas demandadas diariamente, para cada grupo sanguíneo. Nesse intuito, ajusta-se a distribuição de probabilidade que melhor representa a demanda diária dos dados disponibilizados, desconsiderando os dias em que não houve demanda. A obtenção da distribuição de probabilidade é apresentada na Tabela 6.2, junto ao percentual de dias que não houve demanda ($Percz_w$) e os valores mínimo e máximo da demanda diária, em cada distribuição.

Dado a demanda, é importante enfatizar a política para consumo das bolsas ofertadas.

Tabela 6.2: Distribuição da demanda para o concentrado de hemácias.

Tipo sanguíneo	Percz _w (%)	Distribuição	Mínimo	Máximo
AB+	56,19%	0,5 + LOGN (1,64; 1,54)	1	11
AB-	94,52%	0,5 + GAMM (0,379; 2,72)	1	4
A+	0,33%	0,5 + GAMM (3,23; 3,11)	1	38
A-	47,86%	0,5 + LOGN (1,71; 1,66)	1	17
B+	12,1%	0,5 + WEIB (4,24; 1,36)	1	37
B-	75,63%	0,5 + GAMM (0,539; 2,52)	1	6
O+	0%	0,5 + ERLA (3,13; 5)	1	64
O-	35,38%	0,5 + GAMM (1,1; 1,86)	1	13

Nesse caso, verifica-se para cada um dos tipos sanguíneos, a disponibilidade de suprimento pelo mesmo tipo, em sua integralidade. Feito isso e visto que a demanda não foi atendida em sua integralidade, investiga a disponibilidade de suprimento com tipos sanguíneos compatíveis, respeitando a seguinte sequência $AB+$, $AB-$, $A+$, $A-$, $B+$, $B-$, $O+$ e $O-$.

Capítulo 7

Verificação e validação do modelo

O processo de verificação e validação de um modelo é uma das etapas mais importantes e difíceis em um projeto de simulação, visto que é nesta etapa que a maioria das falhas são encontradas e corrigidas. Profissionais que apoiam suas decisões em resultados e estatísticas apresentadas pelo modelo, costumam questionar sua veracidade. Logo, aproximar os tomadores de decisão e demais colaboradores que apoiam suas decisões no modelo, é de extrema importância ao desenvolvimento e validação do projeto, uma vez que aumenta o nível de confiança entre ambos e também ao projeto em si.

De acordo com Banks et al. [2005], o processo de verificação e validação de um modelo deve ser visto como um conjunto de procedimentos que compreende o modelo como um todo e não apenas um conjunto isolado. Ainda segundo o autor, o processo de verificação consiste em analisar se o modelo computacional está sendo construído de maneira correta, ou seja, se está de acordo com o que foi planejado no modelo conceitual. Enquanto que, o processo de validação consiste em garantir que o modelo conceitual construído retrata o sistema real em estudo. Todo o processo é realizado interativamente até que se obtenha uma precisão aceitável do modelo.

Nesse contexto, é abordado nas seções a seguir, os procedimentos ou técnicas aplicadas para apoiar a verificação e validação do modelo proposto.

7.1 Verificação do modelo

Nesta etapa é verificado se as modelagens apresentadas, seja conceitual ou computacional, se encontram de acordo com o que é esperado, ou seja, se o modelo extrai informações corretas e adequadas ao estudo ou se há falhas a serem corrigidas. A exclusão das falhas presentes no modelo, por sua vez, também devem ser realizadas nesta etapa (Chwif e Medina [2015]) e podem ser facilitadas com o auxílio de procedimentos como a implementação modular e atribuição de valores e cálculos simplificados.

A implementação modular consiste em desenvolver e executar cada módulo de simulação separadamente, a fim de que a probabilidade de ocorrência de erros seja reduzida e a correção dos mesmos facilitada. Apenas após a implementação e execução correta de cada módulo, é iniciado o módulo subsequente. Nesta pesquisa, o sistema real simulado foi dividido em três módulos: (i) verificação da vida útil das bolsas, (ii) atendimento de bolsas demandadas e (iii) emissão de ordens e reposição do estoque.

Inicialmente desenvolveu-se o módulo para verificação da vida útil das bolsas com computação de perdas e atualização da vida útil das bolsas, que consiste em avaliar a validade das bolsas, retirando aquelas que estão expiradas e, posteriormente, reduzindo a vida útil das bolsas remanescentes.

Logo após, implementou-se o módulo de atendimento de bolsas demandadas, onde é atribuído um valor a demanda diária e analisado a possibilidade de atendimento integral ou parcial da mesma, seja por bolsas do mesmo tipo sanguíneo ou por tipos sanguíneos compatíveis, respectivamente. Todo o atendimento de bolsas realizado é debitado do estoque das respectivas bolsas. Ao final, se não houver atendimento integral da demanda, é contabilizado como ruptura a demanda não atendida.

O último módulo corresponde a emissão de ordens de reposição de bolsas no estoque, caso o nível de estoque se apresente inferior ao ponto de reposição, no momento da verificação.

Para verificação da veracidade lógica dos módulos foi utilizado o conceito da atribuição de valores e cálculos simplificados, onde um conjunto de valores menores e distribuições mais simples são alocados aos parâmetros de entrada E_{max_w} , $Quant_r_w$ e $Dist_w$ e posteriormente simulados. Dentre as simplificações apresentadas pelos módulos haviam:

- Inicialização do estoque com data de vencimento máxima;
- Discretização do consumo diário;
- Análise de apenas alguns tipos sanguíneos;
- Definição a "priori" de fatores como ponto de reposição dos estoques e estoque máximo;

Os resultados obtidos, por sua vez, foram armazenados em planilhas e analisados detalhadamente e manualmente, a fim de identificar erros ou falhas da modelagem e corrigi-los. Após diversos testes, erros foram corrigidos e os resultados se mostraram coerentes com a realidade, em relação ao número de bolsas transfundidas e demanda por bolsas de cada tipo sanguíneo

7.2 Validação operacional do modelo

O processo de validação operacional consiste em determinar se o modelo simulado reflete o sistema real estudado, a partir de inferências geradas pela análise dos resultados do modelo simulado com as informações fornecidas pelo sistema real. Seu objetivo é produzir um modelo que represente de forma mais fidedigna o sistema real, para que seja utilizado na análise de cenários, comportamentos e previsão de desempenho do sistema; e além disso, aumentar o nível de confiança entre ambos os sistemas, para que o sistema simulado possa ser reproduzido pelos tomadores de decisão (Banks et al. [2005]).

Segundo Sargent [2013], um modelo é considerado válido para um conjunto de condições se a precisão apresentar dentro da faixa aceitável, ou seja, aquela necessária para garantir o objetivo pretendido pelo modelo. Isso geralmente requer a identificação das variáveis de saída do modelo (isto é, as variáveis do modelo usadas para responder às

perguntas que se apresentam e medir a performance do sistema). Deve-se especificar a faixa de precisão aceitável exigida para cada uma dessas variáveis.

No caso do modelo proposto, houve processo de validação durante toda a construção do projeto. Para cada etapa desenvolvida, foram adotadas premissas e utilizadas medidas de desempenho para verificar se os resultados foram alcançados. O auxílio de profissionais experientes e capacitados, seja na área de simulação ou de banco de sangue, foram fundamentais nesta etapa.

Dentre as principais técnicas de validação de modelos apresentadas por Chwif e Medina [2015], utilizou-se a conhecida como *Validação "face a face"*, na qual o profissional capacitado (que realmente entende o processo em estudo) averigua possíveis falhas em toda a modelagem e resultados apresentados, a fim de atestar a qualidade do modelo.

Também foram propostas a utilização de dados históricos nesta validação, uma vez que sua aplicação serve como apoio na calibração do modelo. Nesse sentido, adotou-se como parâmetro de resposta, para fins de validação, a demanda total obtida (considerando todos os tipos sanguíneos), durante o período analisado. Além da demanda total, também foram considerados nesta análise, parâmetros relacionados a demanda média (%) e consumo médio (%) de bolsas, para cada tipo sanguíneo.

Os resultados obtidos para os parâmetros analisados, são apresentados nas Tabelas 7.1 e 7.2.

Tabela 7.1: Validação da demanda total

Média e Precisão	Demanda Total	
	Registro de dados	Simulação
\bar{x}	12.789	12.720
h	211	31

Tabela 7.2: Validação da demanda média (%) e consumo médio (%).

Tipo sanguíneo	Registro de dados				Simulação			
	Demanda (%)		Consumo (%)		Demanda (%)		Consumo (%)	
	\bar{x}	h	\bar{x}	h	\bar{x}	h	\bar{x}	h
AB+	2,69	0,14	1,78	0,29	2,67	0,04	2,43	0,03
AB-	0,24	0,18	0,27	0,13	0,24	0,01	0,25	0,01
A+	30,06	0,76	28,46	0,79	30,30	0,12	29,80	0,12
A-	3,49	0,54	3,96	0,39	3,29	0,04	3,50	0,05
B+	10,95	0,59	8,94	0,66	11,08	0,07	10,77	0,06
B-	1,28	0,26	1,41	0,24	1,29	0,02	1,30	0,02
O+	46,15	0,70	48,47	1,11	46,42	0,11	46,33	0,13
O-	5,13	0,38	6,71	0,48	4,71	0,04	5,61	0,07

De acordo com os resultados, a diferença entre a demanda total atendida nos registros de dados (sistema real) e na simulação número corresponde a 69 bolsas. Visto que o registros apresenta uma precisão de 211 bolsas, pode-se considerar estatisticamente, com um nível de confiança de 95% (t student = 2,78), que a simulação é validada.

Da mesma forma ocorre com a demanda média (%) de cada tipo sanguíneo, na Tabela 7.2, onde a diferença apresentada entre o registro de dados e a simulação se apresenta baixa e dentro dos limites de precisão. Já na análise do consumo médio (%), nota-se uma diferença um pouco maior entre os sistemas real e simulado, o que pode ser justificado pela

política adotada no modelo proposto, para suprimento da demanda pelos tipos sanguíneos compatíveis, quando for necessário. Essa discrepância também pode estar relacionada tamanho do estoque e ao ponto de reposição, também considerados no modelo proposto.

Capítulo 8

Experimentos computacionais e análise dos resultados

Neste capítulo são apresentadas as principais características dos experimentos computacionais da simulação e otimização via simulação. O capítulo aborda a implementação do modelo, bem como os parâmetros de execução, cenário inicial e demais experimentos. Por fim, são apresentadas as análises e discussões obtidas após a execução dos modelos.

8.1 Simulação computacional

Para Chwif e Medina [2015], os experimentos computacionais podem ser desenvolvidos de três maneiras distintas, através de uma linguagem de programação, uma linguagem de simulação ou até mesmo um simulador. Nesta pesquisa, optou-se pela experimentação através de um simulador (*software* disponível), visto sua facilidade de uso e interatividade da interface gráfica.

8.1.1 Parâmetros de execução do modelo de simulação

Ao concluir o processo de verificação e validação do modelo torna-se operacional e, portanto, pronto para ser utilizado para experimentação. Entretanto, o processo de experimentação computacional apresenta entrada de dados aleatória, o que pode comprometer os resultados, visto que implica em saídas aleatórias (Kelton [2002]). Logo, é importante a realização de um planejamento inicial da experimentação para que não se tome decisões precipitadas e para que se obtenha resultados mais fidedignos. Para Chwif e Medina [2015], fatores como a determinação da variância estimada e o número de observações a serem realizadas para atingir uma determinada precisão são muito importantes neste planejamento.

Uma abordagem tratada na experimentação para que se obtenha resultados mais precisos, consiste na eliminação de valores gerados durante o *warm up* (tempo de aquecimento) do sistema. O *warm up* normalmente ocorre no período inicial da simulação e configura o tempo de variação dos resultados influenciados pela configuração inicial do sistema. A determinação do *warm up* pode ser obtida através da técnica de observação (Chwif e

Medina [2015]), aplicada em gráficos que exibem o valor de um parâmetro resposta (também conhecido como medida de desempenho) em função do número de replicações. Para esta pesquisa, considerou-se como medidas de desempenho as variáveis que exprimem o percentual anual de perdas e rupturas.

Como o estudo em questão trata-se de uma simulação não-terminal onde não se tem certeza qual a duração da simulação "a priori", deve-se determinar cuidadosamente o tempo em regime permanente e transitório. A diferença entre os dois regimes, consiste na influência das condições iniciais do problema sobre os resultados gerados. Quando os resultados apresentados pelas replicações são influenciados por suas condições iniciais, considera-se que os mesmos estão em um regime transitório. Já quando as condições iniciais do problema passam a não influenciar mais o comportamento do sistema, têm-se o regime permanente (Figura 8.1).

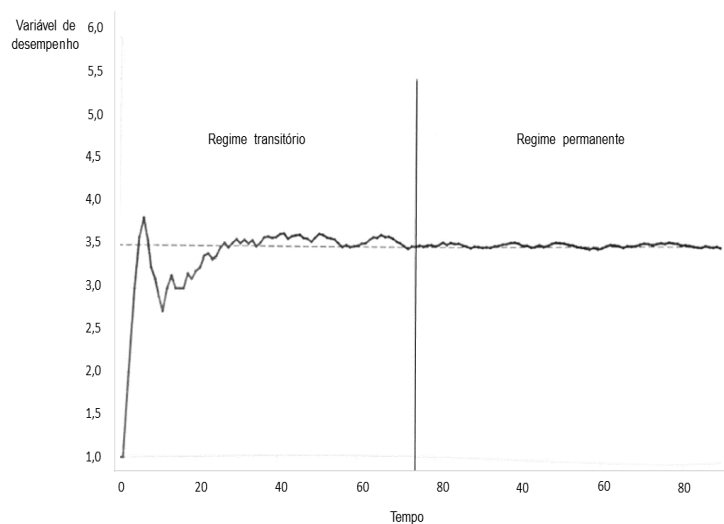


Figura 8.1: Regime transitório x Regime permanente.
Fonte: Adaptado de Chwif e Medina [2015].

O *warm up*, por sua vez, consiste no tempo gasto pelo sistema em regime transitório. Entretanto, como as análises em regime transitório são pouco conclusivas e complexas, sugere-se, quando possível, a inicialização do sistema dentro do regime permanente. Nesse sentido, considerou-se a inicialização do sistema com os estoques iniciais mantidos em seu tamanho máximo e um tempo de replicação bastante alto (1 ano), para minimizar os efeitos do *warm up*.

Além da análise do *warm up*, deve-se determinar o número de replicações a serem consideradas, visto que a execução de apenas uma replicação não apresenta uma conclusão satisfatória e suficiente a respeito do problema real. Segundo Chwif e Medina [2015], a replicação é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e os mesmos parâmetros de entrada, entretanto com uma semente de geração dos números aleatórios diferente.

A definição do número de replicações a serem simuladas, por sua vez, é estabelecida de acordo com os níveis de confiança estatística e precisão desejáveis para as medidas de desempenho analisadas. O intervalo de confiança, consiste em um intervalo de valores

que contém a média da população, com uma certa probabilidade. Quanto maior for o valor da probabilidade, maior será a confiança estatística de que a média está no intervalo construído. Já a precisão relaciona-se ao tamanho do intervalo, ou seja, se o tamanho do intervalo é maior, mais difícil será concluir sobre a média de uma população (Chwif e Medina [2015]).

Ainda segundo Chwif e Medina [2015], um intervalo de confiança para a média de um determinado parâmetro de desempenho é obtido através da Equação 8.1.

$$IC = \bar{x} \pm h \tag{8.1}$$

Onde, \bar{x} é definido como a média da amostra, enquanto h a precisão considerada, por sua vez calculada a partir da Equação 8.2.

$$h = t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{8.2}$$

Nesse caso, $t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$ refere-se ao $(1 - \frac{\alpha}{2})$ percentil da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade, onde n é o número de dados da amostra e σ o desvio padrão da amostra.

O intervalo de confiança e a precisão dos resultados obtidos para as medidas de desempenho em estudo foram analisados inicialmente considerando diferentes números de replicações, a fim de averiguar qual(is) ajusta(m)-se melhor ao estudo. Foram considerados ideais, aqueles cenários que possuíam uma confiança de 95% ($\alpha=0,05$) e precisão desejável de até $\pm 1,5\%$ da média. A média das replicações amostradas, bem como seu desvio padrão, estão descritos na Tabela 8.1.

Tabela 8.1: Médias e desvios padrão apresentados pelas amostras das replicações.

Nº Replicações	PercPerdas		PercRupt	
	Média das amostras (\bar{x})	Desvio Padrão (σ)	Média das amostras (\bar{x})	Desvio Padrão (σ)
10	0,2237	0,0728	0,4155	0,3152
50	0,2420	0,0709	0,5077	0,2411
100	0,2487	0,0763	0,5326	0,2604
150	0,2457	0,0796	0,5283	0,2678
200	0,2478	0,0841	0,5289	0,2724
500	0,2449	0,0813	0,5041	0,2742

Os valores referentes à precisão e ao intervalo de confiança, por sua vez, são apresentados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Determinação do intervalo de confiança para o parâmetro de desempenho em estudo.

Nº Replicações	$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$	PercPerdas		PercRupt	
		Precisão (h)	Intervalo de Confiança	Precisão (h)	Intervalo de Confiança
10	2,26	0,0520	[0,1717, 0,2758]	0,03063	[0,1902, 0,6408]
50	2,01	0,0202	[0,2218, 0,2622]	0,01060	[0,4392, 0,5762]
100	1,99	0,0152	[0,2336, 0,2639]	0,00823	[0,4808, 0,5844]
150	1,98	0,0129	[0,2328, 0,2586]	0,00355	[0,4849, 0,5717]
200	1,98	0,0118	[0,2360, 0,2596]	0,00249	[0,4908, 0,5670]
500	1,97	0,0072	[0,2377, 0,2521]	0,00205	[0,4800, 0,5283]

A partir dos resultados visualizados na Tabela 8.2, optou-se por utilizar nas simulações realizadas ao longo do estudo, um quantitativo de 150 replicações, visto que esta amostragem apresenta o menor número de replicações dentre as demais amostras que satisfazem as condições de confiança e precisão já apresentadas.

O comportamento das medidas de desempenho analisadas, em função do número de replicações da amostragem escolhida, são exibidos pelas Figuras 8.2 e 8.3. O valor médio encontrado, bem como o intervalo de confiança obtido, também podem ser visualizados.

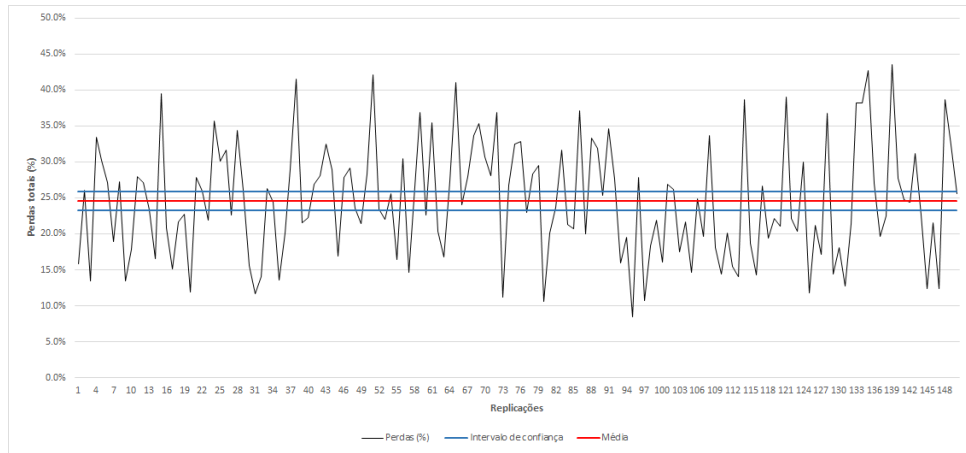


Figura 8.2: Percentual de perdas totais por replicação.

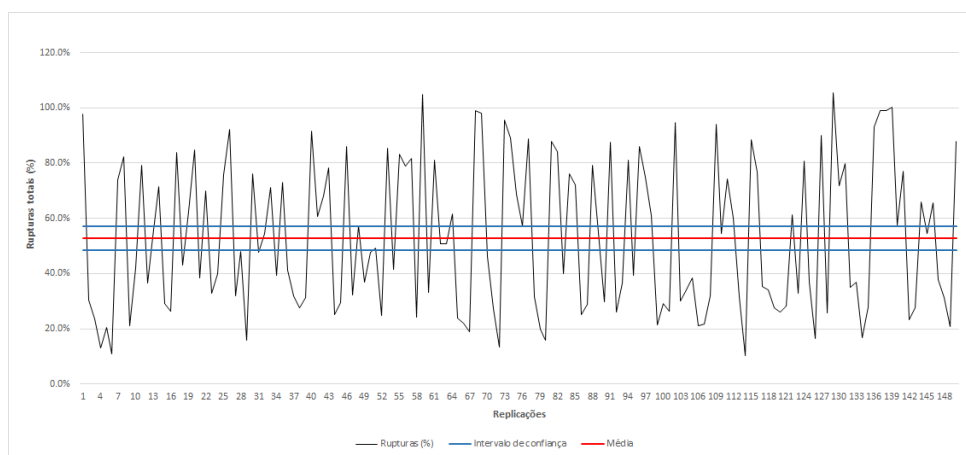


Figura 8.3: Percentual de rupturas totais por replicação.

8.1.2 Variáveis analisadas

Como já mencionado anteriormente, as principais variáveis de análise do modelo proposto estão relacionadas às perdas, rupturas, tamanho do estoque e ponto de reposição de bolsas de sangue, para o componente concentrado de hemácias. Enquanto os resultados apresentados para as perdas e rupturas são obtidos via simulação, as definições do tamanho do estoque e o ponto de reposição são avaliados através da otimização e replicados na simulação como parâmetros de entrada conforme visto na Seção 4.2. Para cada configuração de entrada, avalia-se as rupturas e perdas resultantes.

Além dessas variáveis, são coletadas ao longo da execução da simulação, outras variáveis para analisar e verificar a qualidade das soluções, conforme é apresentado pela Tabela 8.3. Todas as variáveis descritas são gravadas em um arquivo texto, replicação por replicação, para posterior cálculo das médias e análise dos resultados.

Tabela 8.3: Variáveis de análise da simulação para cada tipo sanguíneo.

Variáveis	Descrição	Unidade
NDR_w	: dias que houve ruptura no estoque;	(dias)
CDR_w	: nº de ordens de reposição realizadas no ano;	(unidade)
$CDA0_w$	: nº de ordens de reposição que aguardou até 5 horas a mais que o estimado;	(unidade)
$CDA1_w$	: nº de ordens de reposição que aguardou entre 6 e 32 horas a mais que o estimado;	(unidade)
$CDA2_w$	: nº de ordens de reposição que aguardou entre 33 e 56 horas a mais que o estimado;	(unidade)
$CDA3_w$	: nº de ordens de reposição que aguardou entre 57 e 80 horas a mais que o estimado;	(unidade)
$MediaIdade_w$	: idade média das bolsas retiradas do estoque;	(dias)
$LeadMedio_w$	: lead time médio em função das ordens de reposição;	(horas)
$QuantBolsas_w$	: bolsas que saíram do estoque para atendimento da demanda;	(bolsas)
$NaoDem_w$	: dias que não houve demanda de bolsas;	(dias)
$TempoUtil_w$	: vida útil total das bolsas que saíram do estoque para atender a demanda;	(dias)

8.1.3 Cenário inicial para simulação computacional

O cenário inicial adotado na simulação computacional considerou as premissas abordadas no estudo de caso (Capítulo 6), além dos parâmetros de entrada utilizados na determinação do número de replicações (Subseção 8.1.1) e apresentados na Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Dados de entrada para o cenário inicial.

Tipo sanguíneo	AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
E_{max}	7	1	74	9	27	3	113	13
Q_{uantr}	2	0	21	2	8	1	32	4

A definição dos parâmetros de entrada considerou o valor inteiro mais próximo, para um tamanho médio de estoque equivalente a 7 dias de demanda (247 bolsas) e um ponto de reposição de aproximadamente 2 dias de atendimento (70 bolsas). Vale ressaltar que esses dados não se referem à demanda total dos cinco hospitais, haja visto que foram eliminados registros com erros e considerados apenas aquelas bolsas de pacientes residentes em Campinas.

O propósito é investigar como variáveis de relevância para o estudo, como as perdas e rupturas, se comportam diante de um cenário qualquer preestabelecido. Para isso, são apresentados os resultados das médias percentuais de perdas, rupturas e percentual do estoque obtidos para cada tipo sanguíneo, considerando 150 replicações, com corridas de 1 ano ($J = 365$ dias). Os percentuais médios de perdas, rupturas e percentual do estoque, são calculados em função do número total de bolsas que deu entrada no estoque em longo dos 365 dias.

Os resultados obtidos são apresentados pela Tabela 8.5. De acordo com os resultados apresentados e as premissas adotadas, é notável um valor acima do esperado para o nível médio de perdas do tipo sanguíneo $AB-$ (20,29%), o que é justificado pelo baixo consumo e, ao mesmo tempo, a necessidade de reposição desse tipo sanguíneo.

Ao contrário do nível de perdas, o nível de rupturas manteve-se baixo (0,24%) para o $AB-$, entretanto, alguns tipos sanguíneos como o $O-$ exibe um nível de perdas inferior ao nível de rupturas e, nesse caso, mais elevado do que a média apresentada pelos demais

Tabela 8.5: Resultados iniciais da simulação computacional.

Tipos sanguíneos	Média e precisão	PercPerdas (%)	PercRupt (%)	PercEstoque (%)
AB+	\bar{x}	1,24	0,02	2,47
	h	0,24	0,02	0,03
AB-	\bar{x}	20,29	0,24	0,32
	h	1,06	0,14	0,01
A+	\bar{x}	0,00	0,54	29,78
	h	0,00	0,09	0,12
A-	\bar{x}	0,13	2,41	3,51
	h	0,05	0,29	0,05
B+	\bar{x}	0,00	0,34	10,77
	h	0,00	0,07	0,06
B-	\bar{x}	1,48	2,64	1,32
	h	0,17	0,33	0,02
O+	\bar{x}	0,00	2,45	46,23
	h	0,00	0,21	0,14
O-	\bar{x}	0,02	4,99	5,61
	h	0,02	0,34	0,07

tipos. Esse alto nível de rupturas mostrado pelo tipo O- se deve a disponibilidade para suprir de todos os tipos sanguíneos, faltando, quando necessário, estoque para abastecer a demanda do próprio tipo sanguíneo, visto que pode receber apenas dele mesmo.

Apesar desse cenário apresentar resultados satisfatórios (exceto para as perdas de AB-), uma análise mais precisa de resultados que atendam o objetivo proposto e às premissas definidas no trabalho, se faz necessário. Como a simulação é uma ferramenta que avalia soluções, mas não é capaz de gerar as mesmas, a busca por abordagens complementares são desejadas. A técnica de otimização via simulação, por sua vez, é uma abordagem que permite a integração de ambas as ferramentas.

8.2 Otimização via simulação

Segundo Stuckman et al. [1991], um dos métodos utilizados para otimização de variáveis quantitativas se dá diretamente pela aplicação da otimização via simulação. Muitos simuladores disponíveis no mercado já vêm com pacotes de otimização acoplados, o que permite a aplicação da técnica. Nesse contexto, a simulação passa a ser de apenas um avaliador de soluções, para também um gerador de soluções (Chwif e Medina [2015]).

8.2.1 Definição inicial de parâmetros e configurações de execução do otimizador

No intuito de encontrar soluções viáveis às premissas definidas neste trabalho e investigar melhores cenários, estabeleceu-se os parâmetros de entrada e os controles a serem utilizados na otimização via simulação. No otimizador foram definidos como parâmetros de entrada o $LimPerd_w$, $LimRupt_w$, $PercMax_w$ e ϕ . Já as variáveis da otimização ou controles, são definidos por E_{max_w} e $Quantr_w$ e possuem restrições quanto à valores mínimo e máximo de atribuição, conforme é mostrado na Tabela 8.6.

Para definição dos limites, deve-se identificar inicialmente quais são os valores possíveis para cada uma dessas variáveis, de modo a manter a operacionalidade do sistema. Nesse

Tabela 8.6: Limite dos controles.

Controles	Limite	AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
E_{max}	Mínimo	1	1	10	1	3	1	17	2
	Máximo	10	1	70	11	25	5	118	17
Q_{uantr}	Mínimo	0	0	5	0	1	0	8	0
	Máximo	3	1	30	5	10	2	51	7

caso, percebe-se que cada tipo sanguíneo apresenta um comportamento singular, o que permite estabelecer um valor limite mínimo e máximo diferente para cada um deles.

Neste estudo, considera-se para determinação dos valores mínimos e máximos dos controles, valores inteiros aproximados e baseados na demanda média de atendimento apresentada pelos dados disponibilizados pela Unicamp. O tamanho do estoque (E_{max_w}) mínimo contempla uma demanda média de 1 dia, enquanto que, o tamanho máximo, uma demanda média de 7 a 10 dias, dependendo do tipo sanguíneo. Já os valores mínimos e máximos apresentados pelo ponto de reposição (Q_{uantr_w}), retratam estoques de 0.5 dias e 3 dias, respectivamente.

O objetivo principal consiste em minimizar o tamanho do estoque de cada tipo sanguíneo em estudo, respeitando as restrições apresentadas na Seção 5.2. Nesse sentido, são definidos valores aos parâmetros de entrada que compõem o modelo matemático apresentado (Restrições 5.4 a 5.9).

Para as perdas é definido um limite máximo ($LimPerdas_w$) de 5%, para cada tipo sanguíneo, exceto para o AB-, no qual considera-se um reajuste para 20%, devido sua baixa utilização e, em controvérsia, a necessidade de manter um nível mínimo de estoque para o tipo sanguíneo em questão, o que acarreta um nível de perdas maior que 5%. O limite apresentado para as rupturas ($LimRupt_w$) já é considerado de 5% para todos os tipos sanguíneos. O ponto de reposição, por sua vez, considera-se um limite inicial de 60% do tamanho do estoque.

Também são determinados valores percentuais do tamanho do estoque para cada tipo sanguíneo ($PercMax_w$), em relação à totalidade dos estoques. Este parâmetro é visto pela restrição 5.7 e é considerado devido às limitações existentes de oferta e demanda em cada tipo sanguíneo. Logo, não adianta se ter um nível de estoque alto de um tipo sanguíneo que consiga atender vários outros tipos sanguíneos, se sua aplicabilidade no cotidiano é inviável. Da mesma forma, não adiantará se ter grandes estoques para tipos sanguíneos que são pouco consumidos.

Dessa maneira, o percentual quantitativo teve embasamento no número de pacientes, de cada tipo sanguíneo, que necessitaram de transfusão, de acordo com os dados disponibilizados. O percentual do tamanho do estoque atribuído ao otimizador, considerou um incremento adicional (Δ) em relação ao percentual quantitativo, conforme é apresentado pela Tabela 8.7.

O percentual apresentado pelo incremento Δ é determinado a partir de suposições de que o estoque máximo poderia se manter em até 20% acima da demanda apresentada pelos dados. Entretanto, é observado que alguns tipos sanguíneos apresentam tamanhos de estoque que superam mais de 30% a demanda do próprio tipo sanguíneo. Para esses, optou-se por mantê-los entre 30 e 35% acima da demanda.

Tabela 8.7: Parâmetros de entrada do otimizador.

Tipo sanguíneo	Quantitativo	Quantitativo (%)	PercMax (%)	Δ (%)
AB+	1.723	2,69	3,23	20
AB-	156	0,24	0,33	30
A+	1.9516	30,05	36,06	20
A-	2.232	3,49	4,54	30
B+	7.005	10,95	13,14	20
B-	821	1,28	1,54	20
O+	29.513	46,15	55,38	20
O-	3.278	5,13	6,66	35

Além dos parâmetros de entrada e controles já definidos, foram selecionados no otimizador, as variáveis de respostas $PercRupt_w$, $PercPerdas_w$ e $PercEstoque_w$.

Foram executados um total de 30.000 simulações para as definições apresentadas. Os resultados apresentados são descritos na subseção seguinte.

8.2.2 Análise dos resultados obtidos

Ao definir os parâmetros de entrada e os controles a serem utilizados na otimização via simulação, realiza-se a execução do cenário pelo *software*. Com isso, são geradas configurações viáveis, que atendam as restrições quanto ao nível de perdas, rupturas, percentual do estoque e ponto de reposição de produtos sanguíneos, e uma solução considerada "ótima" pelo otimizador é obtida (Tabela 8.8). Esta solução é a melhor solução obtida até que os critérios de parada sejam alcançados.

Tabela 8.8: Resultado inicial da otimização via simulação para as variáveis de controle.

Tipo Sanguíneo	AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
Emax	9	1	36	9	18	4	63	13
Quantr	1	0	18	0	9	1	34	5

A partir dos resultados apresentados na tabela acima, é possível compará-los com a solução do cenário inicial que não utiliza o *software* de otimização, a fim de observar a melhora da solução com o uso da ferramenta. Com o uso da otimização e adotando as premissas e restrições iniciais já definidas, é notado uma redução de 38,05% sobre o tamanho total do estoque. Esse estoque corresponde a um atendimento da demanda de 4,4 dias (153 bolsas) e um ponto de reposição equivalente a 1,8 dias (64 bolsas), para uma demanda média de 34,78 bolsas/dia.

Embora a melhor solução apresentada pelo otimizador seja viável, deve-se replicar o cenário sugerido no *software* de simulação, uma vez que os testes realizados pelo otimizador consideram apenas uma replicação, o que torna as variáveis respostas passíveis de distorções significativas. A decisão por realizar apenas uma replicação no otimizador foi adotada, visto o alto tempo computacional para realizar a otimização com mais replicações.

A Tabela 8.9 mostra os valores médios encontrados pelo simulador após a execução de 150 replicações (valor definido na Seção 8.1.1), para variáveis perdas, rupturas e percentual do estoque, considerando os parâmetros sugeridos pelo otimizador.

Tabela 8.9: Resultado inicial obtido com 150 replicações no simulador.

Variáveis	Média e Precisão	Tipos Sanguíneos							
		AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
PercPerdas (%)	\bar{x}	1,64	19,47	0,00	0,07	0,00	1,45	0,00	0,01
	h	0,23	1,04	0,00	0,03	0,00	0,18	0,00	0,01
PercRupt (%)	\bar{x}	0,08	0,38	1,76	4,25	0,96	2,02	0,04	4,43
	h	0,04	0,17	0,22	0,44	0,14	0,28	0,32	0,33
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,48	0,34	28,50	3,77	10,78	1,49	46,35	6,29
	h	0,04	0,01	0,18	0,09	0,08	0,03	0,17	0,10

Os resultados apresentados, mostram dentro dos limites estabelecidos, para todas as médias e precisões (h). Os níveis de perdas ainda exibem-se menores, quando comparado ao cenário inicial obtido apenas por simulação computacional, exceto para o tipo sanguíneo AB+. Nesse último caso, o aumento obtido pode ser explicado pela ampliação dos limites de *PercEstoque*, nos tipos sanguíneos compatíveis ao AB+.

Os níveis de rupturas (%) são exibidos acima do apresentado no cenário inicial, para os tipos sanguíneos AB+, AB-, A+, A- e B+. Apesar de obterem um aumento em seus níveis, como consequência do função objetivo apresentado pela função objetivo, os tipos sanguíneos possuem níveis satisfatórios.

O percentual de bolsas em estoque (*PercEstoque*) que representa o percentual do tamanho do estoque para cada tipo sanguíneo em função do tamanho total do estoque, apresentou-se dentro dos limites pré-estabelecidos. Entretanto, ao confrontar com o Quantitativo (%) exibido na tabela 8.7, os valores apresentados mostram-se mais altos aos tipos sanguíneos AB-, A-, B-, O+ e O-, devido a maior disponibilidade de atendimento dos mesmos à outros tipos sanguíneos.

Outras análises também podem ser realizadas pelo simulador, seja em relação a vida útil média das bolsas ao saírem do estoque para atendimento da demanda, ao número médio de ordens geradas ao longo do ano, ao lead time médio das ordens de reposição ou até mesmo a quantidade média de dias houve rupturas, para cada tipo sanguíneo, conforme é mostrado na Tabela 8.10.

Tabela 8.10: Resultados médios obtidos para as demais variáveis, considerando 150 replicações.

Variável	Média e Precisão	Tipos sanguíneos							
		AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
VidaUtil (dias)	\bar{x}	14,26	15,93	18,08	19,00	16,73	18,60	20,66	19,10
	h	1,69	1,90	1,18	1,36	1,21	1,44	1,14	1,62
LeadMedio (horas)	\bar{x}	24,65	24,83	25,82	25,18	25,16	24,88	26,04	25,00
	h	2,96	3,01	2,16	3,18	1,99	2,39	2,19	2,38
CDR (ordens)	\bar{x}	36,11	36,61	143,69	45,31	117,49	49,76	154,20	81,65
	h	1,12	1,01	8,52	1,52	6,18	1,69	8,61	3,70
NDR (dias)	\bar{x}	0,11	0,13	8,20	8,44	3,23	2,31	21,05	14,93
	h	0,36	0,36	5,54	4,51	2,67	1,82	9,94	6,01

CDR: número de ordens de reposição, NDR: número de dias com rupturas.

Para este cenário, as bolsas sanguíneas são retiradas do estoque para atendimento da demanda, com uma vida útil média restante entre 14 e 21 dias. As bolsas mais novas, cerca de 15,34 dias (Imax - VidaUtil), advém do estoque O-, enquanto que, as bolsas mais antigas, cerca de 21,74 dias, do estoque do tipo sanguíneo AB+.

O grupo sanguíneo O é caracterizado por apresentar estoques com a maior média de rupturas (faltas) anual. Em média, 5,77% dos dias do ano ocorrem rupturas no estoque do

tipo sanguíneo $O+$ e 4,09% no estoque de $O-$. O alto índice de rupturas apresentado neste grupo, é explicado por sua disponibilidade de suprimento aos outros tipos sanguíneos, como doador universal. Para os demais tipos sanguíneos, o número de dias com rupturas, no ano, apresenta-se inferior a 2,4%.

Os tipos sanguíneos que mais requerem ordens de reposição durante o ano, neste cenário, são os tipos $O+$, $A+$ e $B+$, respectivamente. A média encontrada pelos mesmos, superam o valor de 100 ordens anuais. As ordens de reposição, por sua vez, demoram em média de 24,65 a 26,04 horas para serem atribuídas ao estoque virtual. Essa média apresenta-se alta, devido ao número de ordens emitidas e não atribuídas ao estoque no mesmo dia (Figura 8.4), devido ao horário disponível para entregas que foi assumido neste estudo.

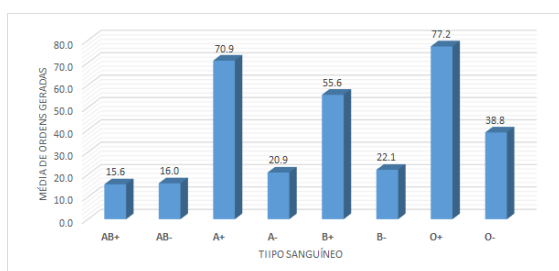


Figura 8.4: Ordens de reposição entregues em data posterior a sua geração.

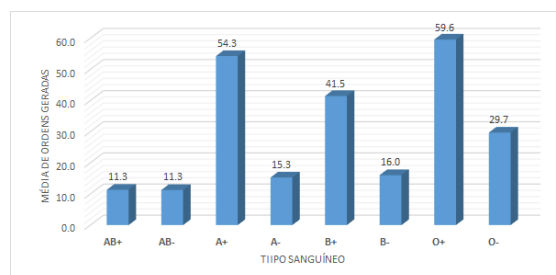


Figura 8.5: Ordens de reposição geradas ao final da semana.

Nota-se que muitas ordens não entregues no mesmo dia, são geradas, pelo modelo, durante os finais de semana e atribuídas ao estoque apenas nas segundas-feiras (Figura 8.5), o que contribui ao aumento médio do lead time encontrado. Os finais de semana, nesse caso, incluem sextas-feiras cuja previsão de entrega ultrapassariam o horário disponível para entrega, sábados e domingos.

8.2.3 Outros cenários analisados

Esta subseção tem como propósito analisar como os controles (variáveis de decisão) se comportam diante algumas alterações nos parâmetros utilizados, de modo a servir como apoio na tomada de decisão do problema em estudo. Para isso, diferentes cenários são apresentados, considerando alterações em parâmetros relativos aos níveis de perdas, rupturas e reposição, além de reconsiderações na função objetivo, limites e restrições.

As configurações propostas para cada um dos cenários realizados são apresentados pela Tabela 8.11. A configuração 1 representa o cenário inicial exposto na subseção anterior, no qual são mantidos aos parâmetros, os valores previamente definidos. Entretanto, para compreender o comportamento do estoque, no que tange os limites máximos para níveis de perdas, foram apresentadas as configurações 2 e 3, considerando, desta vez, 7% e 10 % de perdas, respectivamente.

Nas configurações 4, 5 e 6, também são adotadas limites para níveis de perdas de 5%, 7% e 10%, respectivamente. Já o limite inferior adotado para a variável de controle E_{max} , é reconsiderada agora igual a 0, para alguns tipos sanguíneos. Esses cenários são retratados para analisar o comportamento dos controles e das variáveis respostas quando se tem a alternativa de zerar o estoque de tipos sanguíneos com baixa utilização e alto

Tabela 8.11: Configurações dos cenários em estudo.

Cenários	Perdas máxima	Ponto de reposição	Função objetivo	Limite inferior Emax	Observações
Configuração 1	5%	60% do Emax	Min. Emax	1	Cenário inicial já apresentado através da otimização via simulação.
Configuração 2	7%	60% do Emax	Min. Emax	1	-
Configuração 3	10%	60% do Emax	Min. Emax	1	-
Configuração 4	5%	60% do Emax	Min. Emax	0	-
Configuração 5	7%	60% do Emax	Min. Emax	0	-
Configuração 6	10%	60% do Emax	Min. Emax	0	-
Configuração 7	5%	60% do Emax	Min. Emax e Quantr	1	-
Configuração 8	7%	60% do Emax	Min. Emax e Quantr	1	-
Configuração 9	10%	60% do Emax	Min. Emax e Quantr	1	-
Configuração 10	5%	60% do Emax	Min. Emax	1	Restrição do percentual de estoque apenas para $O-$.
Configuração 11	5%	60% do Emax	Min. Emax	1	Considera $PercEst_{O+} = 7,69\%$
Configuração 12	5%	60% do Emax	Min. Emax	1	$PercEst_{O+} = 9\%$
Configuração 13	5%	80% do Emax	Min. Emax	1	-

nível de perdas. Nestes casos, essas atribuições são feitas aos tipos sanguíneos $AB-$ e $A-$. Os demais fatores apresentados mantêm as configurações anteriores.

Com um outro tipo de abordagem são obtidas as configurações 7, 8 e 9, que diferenciam entre si pelos níveis de perdas adotadas. Elas apresentam as mesmas configurações definidas inicialmente para ponto de reposição e limite inferior do $Emax$. Mas, diferentemente das anteriores, a função objetivo dessas restrições requerem a minimização da soma dos dois controles ($Emax + Quantr$) e não apenas um deles.

Além das configurações citadas, são analisadas, através das configurações 10, 11 e 12, abordagens que envolvem limitações quanto ao percentual dos estoques, níveis de reposição e valor máximo de parâmetros, para o tipo sanguíneo $O-$. A escolha desse tipo sanguíneo é dada pelo conflito de ser um doador universal, mas possuir prevalência de apenas 9% da população brasileira (Santa Casa de Misericórdia - São Paulo [2018]).

Na configuração 10, as restrições quanto ao percentual do estoque para cada tipo sanguíneo (Equação 5.7) são desconsideradas do conjunto solução do otimizador, exceto o tipo $O-$. Já nas configurações 11 e 12, são analisadas todas as restrições descritas, porém, aumentam o limite do percentual em estoque de $O-$ para 7,69% (50% acima da média) e 9% (prevalência da população brasileira), respectivamente. Os demais fatores, por sua vez, seguem a configuração inicial.

Por fim, é apresentada a configuração 13, a fim de averiguar como o estoque se comporta ao aumentar o limite do ponto de reposição para até 80% do valor de $Emax$ e mantendo os valores iniciais aos demais fatores. Neste cenário, bem como nos três descritos anteriormente, foram considerados limites de perdas a apenas 5%, uma vez que não houve diferença nos resultados obtidos pelos cenários que adotaram outros limites para este fator.

Os resultados da função objetivo, os valores dos controles que caracterizam o tamanho do estoque virtual e o nível de reposição, em cada configuração e tipo sanguíneo, seja em unidade de dias ou de bolsas, são apresentados pela Figura 8.6 e pela Tabela 8.12.

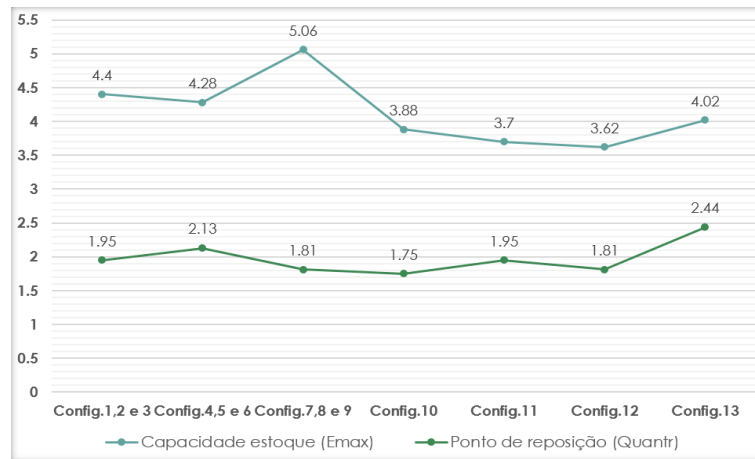


Figura 8.6: Tamanho do estoque (dias) x Ponto de reposição (dias).

Tabela 8.12: Resultados apresentados para as variáveis de controle.

Cenários	Função objetivo	Controles	Tipo sanguíneo								Total
			AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-	
Configurações 1, 2 e 3	153	<i>Emax</i>	9	1	36	9	18	4	63	13	153
		<i>Quantr</i>	1	0	18	0	9	1	34	5	68
Configurações 4, 5 e 6	149	<i>Emax</i>	8	1	34	11	21	5	55	14	149
		<i>Quantr</i>	2	0	18	2	9	1	33	5	70
Configurações 7, 8 e 9	239	<i>Emax</i>	10	1	42	10	20	5	71	17	176
		<i>Quantr</i>	2	0	14	2	10	1	28	6	63
Configuração 10	135	<i>Emax</i>	4	1	30	9	10	4	65	12	135
		<i>Quantr</i>	1	0	11	0	4	1	39	5	61
Configuração 11	129	<i>Emax</i>	2	1	18	11	6	4	70	17	129
		<i>Quantr</i>	1	0	9	5	3	1	42	7	68
Configuração 12	126	<i>Emax</i>	3	1	15	11	9	5	65	17	126
		<i>Quantr</i>	1	0	7	5	4	1	39	6	63
Configuração 13	140	<i>Emax</i>	6	1	21	7	25	5	62	13	140
		<i>Quantr</i>	2	0	16	0	10	2	48	7	85

A função objetivo, que visa minimizar o tamanho do estoque virtual total, de forma a atender os hospitais controlados, sob as premissas consideradas no estudo, mostrou melhores resultados aos apresentados pelo cenário inicial, quando se considerou a atribuição do limite inferior do *Emax* igual a 0 (Configurações 4, 5 e 6), em estoques com baixo nível de utilização que possuem outros tipos sanguíneos compatíveis capazes de suprir sua demanda, como o *AB-* e *B-*.

O tamanho do estoque virtual para as configurações 7, 8 e 9, que consideram também a minimização dos níveis de reposição de cada tipo sanguíneo, apresentou-se inferior as soluções obtidas. Nota-se que, com a consideração dos níveis de reposição nos objetivos, uma melhora foi obtida aos mesmos.

Ao restringir o percentual do estoque do tipo *O-* e desconsiderar esse percentual dos demais tipos sanguíneos (Configuração 10), uma melhoria sobre as demais soluções mencionadas pode ser visualizada. Esse ganho na função objetivo torna-se ainda maior se, ao invés de desconsiderar os outros tipos sanguíneos, considerá-los nas restrições, e, aumentar o limite do percentual de estoque para o *O-* (Configurações 11 e 12). Uma

outra solução, seria aumentar o limite do nível de reposição de 60% para 80% em relação ao tamanho do estoque (*E_{max}*).

Apesar de serem obtidas soluções viáveis pelo otimizador, uma análise mais confiável deve ser feita nas variáveis de respostas obtidas na otimização, uma vez que é adotado apenas uma replicação no simulador durante a iteração dos *softwares*, devido ao alto custo computacional de realizar mais replicações no otimizador.

Nesse intuito, as soluções obtidas pelo otimizador, foram, em um segundo momento, replicadas pelo simulador. Dessa vez, considerando um número de replicações já estabelecido (150 replicações), de forma a manter um nível de confiança de 95% e uma precisão abaixo de 1,5% nas médias das variáveis de respostas (*PercRupturas*, *PercPerdas* e *PercEstoque*).

Tabela 8.13: Resultados obtidos pelos cenários com 150 replicações no simulador.

Cenários	Variáveis	Média e Precisão	Tipos sanguíneos							
			AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
Configurações 1, 2 e 3	PercPerdas (%)	\bar{x}	1,64	19,47	0,0	0,07	0,00	1,45	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,23	1,04	0,00	0,03	0,00	0,18	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,08	0,38	1,76	4,25	0,96	2,02	4,01	4,43
<i>h</i>		0,04	0,17	0,22	0,44	0,14	0,28	0,32	0,33	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,48	0,34	28,50	3,77	10,78	1,49	46,35	6,29	
	<i>h</i>	0,04	0,01	0,18	0,09	0,08	0,03	0,17	0,10	
Configurações 4, 5 e 6	PercPerdas (%)	\bar{x}	1,72	22,92	0,00	0,09	0,00	2,25	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,40	1,13	0,00	0,03	0,00	0,30	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,07	0,24	1,86	2,54	0,74	1,63	4,59	4,54
<i>h</i>		0,05	0,16	0,24	0,28	0,12	0,25	0,39	0,28	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,58	0,32	28,34	4,39	10,92	1,53	45,66	6,26	
	<i>h</i>	0,03	0,01	0,19	0,08	0,07	0,03	0,20	0,10	
Configuração 7, 8 e 9	PercPerdas (%)	\bar{x}	1,81	24,68	0,00	0,08	0,00	2,20	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,33	1,27	0,00	0,03	0,00	0,27	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,03	0,17	1,28	2,10	0,50	1,27	3,53	3,01
<i>h</i>		0,02	0,12	0,17	0,24	0,09	0,20	0,28	0,22	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,64	0,30	27,69	4,32	10,88	1,51	46,08	6,58	
	<i>h</i>	0,04	0,01	0,19	0,10	0,08	0,03	0,18	0,10	
Configuração 10	PercPerdas (%)	\bar{x}	0,66	11,96	0,00	0,03	0,00	0,45	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,10	1,05	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00	0,00
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,47	0,68	3,20	4,29	3,50	2,82	3,62	5,09
<i>h</i>		0,14	0,24	0,33	0,36	0,42	0,32	0,28	0,31	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,16	0,42	26,16	4,60	9,12	2,17	49,20	6,18	
	<i>h</i>	0,03	0,01	0,26	0,12	0,13	0,06	0,22	0,09	
Configuração 11	PercPerdas (%)	\bar{x}	0,51	7,99	0,00	0,02	0,00	0,19	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,09	0,80	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,67	0,26	2,85	1,54	3,86	1,57	2,58	2,28
<i>h</i>		0,18	0,13	0,39	0,19	0,57	0,21	0,25	0,20	
PercEstoque (%)	\bar{x}	1,84	0,53	22,95	7,29	7,74	2,73	50,46	6,46	
	<i>h</i>	0,05	0,02	0,43	0,25	0,20	0,09	0,31	0,13	
Configuração 12	PercPerdas (%)	\bar{x}	0,64	9,69	0,00	0,02	0,00	0,62	0,00	0,10
		<i>h</i>	0,11	0,90	0,00	0,01	0,00	0,16	0,00	0,14
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,53	0,32	4,10	1,64	2,88	1,73	3,19	2,89
<i>h</i>		0,18	0,15	0,55	0,19	0,43	0,26	0,32	0,25	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,05	0,46	21,54	8,24	9,03	2,40	49,76	6,58	
	<i>h</i>	0,04	0,01	0,49	0,31	0,15	0,08	0,38	0,12	
Configuração 13	PercPerdas (%)	\bar{x}	1,00	20,42	0,00	0,02	0,00	2,60	0,00	0,01
		<i>h</i>	0,16	1,27	0,00	0,02	0,00	0,48	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,07	0,09	1,98	3,78	0,41	0,94	1,80	2,33
<i>h</i>		0,06	0,08	0,30	0,42	0,09	0,19	0,20	0,20	
PercEstoque (%)	\bar{x}	2,42	0,33	25,88	4,02	10,96	1,53	48,74	6,13	
	<i>h</i>	0,03	0,01	0,33	0,13	0,07	0,03	0,26	0,09	

Os resultados apresentados para as variáveis de respostas do otimizador, utilizando 150

replicações, estão descritos na Tabela 8.13. É apresentado um número médio de perdas acima do esperado para o tipo sanguíneo $AB-$, nas configurações 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 13. Por outro lado, essa média reduz significativamente ao considerar restrições da percentual de estoque apenas ou incremento do limite da percentual de estoque para o tipo $O-$, nas configurações 10 (11,96%), 11 (7,99%) e 12 (9,69%), respectivamente. Nos demais tipos sanguíneos, as taxas mostram-se baixas e dentro dos limites estabelecidos.

As rupturas, por sua vez, exibem taxas dentro dos limites estabelecidos, em todos os cenários. Entretanto, o tipo sanguíneo $O-$ possui médias mais elevadas, com variações entre 3% e 4,55%, somado a exceção apresentada na configuração 10, com uma média de 5,09%, ou seja, superior ao estabelecido como premissa. Apesar de extrapolar os limites estabelecidos, essa média é permanente dentro da precisão, para um nível de confiança estatística de 95%. Além disso, vale ressaltar que essas diferenças são passíveis de ocorrer, devido ao número de replicações realizadas pelo otimizador.

As taxas de rupturas exibem-se mais altas nos tipos sanguíneos $A+$ (aumentos mais leves) e $B+$ (aumentos mais acentuados), quando se restringe o tamanho do estoque apenas ao $O-$ (Configuração 10) ou ampliam seu limite do percentual de estoque (Configurações 11 e 12). Já as taxas de rupturas do tipo $O+$, mostram-se mais baixas, ao confrontar todas as suas configurações, quando o nível de reposição é ampliado para até 80% do tamanho do estoque.

Para o percentual do estoque, o valor do limite estabelecido ao tipo sanguíneo $AB-$ já é excedido nos cenários iniciais, e abrangem maiores diferenças ao se considerar cenários que envolvem modificações para o tipo $O-$. O limite atribuído ao tipo $A-$, também é superado para as configurações 7, 8, 9, 10, 11 e 12, e chega a apresentar uma elevação de até 82% sobre o valor considerado. Já para o tipo $B-$, as extrapolações do limite ocorrem nas configurações 10, 11 e 12.

Em outro panorama, encontram-se os tipos sanguíneos $A+$, $B+$, $O+$ e $O-$, que se mantêm dentro dos limites estabelecidos para seus percentuais de estoque. O tipo sanguíneo $A+$, apesar de conseguir comportar até 36,06% do tamanho total do estoque, não ultrapassa o percentual de 29% em todos os cenários, sendo seu percentual mínimo de 21,54%, pela configuração 12. Já o $B+$ exibe um valor mínimo através da configuração 11, enquanto, para o tipo $O+$, esse valor é apresentado pelas restrições 4, 5 e 6.

Além dos resultados médios obtidos para as variáveis respostas marcadas no otimizador, evidencia-se através da Tabela 8.14, àquelas variáveis cuja estatística é calculada apenas no simulador, para fins de complemento às demais análises.

A média de idade das bolsas sanguíneas retiradas do estoque para atendimento da demanda, se apresentam menores (bolsas mais novas) para o tipo sanguíneo $O+$ e maiores (bolsas mais velhas) para o tipo $AB+$. Enquanto, a menor média de idade (15,1 dias) é mostrada pelo tipo sanguíneo $B-$, na configuração 11, que considera uma elevação no limite do tipo $O-$. A maior média de idade (22,4 dias), é estabelecida pelo tipo sanguíneo $AB+$, através das configurações 7, 8 e 9, que consideram a minimização do tamanho do estoque e o nível de reposição conjuntamente, na função objetivo. Além disso, nota-se que a vida útil apresentada pelos tipos sanguíneos com fator RhD^{++} , são mais elevadas nas configurações 10, 11 e 12, que alteram em restrições e limitações para o tipo $O-$.

Os estoques virtuais que apresentam um menor número de dias com rupturas (falta) são aqueles abastecidos com os tipos sanguíneos $AB-$ e $AB+$, respectivamente, em todas

Tabela 8.14: Resultados médios para as variáveis analisadas pelo simulador.

Cenários	Variáveis	Média e Precisão	Tipos sanguíneos							
			AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
Configurações 1, 2 e 3	VidaUtil (dias)	\bar{x}	14,26	15,93	18,08	19,00	16,73	18,60	20,66	19,10
		h	1,69	1,90	1,18	1,36	1,21	1,436	1,14	1,62
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	24,65	24,83	25,82	25,18	25,16	24,88	26,04	25,00
		h	2,96	3,01	2,16	3,18	1,99	2,39	2,19	2,38
	CDR (ordens)	\bar{x}	36,11	36,61	143,69	45,31	117,49	49,76	154,20	81,65
		h	1,12	1,01	8,52	1,52	6,18	1,69	8,61	3,70
	NDR (dias)	\bar{x}	0,11	0,13	8,20	8,44	3,23	2,313	21,05	14,93
		h	0,36	0,36	5,54	4,51	2,67	1,82	9,94	6,01
Configurações 4, 5 e 6	VidaUtil (dias)	\bar{x}	14,22	15,89	18,25	18,42	16,20	17,55	20,86	19,03
		h	0,33	0,28	0,18	0,25	0,26	0,29	0,18	0,21
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	25,35	25,02	25,78	24,73	25,07	25,28	25,94	25,23
		h	0,52	0,58	0,32	0,42	0,34	0,470	0,36	0,39
	CDR (ordens)	\bar{x}	46,05	34,15	151,71	54,76	101,07	39,61	168,27	77,16
		h	1,92	1,04	8,76	1,93	5,29	1,42	10,38	2,91
	NDR (dias)	\bar{x}	0,09	0,07	8,24	5,78	2,58	1,77	23,51	14,62
		h	0,05	0,04	0,98	0,56	0,38	0,24	1,84	0,84
Configurações 7, 8 e 9	VidaUtil (dias)	\bar{x}	13,56	15,57	18,17	18,86	16,35	17,50	20,55	18,43
		h	0,29	0,29	0,15	0,21	0,23	0,27	0,18	0,21
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	24,75	24,94	24,88	25,42	25,01	25,18	24,18	24,82
		h	0,51	0,50	0,40	0,44	0,321	0,51	0,32	0,36
	CDR (ordens)	\bar{x}	38,69	32,62	114,800	59,55	115,84	39,53	119,65	69,90
		h	1,27	0,91	4,90	1,89	6,09	1,45	5,73	2,45
	NDR (dias)	\bar{x}	0,07	0,05	5,73	5,00	1,82	1,47	19,12	10,73
		h	0,045	0,037	0,65	0,46	0,28	0,22	1,30	0,72
Configuração 10	VidaUtil (dias)	\bar{x}	16,98	16,85	18,62	19,64	18,23	20,29	20,66	19,51
		h	0,19	0,26	0,17	0,23	0,15	0,23	0,16	0,20
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	25,84	25,57	26,24	25,73	25,87	25,57	26,19	25,15
		h	0,35	0,43	0,36	0,42	0,32	0,39	0,34	0,33
	CDR (ordens)	\bar{x}	69,73	44,67	129,55	54,44	127,51	67,67	164,37	91,05
		h	2,56	1,53	6,66	2,03	6,26	2,83	9,03	3,73
	NDR (dias)	\bar{x}	0,55	0,24	12,45	10,86	9,43	4,28	19,71	16,28
		h	0,14	0,08	1,17	0,82	0,96	0,46	1,34	0,86
Configuração 11	VidaUtil (dias)	\bar{x}	18,04	17,27	19,34	19,67	18,79	20,90	20,34	17,86
		h	0,17	0,27	0,11	0,25	0,12	0,26	0,21	0,28
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	25,48	25,48	26,12	26,05	26,08	25,63	25,76	24,54
		h	0,27	0,40	0,30	0,38	0,27	0,36	0,33	0,41
	CDR (ordens)	\bar{x}	105,97	52,84	162,89	94,37	149,97	78,10	155,80	72,43
		h	4,81	2,29	8,31	4,90	7,44	3,99	9,50	3,10
	NDR (dias)	\bar{x}	0,61	0,13	9,76	6,21	8,55	3,05	14,63	8,11
		h	0,14	0,06	1,16	0,73	1,11	0,40	1,29	0,70
Configuração 12	VidaUtil (dias)	\bar{x}	17,42	17,02	19,44	19,81	18,12	19,47	20,50	18,02
		h	0,18	0,26	0,11	0,27	0,17	0,34	0,20	0,34
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	25,93	25,63	26,33	25,60	26,08	25,20	25,97	24,43
		h	0,36	0,45	0,31	0,38	0,32	0,45	0,38	0,43
	CDR (ordens)	\bar{x}	86,05	48,98	153,51	96,09	127,33	56,71	159,01	67,24
		h	3,66	1,80	7,97	5,42	7,52	2,86	10,06	2,71
	NDR (dias)	\bar{x}	0,60	0,14	12,59	7,60	7,83	3,01	18,03	10,03
		h	0,16	0,06	1,50	0,84	1,08	0,42	1,67	0,83
Configuração 13	VidaUtil (dias)	\bar{x}	15,31	15,78	18,94	20,10	15,80	16,79	20,37	18,60
		h	0,28	0,27	0,12	0,20	0,22	0,30	0,18	0,24
	LeadMedio (horas)	\bar{x}	25,25	25,46	26,12	25,79	25,36	24,63	25,37	24,73
		h	0,40	0,50	0,25	0,41	0,35	0,43	0,30	0,37
	CDR (ordens)	\bar{x}	60,45	35,92	198,93	60,30	92,32	49,27	195,95	97,03
		h	2,66	1,04	12,77	2,34	4,08	2,13	13,68	5,16
	NDR (dias)	\bar{x}	0,07	0,03	8,13	7,95	1,57	1,12	10,43	7,84
		h	0,05	0,03	1,07	0,78	0,30	0,21	1,07	0,63

CDR: número de ordens de reposição, NDR: número de dias com rupturas.

as configurações. Por outro lado, o tipo sanguíneo caracterizado com maior número de dias com rupturas é o O+ (10,43% a 23,51%), seguido dos tipos O- (7,84% a 16,28%), A+ (5,73% a 12,59%) e A- (5% a 10,86%). Enquanto, os tipos O+ e O-, exibem o menor número de dias com rupturas através configuração 13, os tipos A+ e A-, já encontram o

menor valor a partir das configurações 7, 8 e 9.

Em relação a emissão das ordens de reposição (CDR), a tabela 8.14 mostra que os tipos sanguíneos que mais emitem ordens são o A+, B+ e O+. Também nota-se que, a ampliação do nível de reposição para até 80% do tamanho do estoque (Configuração 13), aumenta a emissão de ordens, desta vez, apenas aos tipos sanguíneos A+ e O+. Os tipos sanguíneos O+ e O-, apresentam-se com um maior número de registros de ordens (195,95 e 97,03 ordens), quando executado a configuração 13. Não obstante, tem-se a evidência no aumento do nível de ordens emitidas para os tipos sanguíneos AB+, AB-, B+ e B-, ao utilizar as configurações 10, 11 e 12.

Em outra vertente, têm-se as ordens cujos números de emissão exibem-se menores. Nas configurações 7, 8 e 9, por exemplo, o tipo sanguíneo A+ apresentou-se com menor valor para o número de ordens emitidas (114,8 ordens), já nas configurações 1, 2 e 3, o menor valor foi atribuído ao tipo sanguíneo A- (45,31 ordens). As configurações 7,8 e 9, por sua vez, declaram o menor número de ordens emitidas ao tipo O+ (119,65 ordens), enquanto que, a configuração 12 ao tipo O- (67,24 ordens).

Quando a ordem de reposição é emitida, por sua vez, o tempo transcorrido até a atribuição da ordem ao estoque virtual, leva em média entre 24 e 27 horas. Essa média se apresenta alta, conforme já mencionado, devido ao número de ordens emitidas e não atribuídas ao estoque no mesmo dia (Figuras 8.7 a 8.13). Nota-se que muitas vezes, essas ordens são emitidas durante os finais de semana (sextas-feiras, sábados e domingos) e atribuídas ao estoque apenas nas segundas-feiras, visto as considerações adotadas ao estudo quanto ao horário de funcionamento do hemocentro.

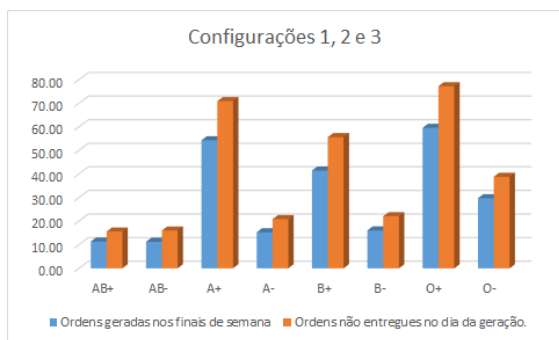


Figura 8.7: Ordens emitidas para as configurações 1, 2 e 3.

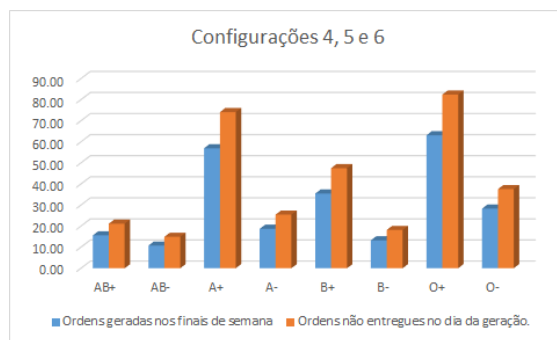


Figura 8.8: Ordens emitidas para os cenários 4, 5 e 6.

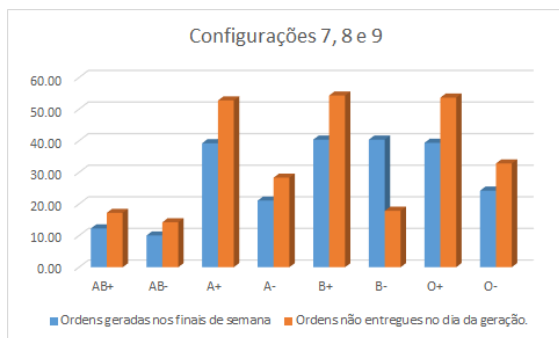


Figura 8.9: Ordens emitidas para as configurações 7, 8 e 9.

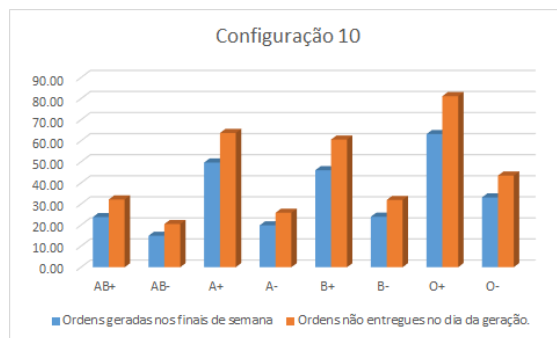


Figura 8.10: Ordens emitidas para a configuração 10.

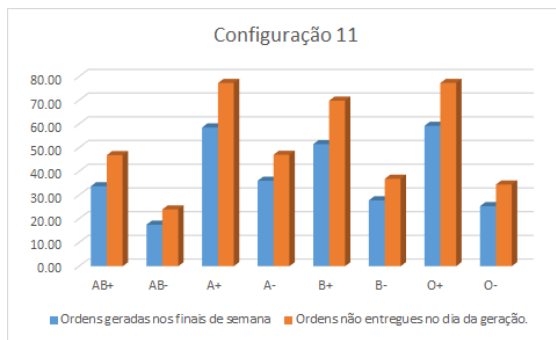


Figura 8.11: Ordens emitidas para a configuração 11.

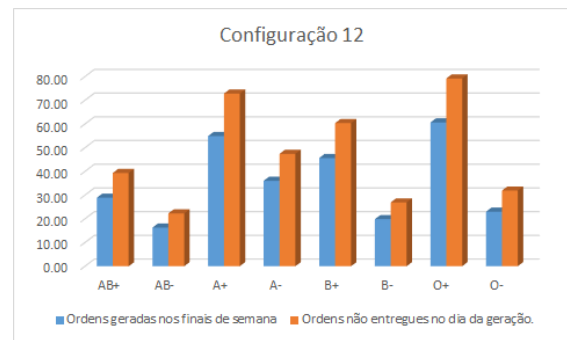


Figura 8.12: Ordens emitidas para a configuração 12.

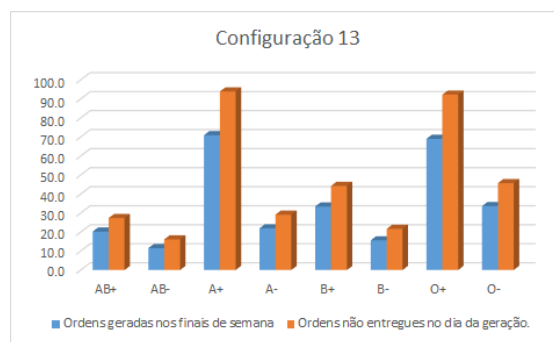


Figura 8.13: Ordens emitidas para a configuração 13.

Baseado nos resultados apresentados, o cenário 12 surge como a melhor opção ao analisar o principal propósito deste estudo, que é encontrar o estoque mínimo que atenda a demanda, com perdas e rupturas em níveis aceitáveis. Entretanto, os percentuais do estoque nesta configuração encontram-se superados para os tipos sanguíneos AB-, A- e B-.

Uma opção sugerida, que não extrapola os limites percentuais do estoque, é exibida pela configuração 13, que considera um aumento do limite máximo do ponto de reposição. Esta configuração, apresenta-se com níveis de perdas e rupturas aceitáveis, de acordo com a precisão desejada.

Vale ressaltar, que as análises feitas retratam o abastecimento do hemocomponente, através de um estoque virtual capaz de suprir os cinco hospitais controlados para atender a população residente em Campinas. Premissas foram consideradas e dados filtrados (e tratados), de forma a atender todos os requisitos.

8.2.4 Análises adicionais consideradas

Com o interesse em analisar a demanda necessária para atender todos os registros que requerem o concentrado de hemácias, foram criadas duas situações. As análises consideram incrementos na demanda, de acordo com um fator de correção, conforme é mostrado a seguir:

- Situação 1: considera um fator de correção que abrange o atendimento de Concentrado de Hemácias, para os residentes em Campinas, em todos os hospitais apresentados e englobando todos os grupos sanguíneos.

- Situação 2: considera um fator de correção que abrange o atendimento de Concentrado de Hemácias, em todos os hospitais e ambulatórios, para residentes e não residentes em Campinas, considerando todos os grupos sanguíneos.

Os fatores de correção, por sua vez, são calculados de acordo com as Equações 8.3 e 8.4 e, posteriormente, exibidos na Tabela 8.15.

$$Correcao_{s1} = \frac{Total1}{PopEst} \tag{8.3}$$

$$Correcao_{s2} = \frac{Total2}{PopEst} \tag{8.4}$$

Onde,

Total1: refere-se a quantidade de registros de pacientes residentes em Campinas, que demandam concentrado de hemácias, em todos os hospitais.

Total2: refere-se a quantidade de registros de pacientes, residentes e não residentes em Campinas, que demandam concentrado de hemácias.

PopEst: refere-se a quantidade de registros considerada no estudo, após a filtragem e tratamentos dos dados.

Tabela 8.15: Valores apresentados para cálculo do fator de correção.

Total de registros do estudo (PopEst: 63.947)		
Situação 1	Total1	68.483
	Correcao _{s1}	1,071
Situação 2	Total2	139.314
	Correcao _{s2}	2,1785

Após a determinação dos fatores de correção, são redefinidas as distribuições de demanda do simulador, a partir da multiplicação do fator de correção às mesmas; e ampliados, na mesma proporção, os limites estabelecidos aos controles do otimizador.

Para estas análises, diferentemente dos cenários anteriores, é considerado uma execução de otimização com 15.000 simulações, contendo 5 replicações cada uma. Os resultados apresentados pelos parâmetros de controle, por sua vez, são expressos na Tabela 8.16. Já os resultados para percentual do estoque, perdas e rupturas, apresentados a partir de 150 replicações no simulador, são exibidos na Tabela 8.17.

Tabela 8.16: Resultados obtidos para os controles, função objetivo e demanda.

Fator Análise	Variável	Situação 1 Tipos Sanguíneos								Situação 2 Tipos Sanguíneos							
		AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-	AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
Controles	E _{max}	6	1	35	6	22	4	55	17	15	2	70	18	47	10	105	33
	Q _{uantr}	2	0	21	3	11	1	33	2	2	0	40	3	28	5	63	13
Resultados	Função objetivo	146								300							
	Demanda Total	13.598,68								27.695,01							

Ao considerar a demanda para atender toda a população de Campinas que requiere o concentrado de hemácias, na situação 1, o ideal seria manter um estoque virtual médio equivalente a 3,92 dias de consumo (146 bolsas sanguíneas). Já quando considera-se o

Tabela 8.17: Resultados obtidos pelos cenários analisados, com 150 replicações no simulador.

Situações	Variável	Média e Precisão	Tipos Sanguíneos							
			AB+	AB-	A+	A-	B+	B-	O+	O-
Situação 1	PercPerdas (%)	\bar{x}	0,83	18,50	0,00	0,06	0,00	1,66	0,00	0,01
		h	0,13	1,12	0,00	0,02	0,00	0,25	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,11	0,53	2,36	4,76	0,77	3,21	5,60	7,61
		h	0,06	0,27	0,30	0,48	0,11	0,37	0,45	0,44
	PercEstoque (%)	\bar{x}	2,46	0,32	28,79	3,74	11,11	1,40	45,67	6,50
		h	0,03	0,01	0,17	0,07	0,08	0,03	0,22	0,14
Situação 2	PercPerdas (%)	\bar{x}	0,77	15,27	0,00	0,05	0,00	2,00	0,00	0,01
		h	0,15	0,95	0,00	0,02	0,00	0,25	0,00	0,01
	PercRupt (%)	\bar{x}	0,12	0,32	2,40	3,82	0,47	1,22	6,18	4,02
		h	0,08	0,18	0,31	0,43	0,09	0,24	0,55	0,29
	PercEstoque (%)	\bar{x}	2,39	0,31	28,48	4,03	11,29	1,49	44,85	7,16
		h	0,03	0,01	0,21	0,11	0,08	0,02	0,26	0,16

atendimento de pacientes de todos os hospitais e ambulatórios, residentes e não residentes em Campinas (Situação 2), o estoque virtual equivaleria a uma demanda média de 3,95 dias (300 bolsas sanguíneas).

De acordo com a Tabela 8.17, os níveis de perdas por expiração do hemocomponente, para todos os tipos sanguíneos, mostram-se em ambas as situações, abaixo dos limites estabelecidos. Por outro lado, os níveis de rupturas mantiveram-se fora dos limites estabelecidos para os tipos sanguíneos O+ (Situação 1 e 2) e O- (Situação 1). Para os demais tipos, os níveis de rupturas são satisfeitos.

Por fim, ao observar os níveis de rupturas e os níveis de perdas apresentados, nota-se que esses primeiros se apresentam mais elevados nos tipos sanguíneos AB+, AB- e B-, para situação 1, e nos tipos AB+ e AB-, para a situação 2. O percentual de estoque, por sua vez, se mantiveram dentro dos limites pré-estabelecidos em todos os tipos sanguíneos.

Capítulo 9

Conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros

Este estudo propôs uma metodologia de simulação que se mostrou adequada ao problema do dimensionamento de estoques de hemocomponentes, a fim de atender a demanda de hospitais abastecidos por um hemocentro de grande porte. O objetivo principal foi definir o tamanho do estoque mínimo capaz de atender satisfatoriamente a demanda dos hospitais. Adicionalmente, foi determinado o ponto de reposição adequado ao estoque dimensionado.

Foi desenvolvido um modelo de simulação que descreve o suprimento e a demanda de sangue nos hospitais estudados. Como em qualquer estudo de simulação, foram adotadas diversas premissas visando à simplificação do modelo. As premissas dizem respeito a demanda, coleta, tempo de vida das bolsas, lead time, entre outros.

Como algumas variáveis do sistema, tais como, percentual de perdas e rupturas do estoque, não podem ser determinadas analiticamente, optou-se por uma abordagem de otimização via simulação, para atingir os objetivos, visto que a simulação computacional, por si só, não é suficiente nesse caso.

Foram estudados 13 cenários com diferentes configurações para perdas (de 5%, 7% e 10%), rupturas de 5%, ponto de reposição máximo de 60% ou 80% do tamanho do estoque e limite mínimo de estoque de 0 ou 1 bolsa para o tipo *AB-*. A função objetivo foi minimizar o tamanho do estoque ou o tamanho do estoque mais o ponto de reposição. Em alguns cenários, foram consideradas as restrições relativas ao percentual máximo apenas para o tipo *O-*. Outros cenários, mantiveram as restrições para todos os tipos sanguíneos, mas consideraram uma restrição com limites mais altos para o tipo *O-*.

Neste estudo concluiu-se que um estoque de bolsas, equivalente a dias de consumo, entre 3,62 e 5,06 dias (entre 126 e 176 bolsas), é suficiente para atender à demanda de concentrado de hemácias, com perdas máximas de 5%, exceto para o tipo sanguíneo *AB-*, cujas perdas podem chegar a pouco mais de 20% em alguns cenários estudados, em função das restrições adotadas. Com relação as rupturas, esse nível de estoque apresentou rupturas abaixo da faixa dos 5%. Também foram calculados pontos de reposição para cada tipo sanguíneo.

Como o estudo foi feito para suprimento da demanda por concentrado de hemácias de apenas cinco hospitais selecionados e somente para o atendimento de pacientes residentes

em Campinas, foram criados mais dois cenários adicionais para ampliar essa demanda de modo a tornar a análise mais realística. No primeiro cenário considerou-se um suprimento da demanda de concentrado de hemácias, a pacientes residentes em Campinas, atendidos por qualquer hospital. O segundo cenário, por sua vez, considerou o suprimento da demanda de concentrado de hemácias, a pacientes residentes e não residentes em Campinas, em todos os hospitais. Para estes cenários, foram obtidos os seguintes resultados para o estoque de bolsas: equivalente a 3,92 dias (146 bolsas) e 3,95 dias (300 bolsas) de consumo, para o primeiro e segundo cenário, respectivamente.

Assim, pode-se concluir que, em qualquer cenário, um estoque de concentrado de hemácias equivalente a aproximadamente 4 dias é adequado ao atendimento das demandas desse hemocomponente considerando as premissas e restrições adotadas para o modelo.

Sugere-se para trabalhos futuros que sejam feitas melhorias para redução do tempo computacional. Para tanto, sugere-se a criação de heurísticas próprias, desenvolvidas especificamente para o sistema em estudo, o que pode ser vantajoso. Também é interessante realizar um número maior de replicações no modelo de otimização via simulação, uma vez que um número maior de replicações tende a produzir soluções com maior precisão.

A incorporação da perspectiva de uso de bolsas caracterizadas com antígeno RhD+ em pacientes com RhD-, também é uma sugestão para trabalhos futuros, a fim de evitar rupturas de estoque, do tipo sanguíneo O- por exemplo.

Uma outra sugestão para trabalhos futuros seria introduzir dados relativos à coleta de bolsas sanguíneas, visto que neste estudo foi considerado que no hemocentro sempre haveria bolsas para suprir a demanda requerida pelo estoque previsto para os hospitais. Entretanto, a viabilidade dessa sugestão depende da disponibilidade de tais dados.

Por fim, sugere-se adequar o modelo proposto neste trabalho, visando sua generalização, de forma que ele seja facilmente ajustado para representar sistemas semelhantes a esses existentes nas grandes cidades.

Referências Bibliográficas

- Centro Infantil Boldrini, 2018. URL <http://www.boldrini.org.br>.
- Hemocentro de Campinas. O hemocentro: Missão, visão e política de qualidade. *Centro de Hematologia e Hemoterapia – Hemocentro de Campinas*.
- Hospital Celso Pierro da Puc-Campinas, 2018. URL <http://www.hospitaldapuc-campinas.com.br>.
- Hospital das Clínicas da Unicamp, 2018. URL <https://www.hc.unicamp.br>.
- U. Abdulwahab e M. I. M. Wahab. Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank. *Computers & Industrial Engineering*, 78:259–270, 2014.
- M. W. An, N. G. Reich, S. O. Crawford, R. Brookmeyer, T. A. Louis, e K. E. Nelson. A stochastic simulator of a blood product donation environment with demand spikes and supply shocks. *PLOS ONE*, 6(7), 2011.
- M. P. Atkinson, M. J. Fontaine, L. T. Goodnough, e L. M. Weinm. A novel allocation strategy for blood transfusions: investigating the trade off between the age and availability of transfused blood. *Transfusion*, 52(1):108–117, 2012.
- A. Azadeh, S. Ghaderi, e H. Izadbakhsh. Integration of dea and ahp with computer simulation for railway system improvement and optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 195(2):775–785, 2008.
- F. Azadivar. A tutorial on simulation optimization. *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation*, 195(2):184–204, 1992.
- F. Baesler, C. Martinez, E. Yaksic, e C. Herrera. Logistic and production process in a regional blood center: modeling and analysis. *Revista medica de Chile*, 139(9):1150–1156, 2011.
- F. Baesler, M. Nemeth, C. Martinez, e A. Bastias. Analysis of inventory strategies for blood components in a regional blood center using process simulation. *Transfusion*, 54(2):323–330, 2014.
- J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, e D. M. Nicol. Discrete-event system simulation. *Pearson Education*, (4 ed.), 2005.
- R. Beulke e D. J. Berto. Estrutura e análise de custos. 2001.
- R. V. Boppana e S. Chalasani. Analytical models to determine desirable blood acquisition rates. *IEEE International Conference on*, 2007.

- L. Chwif e A. C. Medina. Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações. 2015.
- I. Civelek, I. Karaesmen, e A. Scheller-Wolf. Blood platelet inventory management with protection levels. *European Journal of Operational Research*, 243(3):826–838, 2015.
- Complexo Hospitalar Pref. Edivaldo Orsi, 2018. URL <http://chpeo.animaker.com.br>.
- M. C. Cooper, D. M. Lambert, e J. D. Pagh. Supply chain management: More than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8:1–14, 1997.
- M. C. Cooper, D. M. Lambert, e J. D. Pagh. Modelagem e gestão dos estoques de sangue do hemorio. *Tese de Doutorado*, 2016.
- P. D. Cumming, K. E. Kendall, c. c. Pegels, e J. P. Seagle. Cost e_ectiveness of use of frozen blood to alleviate blood shortages. *Transfusion*, 17(6):602–606, 1977.
- A. D’Ambrogio, G. Iazeolla, L. Pasini, e A. Pieroni. Simulation model building of traffic intersections. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17:625–640, 2009.
- F. Desalvo, F. Verlicchi, e I. Tomasini. An estimate of future transfusion needs in the province of ravenna made on the basis of italian national statistics and past consumption. *Blood Transfusion*, 9(4):413, 2011.
- G. Dumkrieger, T. R. Huschka, e J. R. Stubbs. Modeling the effect of shorter shelf life of red blood cells on blood supplies. *Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 1293–1304, 2014.
- B. M. Geronimo e G. C. Antonelli. Modelagem e simulação dinâmica do banco de sangue maringá: um estudo de caso. *Trabalhos de conclusão de curso do departamento*, 2016.
- E. Guobjornsdottir. Blood bank inventory management analysis. 2015.
- J. L. M. Gurgel e B. B. T. Do Carmo. Dimensionamento do estoque de derivados de sangue em um hemocentro do brasil baseado em um modelo de gestão de estoques e previsão de demanda. *Revista Produção Online*, 14(1):264–293, 2014.
- R. Haijema. A new class of stock-level dependent ordering policies for perishables with a short maximum shelf life. *International Journal of Production Economics*, 143(2): 434–439, 2013.
- R. Haijema, J. Van der Wal, e N. M. Van Dijk. Blood platelet production: Optimization by dynamic programming and simulation. *Computers & Operations Research*, 34(3): 760–779, 2007.
- R. Haijema, N. V. Dijk, J. Van der Wal, e C. S. Sibinga. Blood platelet production with breaks: optimization by sdp and simulation. *International Journal of Production Economics*, 121(2):464–473, 2009.
- Hemocentro de Campinas. Serviço de transfusão do laboratório de compatibilidade. *Manual básico de orientações transfusionais*, 2010.

- J. R. Hess. . red cell freezing and its impact on the supply chain. *Transfusion Medicine*, 14(1):1–8, 2004.
- F. S. Hillier e G. J. Lieberman. Introdução à pesquisa operacional. *McGraw-Hill*, (9), 2013.
- Hospital Municipal Dr. Mário Gatti, 2018. URL <http://chpeo.animaker.com.br>.
- I. B. d. A. P. IBAP. Blog: Conheça mais sobre a doação de sangue. *Management Science*, 2017.
- J. B. Jennings. Blood bank inventory control. *Management Science*, 19(6):637–645, 1973.
- P. Jonsson. Logistics and supply chain management. *McGraw-Hill Education*, 2008.
- K. Katsalaki. Cost-effective practices in the blood service sector. *Health Policy*, 86: 276–287, 2008.
- D. V. Kelton. Simulation with arena. *McGraw Hill*, (2 ed.), 2002.
- R. Kopach, B. Balcioglu, e M. Certer. Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates. *European Journal of Operational Research*, 185(3):1051 – 1059, 2008.
- J. P. Kretchy, G. N. Doku, R. A. Annor, B. S. Addy, e R. K. Asante. Distribution of abo blood group/rhesus factor in the eastern region of ghana, towards effective blood bank inventory. *Scholars Journal of Applied Medical Sciences (SJAMS)*, 2017.
- A. Law. Simulation model’s level of detail determines effectiveness. *Industrial Engineering*, 23(10):16–18, 1991.
- A. M. Law e W. D. Kelton. Simulation modeling and analysis. (3 ed), 2000.
- H. Lowalekar e R. R. Ravi. Revolutionizing blood bank inventory management using the toc thinking process: An indian case study. *International Journal of Production Economics*, 186:89–122, 2017.
- H. Lowalekar e N. Ravichandran. Blood bank inventory management in india. *Opsearch*, 51(3):376–379, 2014.
- P. G. Martins e P. R. C. Alt. Administração de materiais e recursos patrimoniais. *Saraiva, São Paulo*, (3 ed.):637–645, 2009.
- B. Mendonca, A. Phibbs, J. Vandermeer, e Z. J. Pasek. Use of simulation in support of analysis and improvement of blood collection process. *Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 2352–2363, 2010.
- Ministério da Saúde. Guia para o uso de hemocomponentes. 2015.
- Ministério da Saúde. Apenas 1,8% dos brasileiros são doadores de sangue. 2017.
- J. Mylopoulos. Conceptual modelling and telos. *Conceptual Modelling, Databases, and CASE: an Integrated View of Information System Development*, New York: John Wiley & Sons, pages 49–68, 1992.

- E. Naddor. Inventory systems. 1966.
- B. S. Onggo. Elements of a hybrid simulation model: a case study of the blood supply chain in low-and middle-income countries. *Proceedings of the 2014 winter simulation conference*, pages 1597–1607, 2014.
- C. Pegels, J. P. Seagle, P. C. Cumming, K. E. Kendall, e J. F. Shubsda. An analysis of selected blood service policy changes. *Medical care*, 15(2):147–157, 1977.
- M. Pidd. Tools for thinking: Modelling in management science. *Wiley: Chichester, UK*, (2 ed.), 2003.
- W. P. Pierskalla. Supply chain management of blood banks. *Operations research and health care. Springer US*, pages 103–145, 2005.
- L. R. Pinto, J. C. Morais, G. M. Nunes, e J. F. F. Almeida. Simulation-optimization: A simple approach combining metaheuristics and metamodels. *European Simulation and Modelling Conference. Lisboa, Portugal.*, pages 212–217, 2017.
- K. Puranam, D. C. A. Novak, M. T. Lucas, e M. Fung. Managing blood inventory with multiple independent sources of supply. *European Journal of Operational Research*, 259(2):500–511, 2017.
- M. Rabinowitz. Blood bank inventory policies: a computer simulation. *Health services research*, 8(4):271, 1973.
- S. Rajendran e A. R. Ravidran. Platelet ordering policies at hospitals using stochastic integer programming model and heuristic approaches to reduce wastage. *Computers & Industrial Engineering*, 2017.
- S. Robinson. Conceptual modelling for simulation part i: definition and requirements. *Journal of the operational research society*, 59(3):278–290, 2008.
- P. Rogers. Optimum-seeking simulation in the design and control of manufacturing systems: Experience with optquest for arena. *Winter Simulation Conference*, pages 1142–1150, 2002.
- J. S. Rytilla e K. M. Spens. Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. *Management Research News*, 12:801–819, 2006.
- Santa Casa de Misericórdia - São Paulo. Tabela da prevalência de tipo de sangue na população., 2018. URL <http://www.santacasasp.org.br/portal/site/doe-sangue/pub/4587/>.
- R. G. Sargent. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7:12–24, 2013.
- O. S. Silva Filho, M. A. Carvalho, W. Cezarino, R. Silva, e G. Salviano. Demand forecasting for blood components distribution of a blood supply chain. *The International Federation of Automatic Control. Fortaleza*, 6 Fac Conference on Management and Control of Production and Logistics, 2013.
- S. H. W. Stanger, N. Yates, R. Wilding, e S. Cotton. Blood inventory management: hospital best practice. *Transfusion medicine reviews*, 26(2):153–163, 2012.

- B. Stuckman, G. Evans, e M. Mollaghasemi. Comparison of global search methods for design optimization using simulation. *Winter Simulation Conference*, pages 937–944, 1991.
- N. Van Dijk, R. Haijema, J. Van der Wal, e C. S. Sibinga. Blood platelet production: a novel approach for practical optimization. *Transfusion*, 49(3):411–420, 2009.
- P. Vrat e A. B. Khan. Simulation of a blood-inventory-bank system in a hospital. *Socio-Economic Planning Sciences*, 10(1):7–15, 1976.
- E. Winsberg. *Computer simulations in science*. 2013.
- J. D. Wisner, G. K. Leong, e K. C. Tan. *Principles of supply chain management: A balanced approach*. *Cengage Learning*, (3), 2012.
- Y. J. Woo e E. A. Nacke. Robotic minimally invasive mitral valve reconstruction yields less blood product transfusion and shorter length of stay. *Surgery*, 140(2):263–267, 2006.