



MODELAGEM E GESTÃO DOS ESTOQUES
DE SANGUE DO HEMORIO

Flávio Figueiredo Crelier

Leonardo Heringer da Silva

Projeto de Graduação apresentado no Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

Co-orientadora: Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Rio de Janeiro

Setembro de 2016

MODELAGEM E GESTÃO DOS ESTOQUES
DE SANGUE DO HEMORIO

Flávio Figueiredo Crelier

Leonardo Heringer da Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Examinado por:



Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.



Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.



Prof. Lino Guimarães Marujo, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO de 2016

Crelier, Flávio Figueiredo

Silva, Leonardo Heringer da

Modelagem e Gestão dos Estoques de Sangue do HEMORIO -
Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2016.

xiii, 72 p.: Il.; 29,7 cm.

Orientador: Edilson Fernandes de Arruda

Co-orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Projeto de Graduação - UFRJ / Escola Politécnica / Curso de
Engenharia de Produção, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 66-67

1. HEMORIO, 2. Modelagem de Filas, 3. Gestão de Estoques, 4.
Previsão da Demanda, 5. Cadeias de Markov.

I. Arruda, Edilson Fernandes de. II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia de Produção. III. Modelagem e
Gestão dos Estoques de Sangue do HEMORIO.

Agradecimentos

Flávio Figueiredo Crelier

Gostaria de agradecer à minha família, em especial minha mãe, pelo suporte em minhas decisões e por não poupar esforços ao investir no meu desenvolvimento educacional. Gostaria de agradecer a ela pelos conselhos e pela paciência durante esses anos de faculdade.

Dedico essa obra àqueles professores que durante meu trajeto contribuíram para minha formação intelectual e ética e também à Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela vaga que me foi oferecida em 2010. Sou muito grato.

Um obrigado também aos meus colegas e amigos de Engenharia de Produção e àqueles que compartilharam comigo a dupla diplomação na École Centrale de Nantes, durante dois anos e meio, pelo apoio emocional e pela ajuda durante esse percurso.

Um agradecimento particular aos meus melhores amigos que foram imprescindíveis para que eu me tornasse o profissional e a pessoa que eu sou. Em especial, agradeço a Leonardo Heringer, meu parceiro de projeto, Alexia Ferreira, Rayanne Mendes, Patrícia Nallin, Gustavo Kusdra, Gabriel Santos, Flávio de Assis e Ingrid Kreischer.

A todos que contribuíram de perto ou de longe para a minha formação acadêmica deixo o meu maior agradecimento.

Finalmente, agradeço ao Prof. Dr. Edilson Fernandes de Arruda e à Prof^a. Dr^a Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, cujas contribuições, orientações, incentivos e apoio foram indispensáveis para o desenvolvimento desse projeto.

Flávio Figueiredo Crelier

Agradecimentos

Leonardo Heringer da Silva

Agradeço, primeiramente, à minha família pela força e companheirismo durante esses anos desafiadores de graduação em Engenharia. Agradeço a minha mãe, Sandra Regina, pelos conselhos e pelo suporte em todos os momentos necessários. Uma mulher forte e batalhadora que é e sempre será o meu grande exemplo de amor e conduta. Agradeço também às minhas irmãs, Bruna Heringer e Fernanda Heringer, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos.

Também deixo meu agradecimento a todos os professores e professoras que passaram pela minha vida acadêmica com o verdadeiro propósito da profissão. Profissionais que foram fundamentais no meu crescimento intelectual e pessoal, e que serão para sempre lembrados com carinho.

Agradeço também à UFRJ, que me deu a oportunidade de adquirir a formação em Engenharia de Produção, e aos colaboradores que trabalham para o real crescimento dessa instituição. Um agradecimento especial a Rensselaer Polytechnic Institute e a Stanford University, onde realizei meu intercâmbio acadêmico. Universidades que me receberam com imenso carinho e me fizeram acreditar no meu futuro como engenheiro, além de terem contribuído enormemente para a minha formação acadêmica.

Também agradeço aos meus amigos, que estiveram presentes nos meus momentos mais felizes e que ajudaram a me tornar a pessoa e profissional que sou. Um especial agradecimento ao Flávio Crelier, com quem divido a autoria deste projeto, e que também dividiu comigo diversos momentos acadêmicos e pessoais. Agradeço aos meus amigos de infância, que deixo aqui representados por Marcelle Bessa, Dandara Barros e Nathália Mello. Agradeço também aos meus amigos de intercâmbio, com quem dividi momentos inesquecíveis, especialmente Dandara Ataíde e Daniel Vaz.

Por último, gostaria de agradecer aos professores Edilson Fernandes e Laura Bahiense, que nos orientaram e contribuíram para a conclusão deste projeto.

Leonardo Heringer da Silva

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

MODELAGEM E GESTÃO DOS ESTOQUES
DE SANGUE DO HEMORIO

Flávio Figueiredo Crelier

Leonardo Heringer da Silva

Setembro/2016

Orientador: Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

Co-orientadora: Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Curso: Engenharia de Produção

O problema na distribuição de sangue é uma constante nas instituições de saúde. Trata-se de uma operação crítica, pois envolve diretamente vidas humanas. O Hemocentro do Rio de Janeiro (HEMORIO) tem a função do abastecimento de sangue nos hospitais do estado. Como quase sempre a demanda é maior que a oferta, o HEMORIO é desafiado em atender as agências transfusionais com o pouco estoque que possui. Para atender a demanda de sangue, foi desenvolvido um projeto de implantação de unidades móveis de coleta. Esse projeto leva em consideração alguns pressupostos e com ajuda de um modelo matemático o dimensionamento da frota de veículos de coleta foi feito ao longo desse trabalho.

Palavras-chave: Gestão de estoques, cadeia de Markov, otimização de custos

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineering.

MODELING AND MANAGEMENT OF HEMORIO'S
BLOOD STOCKS

Flávio Figueiredo Crelier

Leonardo Heringer da Silva

September/2016

Advisor: Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

Co-advisor: Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Course: Industrial Engineering

The distribution of blood is a daily problem at health institutions. This is a critical procedure, because it directly involves human lives. The Hemocenter of Rio de Janeiro (HEMORIO) supplies blood to hospitals in the state. As demand is often greater than supply, HEMORIO is challenged to supply the transfusion agencies with a low stock. To reach the real blood demand, it was developed a project to establish the implantation of itinerant collection units. This project takes into consideration certain assumptions and with the help of a mathematical model the sizing of the fleet of vehicles was made throughout this work.

Keywords: Inventory management, Markov chain, cost optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fachada do HEMORIO	24
Figura 2 - Mapa da Hemorrede RJ	25
Figura 3 - Comparecimento à doação de sangue por Região	27
Figura 4 – Demanda por Hospital – Demanda Acumulada.....	30
Figura 5 - Organograma de hemocomponentes e hemoderivados	34
Figura 6 – Doações mensais por tipo sanguíneo – Doações mensais acumuladas.....	36
Figura 7 - Valores padrão das entradas da ferramenta	40
Figura 8 - Exemplo de resultados apresentados pela ferramenta	42
Figura 9 - Exemplo simplificado do cruzamento das probabilidades de oferta e demanda.....	43
Figura 10 - Exemplo simplificado do cálculo de probabilidades de faltas e sobras.....	44
Figura 11 - Exemplo simplificado da construção da matriz de transições.....	46
Figura 12 - Exemplo simplificado do cálculo das probabilidades de estoque ao final do dia.....	49
Figura 13 - Ponto ótimo de estoque.....	54
Figura 14 - Curva de custos totais	55
Figura 15 - Curvas de custos totais próximos ao cenário ótimo.....	57
Figura 16 - Distribuição de probabilidade do estoque ao final do dia.....	59
Figura 17 - Comparação de distribuições de probabilidade de estoque ao final do dia .	60
Figura 18 - Histograma de probabilidades do estoque no começo do dia.....	61
Figura 19 - Histograma de probabilidades do estoque ao final do dia	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Taxa de doação de sangue.....	15
Quadro 2 - Dados de coleta HEMORIO.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT – Agência Transfusional

CH – Concentrado de Hemácias

CP - Concentrado de plaquetas

CRIO - Crioprecipitado

HEMORIO - Instituto Estadual de Hematologia Arthur de Siqueira Cavalcanti (HEMORIO)

OMS – Organização Mundial da Saúde

PFC - Plasma fresco congelado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivos.....	16
1.1.1. Objetivos Gerais	17
1.1.2. Objetivos Específicos	17
1.2. Organização e Estrutura do Trabalho.....	17
2. PROCESSOS MARKOVIANOS E GESTÃO DE ESTOQUES	19
2.1. Fundamentos Teóricos.....	19
2.1.1. Gestão de Estoques	19
2.1.2. Processos Markovianos	21
2.2. Casos Específicos.....	22
3. O HEMORIO	24
3.1. Apresentação do HEMORIO	24
3.2. Problemática.....	27
3.3. Dados de Oferta e Demanda	28
3.4. Análise dos Dados.....	31
4. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	33
4.1. Pressupostos.....	33
4.1.1. Pressuposto 1 - O estudo de bolsas de Concentrado de Hemácias é suficiente para representar o sistema de todos os tipos de bolsas de sangue	33
4.1.2. Pressuposto 2 - Os tipos de sangue são distribuídos da mesma forma na oferta e na demanda e não precisam ser adicionados ao modelo	35
4.1.3. Pressuposto 3 - Oferta e demanda de bolsas de sangue seguem uma distribuição de Poisson.....	36
4.1.4. Pressuposto 4 - Não existe um limite máximo de viagens de ônibus que prejudique a quantidade de bolsas doadas por viagem	37

4.2.	Construção da Ferramenta.....	38
4.2.1.	Interface da ferramenta.....	38
4.2.2.	Probabilidades de oferta e demanda diárias	42
4.2.3.	Probabilidades de falta e sobra diárias	43
4.2.4.	Matriz de transições.....	44
4.2.5.	Cadeia de Markov.....	46
4.2.6.	Probabilidades finais de estoque.....	47
4.2.7.	Cálculos de viagens e ônibus necessários.....	49
4.2.8.	Cálculos de custo final.....	50
4.2.9.	Definição de pontos ótimos	52
4.3.	Análise de Resultados.....	53
4.3.1.	Otimização por Estoque.....	53
4.3.2.	Otimização por Custo	55
4.3.3.	Política de Estoque	62
5.	CONCLUSÃO	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos estoques dos produtos oriundos do processamento do sangue coletado nos hemocentros é um problema para os serviços de saúde do Brasil e do mundo. Dimensionar os estoques destes produtos de forma a equalizar a demanda e a oferta não é uma tarefa simples. É necessário assegurar que o produto esteja disponível quando for preciso e em tempo hábil. Contudo, não se pode superdimensionar os estoques dado que os produtos são perecíveis e que a disponibilidade da matéria prima (sangue) para o processamento não é abundante.

Este estudo focará um hemocentro brasileiro localizado na cidade do Rio de Janeiro – o HEMORIO, que tem enfrentado o desafio de dimensionar a demanda pelos produtos hemoterápicos e estabelecer parâmetros de controle de seus estoques.

Aumentar a oferta e disponibilidade de sangue coletado nos hemocentros é uma preocupação constante das instituições de saúde no Brasil e no mundo. O serviço de coleta e distribuição de sangue é primordial para manutenção de diversos serviços de assistência à vida de pacientes portadores de doenças diversas e para casos cirúrgicos. Desse modo, assegurar que esse produto esteja disponível para uso, no tempo adequado, é fundamental para assegurar a prestação do serviço.

Em geral, os hemocentros são responsáveis por coletar, processar, armazenar e distribuir o sangue e seus derivados. Como o fornecimento de sangue do doador e a procura por esses produtos ocorrem de maneira aleatória, realizar a adequação entre oferta e demanda não é uma tarefa simples.

Estudos mostram que a situação dos bancos de sangue mundiais tende a ficar crítica devido à crescente demanda por transfusões de sangue para pessoas idosas e o número reduzido de potenciais doadores de sangue, como visto em (SIMON, 2003). Vale ser ressaltado que existem eventos aleatórios que influenciam na demanda pelos componentes oriundos do sangue, como é o caso dos desastres naturais.

No Brasil, o percentual de doadores de sangue é de cerca de 2% da população. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), esse percentual está bem abaixo do necessário, que é de 3% a 5% da população de um país. Esses dados podem ser encontrados no texto “*Blood Safety Factsheet*” divulgado pela própria OMS em 2011.

Seguindo essa estimativa da OMS, o Brasil necessitaria diariamente de 5.500 bolsas de sangue e, para suprir essa demanda, precisa de um número muito maior de doadores.

De acordo com dados do Caderno de Informação Sangue e Hemoderivados (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011), a taxa de doação de sangue no Brasil em 2010 teve um valor médio de 1,9% da população do país, com os menores índices obtidos nas regiões norte e nordeste, chegando a 1,4% da população.

No Estado do Rio Janeiro, a evolução da taxa de doação de sangue pode ser visualizada na tabela abaixo:

Taxa de doação de sangue pelo total da população do estado											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Total	1,28%	1,17%	1,16%	1,03%	0,99%	1,21%	1,19%	1,06%	1,18%	1,04%	1,11%

*Quadro 1 - Taxa de doação de sangue
Fonte: Ministério da Saúde/SAS (SAI/SUS)*

É perceptível que a média estadual de doação de sangue está abaixo da recomendada pela OMS. Um fator agravante desta situação é o alto índice de descarte de bolsas de sangue, seja devido a falhas durante a coleta e processamento, prazo de validade vencido ou rejeição após os testes de controle de qualidade. Essa baixa taxa de oferta e o alto índice de descarte de bolsas de sangue se refletem na baixa disponibilidade de sangue, o que representa um risco para a vida dos pacientes.

A falta de controle nos inventários dos bancos de sangue pode causar diversos prejuízos, como a escassez de sangue e o desperdício. Nesse sentido, viabilizar estudos na área de controle e melhoramento do processo é de grande importância. Assim, este estudo tem como desafio dimensionar a demanda por produtos hemoterápicos e estabelecer parâmetros de controle de estoque de um banco de sangue, de forma a aumentar a disponibilidade desses produtos sem gerar desperdício.

É comum ser noticiado pela mídia a carência de estoques de sangue por todo o Brasil, causando adiamento ou até mesmo cancelamento de cirurgias urgentes. Diante dessas constatações, são realizadas intensas campanhas para a captação de doadores

para a reposição dos estoques e definidas metas para as coletas diárias baseadas nas experiências passadas ou, até mesmo, de acordo com as últimas requisições médicas.

Contudo, não foi observado na literatura pesquisada uma forma de cálculo para dimensionar as metas de coleta. Destaca-se ainda que o gerenciamento do estoque deste tipo de produto deve ser feito com muita atenção, dado que o sangue tem um prazo de validade entre 21 e 35 dias, a depender da forma como foi coletado, conforme definido na Portaria 1.353 do Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

1.1.Objetivos

A gestão de sangue é um problema de interesse específico para a raça humana. Mesmo que haja desenvolvimentos tecnológicos no campo dos substitutos para os produtos de sangue, a necessidade por doadores de sangue e seus derivados é substancial.

O processamento do sangue pode resultar em diferentes hemocomponentes e hemoderivados, dois tipos de produtos distintos. Segundo informações do Guia para o uso de hemocomponentes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009), os produtos originados nos serviços de hemoterapia, obtidos por meio do sangue total, através de processos físicos, como a centrifugação e o congelamento, são chamados hemocomponentes. Os produtos gerados em escala industrial, obtidos por meio do fracionamento do plasma por métodos físico-químicos, são chamados de hemoderivados. O resultado do processamento por fracionamento resulta na produção dos diferentes hemocomponentes, como:

- Concentrado de hemácias (CH);
- Concentrado de plaquetas (CP);
- Plasma fresco congelado (PFC);
- Crioprecipitado (CRIO);

Nosso trabalho terá enfoque essencialmente no hemocomponente que apresenta maior demanda, o concentrado de hemácias.

1.1.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral do trabalho é a formulação de um sistema de apoio às decisões do HEMORIO no controle dos estoques de bolsas de sangue, de forma a ilustrar a necessidade do complemento da oferta atual com uma outra forma de obtenção do produto em questão. Por se tratar de um material perecível e com algumas variações segundo a sua classificação, algumas premissas foram adotadas, com o intuito de permitir um resultado que se aproxima das necessidades reais.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estimar a demanda média de bolsas de sangue nos hospitais do município do Rio de Janeiro
- Verificar a capacidade atual de suprimento de sangue fornecido pelo HEMORIO
- Produzir uma ferramenta que permita a determinação de escalas de utilização de veículos de coleta externa de bolsas de sangue
- Auxiliar no planejamento dos estoques de bolsa de sangue
- Aumentar a efetividade da distribuição das bolsas de sangue
- Diminuir eventuais descartes de bolsas de cuja validade foi ultrapassada
- Servir de respaldo e auxílio científicos para decisões administrativas

1.2. Organização e Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em introdução, conclusão e três capítulos principais (2 a 4). Segue as normas ABNT de confecção de trabalhos acadêmicos, sendo realizado desde janeiro de 2016 até agosto de 2016.

O segundo capítulo apresenta os fundamentos teóricos que foram utilizados para que o estudo pudesse ser concretizado. Introduce as noções de processos markovianos e os princípios da gestão de estoques. Além disso, esse capítulo conta com uma breve

revisão bibliográfica de casos semelhantes, sobretudo no que concerne à gestão de estoques de produtos perecíveis.

O terceiro capítulo tem por objetivo o entendimento do HEMORIO como um sistema complexo, seus subsistemas e seu ambiente para que, a partir desse olhar, enxergando os fluxos, estoques e relações causais ali presentes, busque-se elencar quais seriam os pontos de alavancagem do sistema. A problemática é apresentada, assim como os dados e análises preliminares que dão embasamento para o desenvolvimento do estudo e a aplicação dos fundamentos teóricos apresentados anteriormente.

O quarto capítulo discute as aplicações de cadeias de Markov e apresenta a ferramenta de decisão desenvolvida com apoio do Microsoft Excel. Além do detalhamento dos pressupostos estabelecidos, os resultados obtidos e as decisões primordiais estão contemplados nessa parte do trabalho. O capítulo serve duplamente tanto como manual de referência, como quanto como base para projetos futuros.

2. PROCESSOS MARKOVIANOS E GESTÃO DE ESTOQUES

2.1.Fundamentos Teóricos

2.1.1. Gestão de Estoques

Os estoques têm papel importante nas empresas, pois funcionam como reguladores do fluxo dos negócios, como enfatizam MARTINS et al (2009). Os autores destacam que a necessidade de reposição dos estoques está relacionada à razão entre as velocidades de entrada e saída dos itens, ou seja, quanto maior o nível de saída, maior será a necessidade de entrada e quanto menor o nível de saída, menor será a necessidade do nível de entrada. Conseguir manter uma razão constante entre a entrada e a saída de itens pode ser uma vantagem competitiva, pois, com isso, os estoques podem ser mantidos em patamares bastante baixos (filosofia just-in-time).

Segundo MARTINS (2008), quando comprar, quanto comprar, fixar lotes econômicos de aquisição e definir estoques mínimos de segurança são decisões que podem afetar os resultados de uma organização. Para CHOPRA e MEINDL (2003), se a empresa não tiver o produto ou mercadoria para oferecer ao cliente, poderá obter um lucro menor, assim como, se mantiver estoques altos, correrá o risco de vendê-los com descontos e ter prejuízos.

Os autores ainda destacam que altos níveis de estoque podem ser importantes para a área comercial devido a questões como a flexibilidade na hora de vender e o atendimentos aos clientes de forma imediata, porém trabalhar com estoques muito acima do ideal pode ser prejudicial para os negócios. Na visão de BEULKE e BERTÓ (2001), o acompanhamento do fluxo de entrada, estocagem e consumo/saída dos estoques é algo básico e de extrema importância, pois a falta desse controle pode ocasionar ociosidade dos estoques, desperdícios, maus usos, desvios, etc. Consequentemente isso se reflete em prejuízos para a organização, tais como o desembolso desnecessário de recursos financeiros para manutenção dos estoques, assim como possível perda de competitividade no mercado devido à influência direta nos custos dos produtos e mercadorias.

Segundo BALLOU (2006), os críticos consideram um desperdício os estoques absorverem capital que poderia ter melhor utilização, se aplicado no incremento da

produção e da competitividade. Da mesma forma, MARTINS et al (2009) entendem que os estoques são uma forma de desperdício, devendo ser eliminados ou reduzidos ao estritamente necessário. Além disso, redução dos prazos de reaprovisionamento por parte dos fornecedores, aumento da produtividade de todos os setores, eliminação de atividades que não agreguem valores aos produtos, estabelecimento de estoques de segurança mínimos e realistas, introdução do gerenciamento por atividade e balanceamento entre ser um bom fornecedor para seu cliente e um gerador de lucros para sua empresa são outras medidas que podem auxiliar.

Conforme BALLOU (2001) deve-se disponibilizar os materiais, no lugar certo, no tempo certo e nas condições e quantidades desejadas pelo cliente, podendo agregar assim facilidades para os setores que estão interligados, e garantir a disponibilidade do produto. O custo de escassez (algumas vezes denominado custo de demanda insatisfeita) é incorrido quando a quantidade da demanda excede o estoque disponível.

Os modelos de estoques são normalmente classificados como determinísticos ou então estocásticos. Os primeiros apresentam demandas periódicas sem nenhum nível de incerteza; já os últimos apresentem demanda aleatória, cuja distribuição de probabilidade pode ou não ser conhecida.

Empresas que trabalham com produtos perecíveis precisam ter cuidado redobrado no controle de estoque. É o caso de restaurantes, padarias, supermercados e do próprio HEMORIO. Implicações na saúde do consumidor podem acontecer caso uma boa política não seja desenvolvida. O planejamento de estoque de produtos perecíveis é mais complexo pelo curto espaço de tempo em que estes podem estragar. Nesse caso, a reposição não depende apenas da quantidade de produtos nas prateleiras, mas também da data de vencimento deles.

O bom gerenciamento de estoque se faz necessário, juntamente com a previsão de demanda, para que a organização possa estar apta a atender as exigências e necessidades do mercado e seus clientes, mantendo um estoque que possa atender à demanda e que ao mesmo tempo lhe possibilite um baixo custo de manutenção, principalmente pelo produto em estudo ser de caráter perecível, e necessitar de um maior cuidado em atender alguns requisitos primordiais, como por exemplo, seu prazo de validade.

2.1.2. Processos Markovianos

Um processo de Markov é um processo estocástico cujo comportamento dinâmico é tal que as distribuições de probabilidade para o seu desenvolvimento futuro dependem apenas do estado presente, não se levando em consideração como o processo chegou em tal estado.

Os processos markovianos são modelados formalmente por matrizes de transições de estados. Os estados representam a condição atual do sistema e que podem variar no espaço temporal (discreto ou contínuo), e as transições entre estados são probabilísticas e dependem apenas do estado corrente.

Se o espaço de estados é discreto (enumerável), então o modelo de Markov é denominado de cadeia de Markov. As propriedades desses modelos são estudadas em termos das propriedades das matrizes de transições de estados que são utilizadas na sua descrição. Existem processos de Markov que são modelados como aproximações do mundo real, nos quais nem todos os estados são perfeitamente conhecidos.

Descrevemos uma cadeia de Markov da seguinte maneira: seja $S = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$ um conjunto de estados. O processo começa em um desses estados e move-se sucessivamente de um estado para outro. Cada movimento é chamado de passo. Se a cadeia está atualmente no estado $i \in S$, então ela se move para o estado $j \in S$ no próximo passo com uma probabilidade denotada por p_{ij} , e essa probabilidade não depende dos estados ocorridos nos passos anteriores, apenas do estado atual. A probabilidade p_{ij} é chamada probabilidade de transição. O processo pode permanecer no estado que se encontra e isso ocorre com probabilidade p_{ii} .

Um processo de Markov consiste num conjunto de objetos e num conjunto de estados tais que:

- i) Em qualquer instante o processo deve estar em um único estado,
- ii) A probabilidade de que o sistema passe de um estado para outro (que pode ser o mesmo que o inicial) num período de tempo depende apenas desses dois estados.

Para uma cadeia de Markov de n estados (sendo n um número inteiro fixo), a matriz $n \times n$ (quadrada de ordem n) $P = [p_{ij}]$ é a matriz de transição ou estocástica associada ao processo.

Como primeiras propriedades de P temos:

- i) A soma de todos os elementos de cada linha da matriz P é 1,
- ii) Toda a matriz estocástica tem 1 como valor próprio (possivelmente com multiplicidade superior a 1) e nenhum dos seus valores próprios excede 1 em valor absoluto.

Se P é estocástica, então $p_{ij}^{(q)}$ representa a probabilidade de que um objeto passe do estado i para o estado j em q períodos de tempo. P^q é também uma matriz estocástica. Para a aplicação prática nos próximos capítulos, usaremos um q elevado para garantir que estamos na estacionaridade do estudo. Para mais detalhes com respeito a processos de Markov, veja (BREMAUD, 1999).

2.2.Casos Específicos

A importância da gestão de estoques nas indústrias modernas é bem conhecida, tendo levado ao desenvolvimento de uma teoria de estoques clássica, a qual não leva em conta que os itens podem ser perecíveis. No entanto, muitos itens estão sujeitos a perecibilidade, ou por conta de tempo de armazenamento excessivo ou por obsolescência.

Exemplos de itens perecíveis incluem certos alimentos, produtos sazonais, produtos químicos, medicamentos e assim por diante. Gerir o estoque de itens perecíveis requer especial atenção para o prazo de validade, as diferentes razões para a perecibilidade e o custo para evitar a perda. Portanto, os algoritmos especiais para o gerenciamento de inventário de itens perecíveis são necessários.

Produtos perecíveis impõem desafios na gestão de estoques, onde busca-se um equilíbrio entre “ruptura de estoque e disponibilidade na prateleira” e “desperdício devido à expiração”. Algumas pesquisas sobre gestão de estoques de mercadorias perecíveis, alimentos e produtos frescos foram publicadas anteriormente, como o caso sobre o estudo da gestão de estoque de iogurtes (MOIA et al, 2014).

Para muitas organizações, a gestão incorreta deste equilíbrio provoca aumento de custos e aumento do desperdício. No entanto, para o caso tratado nesse trabalho – o de gerenciamento de estoques de sangue - o fracasso da cadeia de fornecimento de sangue é, por um lado potencialmente letal para um paciente que necessita urgentemente de sangue que não está disponível, enquanto que por outro lado o excesso de estoque vai levar a custos desnecessários para o sistema de saúde.

O sangue é um produto perecível e a teoria de estoque para itens perecíveis pode potencialmente ser aplicada a sua gestão. Técnicas utilizadas em ambientes industriais - por exemplo, não são adequados para o sistema de abastecimento de sangue devido às consequências de uma escassez de estoque. O sangue, com a sua vida útil limitada, é um exemplo específico de problemas nos quais a gestão de estoque de perecíveis é aplicada; outros setores também têm de lidar com problemas e questões semelhantes.

Estoques de produtos perecíveis são um tema de preocupação específica em setores de varejo de alimentos e mercearia e este tem sido o foco de diversos estudos, (HUGHES e MERTON, 1996; MOWAT e COLLINS, 2000; LEVÉN e SEGERSTEDT, 2004) discutem a manipulação do estoque de alimentos. BOGATAJ et al. (2005) têm um viés focado na estabilidade de produtos refrigerados e refeições prontas. VAN DONSELAAR et al. (2006) compararam diferentes abordagens de como supermercados gerenciam estoques de produtos perecíveis, contrastando diferentes sistemas de ordenação automatizada com foco em itens perecíveis.

Mesmo que os supermercados enfrentem problemas semelhantes aos presentes na cadeia de fornecimento de sangue, tais como uma variedade muito limitada, vida de prateleira extremamente curta e substituição na procura, o modelo é mais complexo para uma aplicação na cadeia de fornecimento de sangue. Por exemplo, a substituição é uma maneira de reduzir o risco de desperdício de produtos perecíveis. Entretanto, de acordo com as boas práticas de transfusão; isto não é uma opção viável no contexto da cadeia de fornecimento de sangue.

3. O HEMORIO

3.1. Apresentação do HEMORIO

O Instituto Estadual de Hematologia Arthur de Siqueira Cavalcanti (HEMORIO) é uma unidade de saúde do estado do Rio de Janeiro, no Brasil. Foi fundado em 1944, no bairro carioca da Lapa. Desde sua criação, já apresentava características de hemocentro, já que distribuía sangue para os hospitais de emergência. Doze anos depois, em 1956, com a criação de um serviço de Hematologia ligado ao banco de sangue, originou-se o Instituto de Hematologia, que mais tarde recebeu o nome do médico Arthur de Siqueira Cavalcanti.

No antigo Estado da Guanabara, foi projetada a construção de um novo prédio em um terreno ao lado do hospital Souza Aguiar. As obras foram iniciadas em março de 1964. A conclusão da obra de tal porte daria ao Rio de Janeiro a prioridade de possuir um estabelecimento que representaria o que de mais moderno existia na especialidade, constituindo um excelente centro de pesquisas e de formação de técnicos e possibilitando o incremento da coleta de sangue, a estocagem e o preparo do plasma e derivados, para que pudesse atender à demanda cada vez maior. Em 29 de setembro de 1969, era inaugurado, na Rua Frei Caneca, a atual sede do que viria a se chamar, dezessete anos depois, o "HEMORIO", já no atual Estado do Rio de Janeiro.



Figura 1- Fachada do HEMORIO

Fonte: http://www.hemorio.rj.gov.br/html/historico_novo/historico_1994.htm

Abastecendo com sangue inúmeras unidades de saúde da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o HEMORIO recebe uma média de 350 doadores voluntários de sangue por dia. Além disso, possui um serviço de Hematologia, com mais de 10 mil

pacientes ativos, que realizam tratamentos de doenças hematológicas. A excelência de seus trabalhos foi comprovada com diversos prêmios de qualidade do Estado e do Governo Federal. Em 2004, o HEMORIO foi o grande vencedor do Prêmio Qualidade Rio, com a inédita medalha de ouro concedida a uma instituição pública. Isso reforça o seu papel de liderança no cenário nacional e estadual nas áreas de Hematologia e Hemoterapia.

Além do HEMORIO, o Estado do Rio de Janeiro conta com uma estrutura de apoio aos serviços hemoterápicos, a Hemorrede.



Figura 2 - Mapa da Hemorrede RJ

Fonte: http://www.hemorio.rj.gov.br/html/Hemorrede_mapa.htm

A Hemorrede é o conjunto de Serviços de Hemoterapia e Hematologia, organizados de forma hierarquizada e regionalizada, de acordo com o nível de complexidade das funções que desempenham e a área de abrangência para assistência. Rede de Hemoterapia composta por 01 Hemocentro Coordenador, 04 Hemocentros Regionais, 21 Núcleos de Hemoterapia, 01 Unidade de Coleta e Transfusão e 60

Agências Transfusionais e conta ainda com 15 Serviços de Hematologia localizados nos municípios do Rio de Janeiro e Niterói.

- **Hemocentro coordenador:** é o **HEMORIO**. Entidade de âmbito central, de natureza pública, referência do Estado do Rio de Janeiro na área de Hemoterapia e Hematologia, com a finalidade de prestar assistência e apoio hemoterápico e hematológico à rede de serviços de saúde.

- **Hemocentro Regional:** entidade de natureza pública, centro de referência em Hematologia e Hemoterapia para uma macro-região do Estado do Rio de Janeiro.

- **Núcleo de hemoterapia:** entidade de âmbito local ou regional, de natureza pública ou privada, para atuação micro-regional na área de Hemoterapia e/ou Hematologia.

- **Unidade de coleta e transfusão:** entidade de âmbito local, de natureza pública ou privada, que realiza coleta de sangue total e transfusão, localizada em hospitais ou pequenos municípios.

- **Posto de coleta:** entidade de âmbito local, que realiza coleta de sangue total, podendo ser móvel ou fixa. Se for móvel, deverá ser pública e estar ligada a um Serviço de Hemoterapia. Se fixa, poderá ser pública ou privada.

- **Agência transfusional:** localização preferencialmente intra-hospitalar, com a função de armazenar, realizar testes de compatibilidade entre doador e receptor e transfundir os hemocomponentes liberados. O suprimento de sangue a estas agências realizar-se-á pelos Serviços de Hemoterapia de maior complexidade.

3.2.Problemática

Uma das características dos países em desenvolvimento é a ausência de consciência social por grande parte da sociedade. Um grande reflexo disso é o reduzido índice de doadores de sangue voluntários. No Rio de Janeiro por exemplo, este índice é alarmante, correspondendo a cerca de 1,06% da população na faixa etária apta a doar, principalmente quando comparado aos índices de doadores registrados em países desenvolvidos, em torno de 4%.

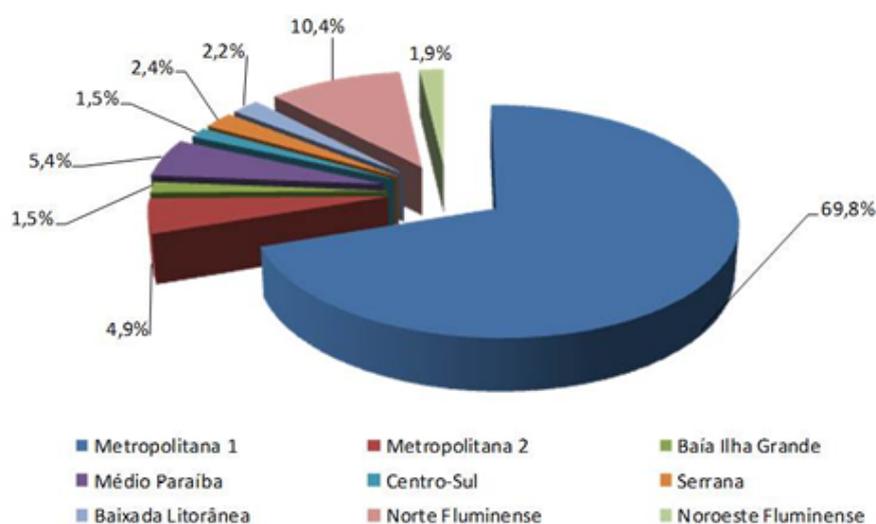


Figura 3 - Comparecimento à doação de sangue por Região
 Fonte: Sistema de Informação de Produção Hemoterápica – HEMOPROD 2015

A consequência disso é a atual situação dos hospitais do país com elevados índices de mortalidade por falta de sangue para transfusões. Esse quadro é ainda mais grave nas grandes metrópoles do país onde volumosas hemorragias não repostas tornam-se fatais em função do caráter emergencial dos atendimentos por acidentes assim como pelo crescimento da violência urbana, quesitos em que infelizmente a nossa cidade é recorrentemente citada.

Fato é, portanto, que a manutenção de estoques adequados de sangue nos hospitais, pouparia diariamente centenas de vidas e a conscientização da sociedade sobre a sua responsabilidade nesse processo reduziria sobremaneira os altos riscos já existentes nas intervenções cirúrgicas de modo geral.

Nesta direção, a doação de sangue voluntária, além de sua dimensão humanista, deve ser entendida como um ato de cidadania, representando sobretudo a tomada de consciência de que somente o indivíduo que ora se encontra em boas condições de saúde e detém este recurso – sangue – pode contribuir para os que dele necessitam. No momento em que todos tiverem essa percepção e comprometimento não faltará sangue para o atendimento da população e a sociedade terá realmente cumprido seu importante papel nesse processo.

3.3.Dados de Oferta e Demanda

O HEMORIO tem a capacidade de receber 550 bolsas sanguíneas por dia. Para atender mais de 200 hospitais de todo o Estado, pelos menos 350 pessoas deveriam doar sangue diariamente, mas infelizmente isso não acontece.

Existem alguns requisitos para a doação de sangue: é preciso ter entre 16 e 68 anos (incompletos), pesar mais de 50 kg, estar bem de saúde e portar um documento de identidade oficial com foto. Jovens entre 16 e 17 anos, podem realizar a doação mediante consentimento formal do responsável legal. Não é necessário estar em jejum, apenas evitar a ingestão de alimentos gordurosos nas 3 horas que antecedem a doação e de álcool nas últimas 12 horas.

Para entender bem as necessidades dos hospitais do estado do Rio de Janeiro, foram levantados os dados relativos às demandas de bolsa de sangue, assim como o nível de importância de cada hospital, de acordo com o volume demandado. O HEMORIO distribui sangue para 180 hospitais públicos, incluindo grandes emergências como as dos hospitais Getúlio Vargas, Souza Aguiar e Miguel Couto, maternidades, UTIs neonatais e hospitais conveniados com o Sistema Único de Saúde (SUS).

O cenário da distribuição de sangue para o abastecimento dos estoques dos hospitais deve ser compreendido como um típico problema de alocação de recursos (MELLO 2006), no qual tão importante quanto abastecer uma agência transfusional é maximizar o aproveitamento do produto fornecido (AMORIM 2000).

Quando o produto é o sangue e o cliente é a vida, o desperdício é inaceitável. As agências transfusionais são unidades de saúde que funcionam como representantes dos bancos de sangue e ficam localizadas dentro dos hospitais. São responsáveis pelo

armazenamento e transfusão do sangue, e ainda pelo registro das informações transfusionais. Assim, essas agências transfusionais devem comunicar ao banco de sangue o destino das bolsas para que os indicadores de consumo sejam calculados. Porém, essa comunicação acontece manualmente através do preenchimento do mapa transfusional, que pode demorar de 30 a 90 dias para conclusão.

Este tempo é muito grande e o sistema proposto neste artigo visa diminuí-lo. No contexto da demanda por sangue e seus derivados, o cenário mais comum é o alto número de pedidos de urgência e o baixo estoque de sangue nos hemocentros. Além disso, a decisão do número de bolsas que devem ser enviadas para cada agência transfusional é feita praticamente de forma intuitiva e depende das informações dos mapas transfusionais recebidos.

Entretanto, devido à demora no envio desses mapas, o processo de distribuição do sangue pode conter falhas e ainda, provocar falta de sangue em uma agência transfusional e/ou desperdício em outra agência transfusional, pois se o sangue não for usado dentro da sua validade ele será descartado. O quadro com a demanda de bolsas de sangue de cada hospital atendido pelo HEMORIO encontra-se no Apêndice A.

A partir da demanda de sangue fornecida por cada hospital, pudemos traçar uma classificação ABC, indicando a ordem de importância no consumo de bolsas de sangue no estado do Rio de Janeiro. Esses dados podem ser usados para uma possível priorização na hora da distribuição do sangue coletado, visto que atualmente o HEMORIO não consegue suprir em sua integralidade a demanda exigida. Para um maior detalhamento, os dados estão disponíveis no Apêndice B.

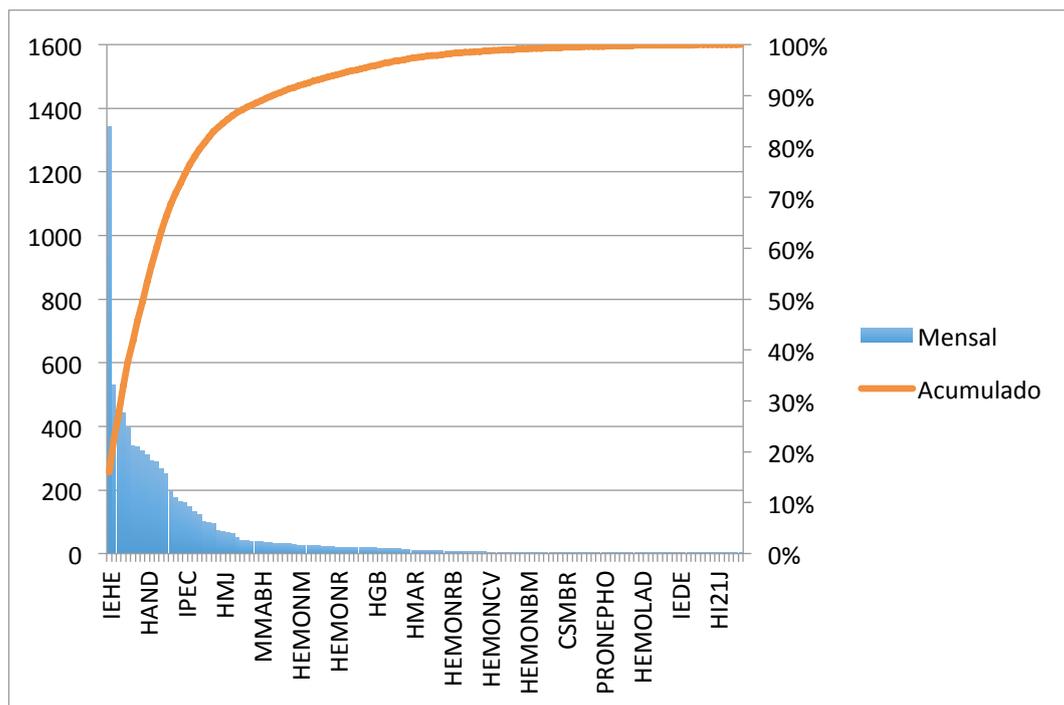


Figura 4 – Demanda por Hospital – Demanda Acumulada
Fonte: Elaboração própria

As legendas relativas aos hospitais citados na figura anterior também estão disponíveis no Apêndice B. Para maiores informações sobre a construção da curva ABC ver (TUBINO, 2000).

A tarefa de captar doadores de sangue na realidade brasileira não é algo fácil, simples, estático. Requer técnicas que venham proporcionar conhecimento, entendimento dos aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos que envolvem e influenciam a doação espontânea de sangue e como esta poderá ser concebida como uma questão de participação, compromisso e responsabilidade social.

Captar é conquistar, compreender, apreender. O propósito de captar é tornar esse hábito da doação parte dos costumes, da agenda diária de vida dos brasileiros e transmitido de geração em geração, tal como ocorre nos países considerados de “primeiro mundo”.

Apesar de o Brasil ser referência na captação de sangue na América Latina, ter melhorado os índices de doação voluntária, e ter ampliado a faixa etária de candidatos à doação, muitos desafios ainda se apresentam, já que apenas 1,9% da população brasileira é doadora de sangue. Ainda há um longo caminho a ser percorrido para que se firme principalmente a regularidade das doações, a fidelização dos doadores. E para que

ocorra essa retenção do doador nos serviços, volta-se o olhar para seu acolhimento. Fundamentado em BEKIN (1995), estamos num mercado orientado para o cliente.

A captação de doadores nos diversos serviços de hemoterapia precisa realizar sistematicamente estudos, análises sobre a efetividade das campanhas e atividades realizadas. Não se faz gestão sem o monitoramento de dados e indicadores. O conhecimento precisa ser permanente; além disso, o captador precisa se reinventar, inovar, ser criativo e crítico de suas práticas.

A seguir encontra-se um quadro com o recapitulativo das doações e coletas dos meses de julho, agosto e setembro de 2015. Os dados foram fornecidos pelo próprio HEMORIO e ressaltam a deficiência na oferta de sangue no estado do Rio de Janeiro.

	Média Comparecimento	Média Coletado	Média Coletado %
Segunda	272	201	74,1%
Terça	289	204	70,5%
Quarta	285	205	72,0%
Quinta	272	194	71,3%
Sexta	285	206	72,4%
Sábado	263	189	71,9%
Domingo	102	73	71,0%
Semana	1767	1272	72,0%

*Quadro 2 - Dados de coleta HEMORIO
Fonte: Elaboração própria*

3.4. Análise dos Dados

A partir dos dados coletados junto ao HEMORIO, e também a partir de pesquisas feitas junto a referências na área de hemoterapia, constatamos que o sistema de coleta de sangue do Rio de Janeiro encontra-se em déficit, uma vez que não consegue suprir as demandas dos hospitais da região. Por se tratar de uma problemática que atinge diretamente a vida de pessoas, corrigir essa falha é imprescindível e deve ser feita da melhor forma possível, garantindo uma melhor forma de coleta, bem como uma otimização dos custos da mesma.

Como o HEMORIO já conta com um sistema de coleta móvel que é utilizado eventualmente, nosso objetivo será dimensionar a sua utilização. Pretende-se que as

coletas sejam realizadas sempre que necessário, mas também de modo a evitar o desperdício de bolsas de sangue.

4. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

Para o estudo dos estoques de bolsas de sangue no HEMORIO e da forma ótima de como atender à demanda, optamos por utilizar um modelo com base em Cadeias de Markov, em conjunto com outros métodos estatísticos e matemáticos, que serão apresentados a seguir. O modelo foi criado em um arquivo Excel, que compõe-se de todas as etapas adotadas para chegar aos pontos ótimos e valores de custo.

O objetivo final do modelo proposto é de servir como ferramenta para a tomada de decisões relacionadas à gestão de estoques e da forma como a demanda extra deve ser atendida (seja por coleta de sangue através de ônibus itinerantes, pela compra de bolsas de um fornecedor externo ou por uma combinação dos dois).

4.1. Pressupostos

Diante do complexo problema de otimização que buscamos resolver, foi necessário adotar certos pressupostos para que o projeto se tornasse viável. O sistema de coleta de sangue é complicado pelas diversas variáveis envolvidas no sistema. A existência de diferentes tipos sanguíneos, componentes do sangue e produtos finais representa um obstáculo para o entendimento geral do problema e para a recomendação de soluções. Os pressupostos adotados, que estão explicitados abaixo, foram baseados em pesquisa teórica e análise crítica de diversas faces do sistema do HEMORIO.

4.1.1. Pressuposto 1 - O estudo de bolsas de Concentrado de Hemácias é suficiente para representar o sistema de todos os tipos de bolsas de sangue

Uma vez que uma bolsa de sangue é coletada, ela passa por uma série de processos físicos para a produção de hemocomponentes. Posteriormente, processos físico-químicos também podem ser aplicados para a produção de produtos mais específicos, chamados de hemoderivados (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010). Na figura 5, é possível ver um exemplo de produtos que podem ser retirados de uma única bolsa de sangue.

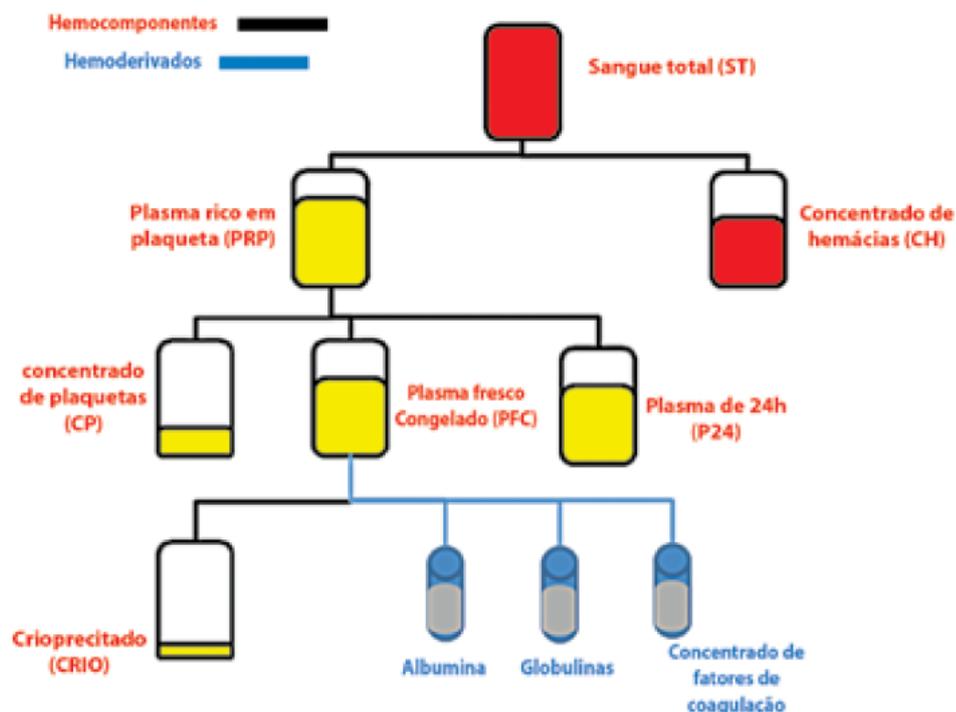


Figura 5 - Organograma de hemocomponentes e hemoderivados
 Fonte: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/quia_uso_hemocomponentes.pdf

Como pode ser observado acima, em um primeiro momento a bolsa de sangue total gera uma bolsa de concentrado de hemácias (CH) e outra de plasma rico em plaqueta (PRP), de onde são produzidos diferentes hemocomponentes e hemoderivados.

No caso do HEMORIO, 18 diferentes tipos de hemocomponentes são apresentados no relatório de expedições. Entretanto, 50% das expedições são de concentrados de hemácias. O segundo hemocomponente com maior número de expedições é o concentrado de plaquetas, com 16%, seguido do plasma fresco congelado, com 13%. Juntos, esses três hemocomponentes já somam 79% do total de expedições, sendo que eles podem ser produzidos a partir da mesma bolsa de sangue. A maior parte dos outros hemocomponentes também tem origem no plasma rico em plaquetas, e podem ser produzidos paralelamente ao concentrado de hemácias. Os dados acima foram obtidos a partir da análise dos dados do relatório de expedições diárias disponibilizado pelo HEMORIO.

Pelas razões apresentadas acima, é possível constatar que, para cada bolsa doada, é possível produzir 1 bolsa de concentrado de hemácias, além de outros hemocomponentes provenientes do plasma. Além disso, o concentrado de hemácias é o

hemocomponente com maior demanda, o que significa que, uma vez atendida a demanda de concentrado de hemácias, as demandas de todos os outros hemocomponentes seriam também atendidas.

Assim, o modelo proposto leva em conta os dados apenas de concentrado de hemácias, assumindo que esse é o gargalo do sistema. A demanda dos outros hemocomponentes será atendida automaticamente, já que ela é menor do que a demanda do concentrado de hemácias, e os outros hemocomponentes são produzidos paralelamente.

O relatório de demanda de sangue dos hospitais disponibilizado pelo HEMORIO, por exemplo, também utiliza o concentrado de hemácias como única variável de demanda, principalmente no cálculo de estimativas de demanda através do número de leitos de cada hospital (é utilizada a variável CH/leito/ano).

4.1.2. Pressuposto 2 - Os tipos de sangue são distribuídos da mesma forma na oferta e na demanda e não precisam ser adicionados ao modelo

Uma das variáveis que tornam a gestão de estoques de sangue mais complicada é a existência dos diferentes tipos sanguíneos. Basicamente, o tipo sanguíneo é representado pela união entre o sistema ABO e o sistema Rh, o que resulta na existência de 8 tipos de sangue diferentes. Entretanto, a incidência de cada tipo na população é bastante diferente, e certos tipos sanguíneos são raros. Em um estudo que calculou a distribuição de tipos sanguíneos nas doações de sangue em um hospital universitário de Porto Alegre, por exemplo, FONTANA et al. (2006) afirmaram que 48% dos doadores eram do tipo O, 39% do tipo A, 10% do tipo B e apenas 3% do tipo AB. As porcentagens de cada grupo seriam menores ainda caso fossem considerados os fatores Rh (positivo e negativo).

No relatório de expedições diárias disponibilizado pelo HEMORIO, é possível observar que, entre julho e setembro de 2015, 44,8% das bolsas doadas eram do tipo O+, 29,2% A+, 10,4% B+, 7,2% O-, 3,4% AB+, 3,3% A-, 1,3% B- e 0,4% AB-.

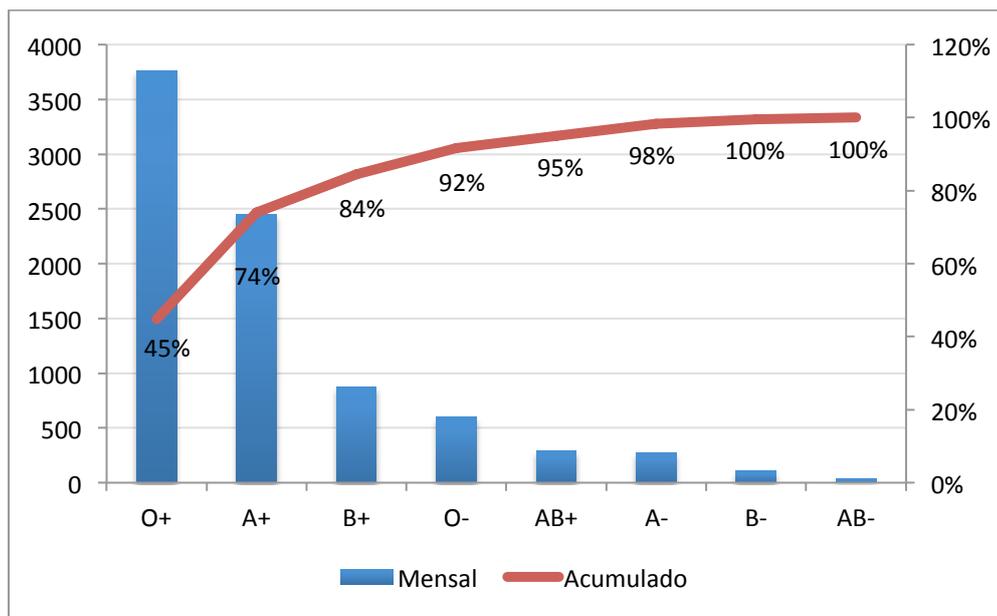


Figura 6 – Doações mensais por tipo sanguíneo – Doações mensais acumuladas
Fonte: Elaboração própria

Além dos diferentes tipos sanguíneos, outra questão que aumenta o grau de complexidade do problema é o fato de que cada um desses tipos sanguíneos tem um grupo específico para o qual pode doar / receber transfusões. Caso essa variável fosse levada em conta no presente projeto, o problema não só teria um nível de complexidade muito alto, mas também o baixo número de bolsas de sangue de tipo raro (com alta variabilidade) seria um grande obstáculo para encontrar resultados ótimos e confiáveis.

Dessa forma, optou-se pela utilização do número total de bolsas sem realizar a diferenciação por tipo sanguíneo, assumindo que as ofertas e demandas específicas se anulariam naturalmente, e que casos pontuais de tipos raros devem ser analisados separadamente. Apesar do tipo sanguíneo ser importante na gestão diária das transfusões de sangue, esse pressuposto foi essencial para a viabilidade deste projeto.

4.1.3. Pressuposto 3 - Oferta e demanda de bolsas de sangue seguem uma distribuição de Poisson

A média da demanda e a média da oferta de sangue por dia são duas entradas altamente importantes na ferramenta desenvolvida. Entretanto, esses valores sofrem variações, como visto na análise dos dados de oferta e demanda, e por isso não podem ser tratadas como variáveis determinísticas. A variabilidade é importante para o desenho

de um modelo confiável, e por isso essas variáveis devem ser representadas de forma estocástica a partir de distribuições de probabilidade.

Pela natureza do número de doações por dia e da demanda por dia, assumimos que estas variáveis podem ser representadas pela distribuição de Poisson, que é utilizada em processos de contagem do número de eventos ocorridos em um certo espaço de tempo (WASSERMAN, 2004). Em uma explicação mais detalhada, RAMACHANDRAN e TSOKOS (2009) explicam que, considerando um evento de interesse A, uma variável aleatória de Poisson representa o número de ocorrências de A em um intervalo de tempo, considerando as ocorrências como independentes entre si. RAMACHANDRAN e TSOKOS (2009) também afirmam que a distribuição de probabilidade de Poisson é caracterizada por um único parâmetro, λ , que representa a média do número de ocorrências. Segundo WASSERMAN (2004), a distribuição de Poisson pode ser utilizada, por exemplo, na representação de acidentes de trânsito, decaimento radioativo e recebimento de e-mails.

Optamos por utilizar a distribuição de Poisson para representar as variáveis de oferta e demanda de sangue, utilizando as suas médias como o único parâmetro de entrada, no espaço de tempo de 1 dia. Assume-se, a partir disso, que as ocorrências de doação de sangue são independentes entre si; a mesma suposição se aplica às demandas por hemoderivados.

4.1.4. Pressuposto 4 - Não existe um limite máximo de viagens de ônibus que prejudique a quantidade de bolsas doadas por viagem

A ferramenta desenvolvida não prevê nenhum limite máximo de doações que podem ser obtidas através da coleta de sangue por ônibus itinerantes. Entende-se que existem inúmeras regiões a serem exploradas no estado do Rio de Janeiro, e que esse limite máximo é suficientemente grande ao ponto de não ser relevante para o modelo.

Dessa forma, não há a preocupação com a saturação do sistema para doações. Entretanto, sugere-se que, após a decisão de quantas viagens de ônibus por mês devem ser realizadas (se for o caso), cabe ao HEMORIO elaborar uma estratégia de destinos para que diferentes regiões sejam exploradas e a quantidade média de doações por viagem não seja reduzida.

4.2. Construção da Ferramenta

Como dito anteriormente, para a realização dos cálculos do modelo de otimização, foi criada uma ferramenta no Excel, que se encontra anexada a este projeto. O objetivo principal da ferramenta é de calcular os custos associados a diferentes estratégias de suprimento da demanda extra de sangue no HEMORIO. Uma vez calculados esses custos, é possível escolher a estratégia mais econômica para a instituição, levando também em conta aspectos de estoque. As estratégias testadas sempre consideram que a demanda é completamente atendida, seja por doações conseguidas através dos ônibus, seja por compra de bolsas de sangue prontas de um fornecedor externo, ou um misto dessas duas opções.

Em linhas gerais, a ferramenta funciona da seguinte maneira: dada um média de demanda total, são testadas diferentes médias de oferta do HEMORIO, calculando-se assim os custos de cada cenário a partir das demais entradas fornecidas. É importante enfatizar que todos os cenários testados consideram que a demanda total é atendida. Se a média de doações total testada (que representa doações na sede mais doações nos ônibus) for menor do que a média de demanda total, a ferramenta já incluirá os custos de compra externa para que as faltas sejam evitadas. Uma vez encontrado o valor ótimo da média de oferta no HEMORIO, é subtraído desse valor a média de doações na sede. O resultado dessa subtração equivale à média ótima de doações por ônibus itinerantes, e a partir daí é possível criar uma estratégia de coleta e estoque.

Outro fator importante do modelo é o uso dos valores de demanda e oferta como variáveis estocásticas. Assim, permite-se o cálculo de valores mais confiáveis, já que a variabilidade do sistema também é considerada para o cálculo dos custos finais.

4.2.1. Interface da ferramenta

A interface da ferramenta com o usuário é muito simples e requer a entrada de 12 valores. A relação dos parâmetros necessários se encontra abaixo, com a devida explicação de cada um deles e os valores padrão (usados na análise), quando aplicável.

- Média de Demanda – Média da demanda de bolsas de sangue requeridas ao HEMORIO por dia. O valor padrão dessa entrada foi calculado através da média

aritmética dos dados do relatório de expectativa de demanda de hospitais, disponibilizado pelo HEMORIO.

- Média de Doações Testada – Média de doações totais do HEMORIO, incluindo as doações feitas na sede da instituição e as doações recolhidas através dos ônibus itinerantes. Essa é a variável cujo valor ótimo é definido pela ferramenta, e por isso não tem um valor padrão. Para o cálculo do valor ótimo, essa variável toma diferentes valores e para cada um deles (que caracterizam um cenário), é atribuído um custo final. O valor cujo custo associado é menor é utilizado como cenário ótimo. Apesar de a ferramenta atribuir diferentes valores para essa variável, o usuário pode testar um valor específico para saber qual é o custo associado a ele. A entrada dessa variável não interfere no resultado ótimo do modelo.
- Média de Doações no HEMORIO – Média de oferta de bolsas de sangue por dia, considerando apenas as coletadas na sede do HEMORIO. O valor padrão dessa entrada foi calculado através da média aritmética dos valores diários de oferta da sede do HEMORIO de julho a setembro de 2015. Esse valor será subtraído da média de doações ótima, a fim de se chegar ao valor de doações que devem ser coletadas pelos ônibus.
- Estoque Mínimo Desejável – Número mínimo de bolsas de sangue que se deseja manter no estoque. O valor padrão dessa variável foi decidido em conjunto com a gestão do HEMORIO, e teve como lógica a necessidade da manutenção de um estoque um pouco maior do que a demanda diária de bolsas de sangue.
- Certeza – Certeza com que se espera o estoque mínimo desejável (decidido na entrada anterior), expresso em porcentagem. O valor padrão dessa variável foi decidido em conjunto com a gestão do HEMORIO.
- Custo de Falta – Custo relacionado à falta de uma bolsa de sangue para atender a demanda. Como a ferramenta não permite faltas, conforme explicado anteriormente, esse custo é, na verdade, o custo de compra de uma bolsa de sangue de um fornecedor externo. O valor de compra padrão foi fornecido pela gestão do HEMORIO.
- Custo de Estoque – Custo unitário de estoque atribuído a uma bolsa de sangue no estoque do HEMORIO. Esse valor, entretanto, é apenas um valor inicial, já que o custo de estoque unitário sofre um decaimento na medida em que o

estoque aumenta. Sabendo que o estoque máximo do HEMORIO é de 1000 bolsas de sangue, a cada 100 bolsas estocadas é considerado que o custo unitário de estoque diminui em 10% do valor inicial. Esses valores, assim como o custo de estoque inicial padrão, foram fornecidos pela gestão do HEMORIO.

- **Custo de Descarte** – Custo de descartar uma bolsa de sangue, quando o estoque já está na sua capacidade máxima. Esse custo, para o caso padrão, foi considerado nulo, pelo fato dos valores de produção já terem sido computados para todas as bolsas de sangue coletadas.
- **Custo de Produção** – Custo de produzir uma bolsa de sangue no HEMORIO, tanto na sede quanto nos ônibus. Esse custo compreende todos os valores relacionados a material e mão-de-obra direta. O valor padrão dessa variável foi decidido em conjunto com a gestão do HEMORIO.
- **Custo Fixo por Ônibus por Mês** – Custo de manter um ônibus itinerante por mês. Esse custo compreende, principalmente, custos de seguro e manutenção. O valor padrão dessa variável foi concedido pela gestão do HEMORIO.
- **Custo Variável por Viagem** – Custo necessário para realizar uma viagem de ônibus por dia. Esse custo considera, principalmente, custo de combustível e mão-de-obra. O valor padrão dessa variável foi concedido pela gestão do HEMORIO.
- **Média de Doações por Viagem** – Média de bolsas de sangue coletadas por ônibus itinerante a cada viagem. Ao encontrar o número ótimo de doações a serem conseguidas pelos ônibus itinerantes, a ferramenta utiliza esse valor para calcular o número de viagens necessárias por mês. O valor padrão dessa entrada foi disponibilizado pela gestão do HEMORIO.

Inputs			
Média de Demanda	258	Custo de Falta	R\$ 90,00
Média de Doações Testada	N/A	Custo de Estoque	R\$ 1,00
Média de Doações no HemoRio	182	Custo de Descarte	R\$ 0,00
Estoque Mínimo Desejável	300	Custo de Produção	R\$ 30,00
Certeza	95%	Custo Fixo por Ônibus por Mês	R\$ 3.000,00
		Custo Variável por Viagem	R\$ 1.000,00
		Média de Doações por Viagem	70

Figura 7 - Valores padrão das entradas da ferramenta
Fonte: Elaboração própria

Na tela principal da ferramenta, também podem ser observadas três caixas de resultados. Cada uma dessas caixas de resultados está apresentada abaixo, com suas respectivas explicações.

- Situação Testada – Nessa seção são apresentados os resultados obtidos a partir da média de doações testada (x). Isso é, levando em conta todas as outras variáveis inseridas no modelo, esta seção mostra qual seria o custo final e como o estoque se comportaria caso o HEMORIO recebesse x doações, considerando a soma das doações na sede e nos ônibus. Esses resultados não têm nenhum viés de otimização. Além disso, esta é a única sessão de resultados que varia a cada mudança em qualquer uma das entradas.
- Otimizado por Estoque – Nessa seção são apresentados os resultados otimizados a partir das metas de estoque. Os resultados são uma representação do cenário onde é possível atender o estoque mínimo, com uma certeza igual ou maior do que a desejada, utilizando-se apenas as doações no HEMORIO (sede e ônibus), isso é, sem compra de bolsas de fornecedores externos. Nessa bateria de resultados, são apresentados, para o cenário ótimo, a média de doações necessárias por dia (considerando doações na sede mais doações nos ônibus), o número de ônibus necessários por mês, o número de viagens que devem ser realizadas por mês, a média de doações necessárias por viagem (igual ou menor do que o valor de entrada da média de doações por viagem), a certeza com que o estoque mínimo é atendido e o custo total de se adotar essa estratégia, além de um gráfico que representa o comportamento do estoque ao final do dia.
- Otimizado por Custo – Essa seção apresenta os resultados otimizados a partir das metas de custo, isso é, resultados do cenário que representa menor custo para o HEMORIO. Nessa bateria de resultados, são apresentados, para o cenário ótimo, a média de doações necessárias por dia (considerando doações na sede mais doações nos ônibus), o número de ônibus necessários por mês, o número de viagens que devem ser realizadas por mês, a média de doações necessárias por viagem (igual ou menor do que o valor de entrada da média de doações por viagem), a certeza com que o estoque mínimo desejado é atendido, o estoque mínimo que é atendido com a certeza desejada e o custo total de se adotar essa estratégia, além de um gráfico que representa o comportamento do estoque ao final do dia.

As últimas duas sessões de resultados (otimizado por estoque e otimizado por custo) não se modificam com a alteração das entradas. Isso ocorre porque esses valores representam o resultado ótimo considerando as entradas padrão.

Devido a uma limitação quanto à capacidade do Excel de processar todos os cálculos do modelo, que é bastante extenso, a ferramenta não é capaz de calcular em tempo hábil todos os cenários sempre que alguma entrada é modificada e, assim, fazer a otimização. Esse processo de cálculo dos diferentes cenários precisou ser feito um a um para que fossem encontrados os resultados ótimos, considerando as entradas padrão. Por esta razão, os resultados desta sessão são fixos.

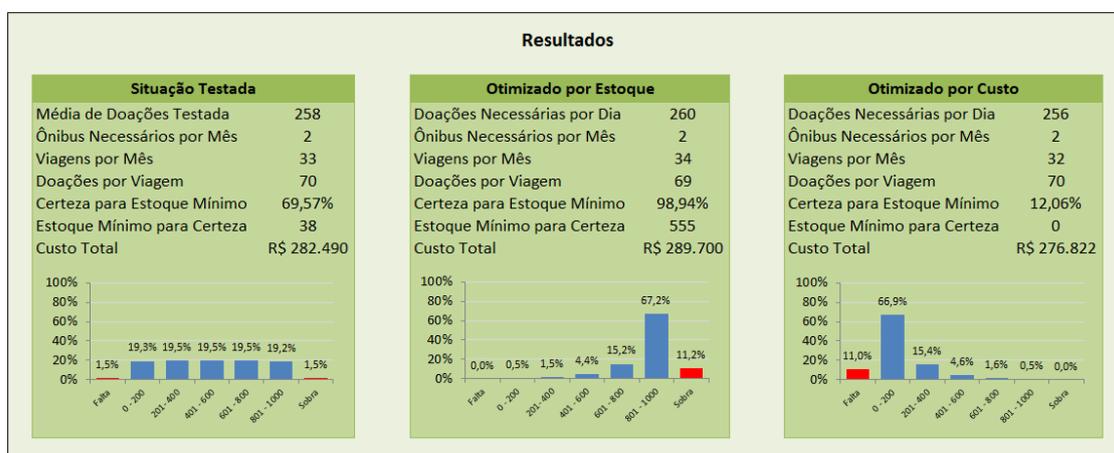


Figura 8 - Exemplo de resultados apresentados pela ferramenta
Fonte: Elaboração própria

4.2.2. Probabilidades de oferta e demanda diárias

A primeira etapa de cálculos da ferramenta consiste no cálculo das distribuições de probabilidade da demanda real e da oferta testada. Como explicado na sessão 4.1.3, tais variáveis estocásticas seguem uma distribuição de Poisson e têm as suas respectivas médias como único parâmetro (λ). As etapas apresentadas abaixo são executadas duas vezes em paralelo, uma para a demanda real e outra para a oferta testada.

Em um primeiro momento são calculadas as probabilidades de ocorrência dos valores de 0 a 500. De acordo com RAMACHANDRAN e TSOKOS (2009), as probabilidades de ocorrência de um valor k são dadas pela equação $f(k; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^k}{k!}$, sendo k o número de ocorrências testado e λ a média de ocorrências. De posse desses valores, a ferramenta descarta os casos em que as probabilidades são insignificantes (o

modelo considera como insignificante as probabilidades menores do que 0,001). Em seguida, as probabilidades são normalizadas, isso é, somam-se as probabilidades dos casos não descartados e as probabilidades são recalculadas para que esta soma se iguale a 1. Por exemplo, se a soma das probabilidades dos casos válidos ($p \geq 0,001$) for igual a 0,98, todas as probabilidades válidas são divididas por 0,98, fazendo com que a soma delas se iguale a 1.

Com a oferta e a demanda sendo devidamente representadas por distribuições de probabilidade, o modelo incorpora as variabilidades do sistema, e a ferramenta segue para as próximas etapas.

4.2.3. Probabilidades de falta e sobra diárias

Combinando-se as probabilidades de oferta e demanda por dia, pode-se calcular as probabilidades de sobra e falta diárias. Tal cruzamento é feito de forma simples. Primeiro é realizada uma combinação de todos os valores possíveis de demanda com todos os valores possíveis de oferta, multiplicando-se as probabilidades, como mostrado no exemplo abaixo.

Demanda		Oferta		
k	P(k)	2	3	4
3	$P_D(3)$	$P_D(3) \cdot P_O(2)$	$P_D(3) \cdot P_O(3)$	$P_D(3) \cdot P_O(4)$
4	$P_D(4)$	$P_D(4) \cdot P_O(2)$	$P_D(4) \cdot P_O(3)$	$P_D(4) \cdot P_O(4)$
5	$P_D(5)$	$P_D(5) \cdot P_O(2)$	$P_D(5) \cdot P_O(3)$	$P_D(5) \cdot P_O(4)$
6	$P_D(6)$	$P_D(6) \cdot P_O(2)$	$P_D(6) \cdot P_O(3)$	$P_D(6) \cdot P_O(4)$

Figura 9 - Exemplo simplificado do cruzamento das probabilidades de oferta e demanda.
Fonte: Elaboração própria

Em seguida, são somados os resultados dessas multiplicações quando resultados de falta ou sobra são os mesmos. Essa etapa está apresentada no exemplo abaixo.

		Oferta				
		2	3	4		
Demanda	3	$P_D(3).P_O(2)$	$P_D(3).P_O(3)$	$P_D(3).P_O(4)$	Falta / Sobra	$P(x)$
	4	$P_D(4).P_O(2)$	$P_D(4).P_O(3)$	$P_D(4).P_O(4)$	1	$P(1)$
	5	$P_D(5).P_O(2)$	$P_D(5).P_O(3)$	$P_D(5).P_O(4)$	0	$P(0)$
	6	$P_D(6).P_O(2)$	$P_D(6).P_O(3)$	$P_D(6).P_O(4)$	-1	$P(-1)$
→ SOMA					-2	$P(-2)$
					-3	$P(-3)$
					-4	$P(-4)$

Figura 10 - Exemplo simplificado do cálculo de probabilidades de faltas e sobras.
Fonte: Elaboração própria

Por exemplo, imagine um caso onde os valores de oferta variam de 50 a 100 bolsas por dia, e os valores de demanda variam de 60 a 120 bolsas por dia. Nesse caso, o valor máximo de falta seria de 70 bolsas por dia, com probabilidade igual a $P_o(50) \times P_d(120)$, onde $P_o(x)$ é a probabilidade da oferta ser igual a x , e $P_d(y)$ é a probabilidade da demanda ser igual a y . Para calcular a falta de 69 bolsas por dia, deve-se calcular o resultado de $[P_o(50) \times P_d(119)] + [P_o(51) \times P_d(120)]$, e assim sucessivamente, até o cálculo da sobra máxima, que nesse caso seria de 40.

O produto dessa etapa é uma tabela com os possíveis cenários de sobra e falta e suas respectivas probabilidades, cujos valores somados apresentam um resultado igual 1.

4.2.4. Matriz de transições

De posse das probabilidades de sobra e falta, a ferramenta constrói a matriz de transições. Essa matriz, resumidamente, apresenta as probabilidades de o sistema passar de um certo estado para outro. No caso do HEMORIO, os estados possíveis do sistema são, na verdade, as quantidades de bolsas de sangue em estoque. Sabendo que o estoque máximo do HEMORIO é de 1000 bolsas de sangue, então existem 1001 estados possíveis (0, 1, 2, ..., 1000).

O limite mínimo em 0 significa que as faltas de estoque não se acumulam de um dia para outro. Isso é, se houver um estoque negativo de 10 bolsas no final do dia N ,

essas bolsas serão compradas de um fornecedor externo, e o estoque no início do dia $N+1$ será de 0 (e não -10). O mesmo acontece para o limite máximo. Se houver mais de 1000 bolsas no estoque no final do dia N , essas bolsas serão descartadas e o estoque no início do dia $N+1$ será de 1000. Na matriz de transições, as linhas (i) representam os estados em um dado tempo N . Já as colunas (j) representam os estados em $N+1$. O valor apresentado na posição p_{ij} , por exemplo, representa a probabilidade do sistema entrar no estado j no tempo $N+1$, dado que ele estava no estado i no tempo N . A ferramenta considera que o espaço unitário de tempo considerado no sistema é de 1 dia.

A construção da matriz é feita de forma simples. Ela apenas distribui as probabilidades de falta e sobra nos lugares certos. Por exemplo, para representar a probabilidade do sistema sair do estado de 20 bolsas estocadas em N para 70 bolsas estocadas em $N+1$, a ferramenta apenas cola a probabilidade de ocorrer uma sobra de 50 bolsas (calculada na etapa anterior). Caso esta sobra tivesse que ser tão grande a ponto de estar fora de limite de faltas e sobras, a probabilidade seria 0.

O único ponto que complica a construção da matriz é o fato do estoque ter limites em 0 e 1000. O problema acontece porque, para cada estado em N , todas as possibilidades de sobra e falta devem ser representadas na matriz (a soma de todos os valores de uma linha sempre deve ser igual a 1). Por exemplo, dado que o sistema está no estado de 10 bolsas em N , e seguindo a lógica anterior, não seria possível representar as probabilidades de falta de 11 bolsas ou mais (pois o limite de estoque é 0). Então, nesse caso, a probabilidade do estado em $N+1$ ser de 0 bolsas no estoque é equivalente a soma de todas as probabilidades de falta iguais ou maiores do que 10. O mesmo ocorre para o limite máximo de 1000 bolsas no estoque.

Dessa forma, a matriz final é composta das duas etapas descritas acima. Primeiro, a organização das probabilidades de falta e sobra na matriz 1001×1001 . Depois, a soma de probabilidades dos casos que ultrapassam os limites mínimos e máximos de estoque, adicionando tais valores às probabilidades da primeira coluna (no caso de ultrapassar o limite mínimo) ou última coluna (no caso de ultrapassar o limite máximo).

Na figura 10 é apresentado um exemplo simplificado desta etapa.

		Estoque no tempo N+1					
		0	1	2	3	4	5
Falta / Sobra	P(x)						
	1	P(-4)+...+P(0)	P(1)	0	0	0	0
	0	P(-4)+...+P(-1)	P(0)	P(1)	0	0	0
	-1	P(-4)+...+P(-2)	P(-1)	P(0)	P(1)	0	0
	-2	P(-4)+P(-3)	P(-2)	P(-1)	P(0)	P(1)	0
	-3	P(-4)	P(-3)	P(-2)	P(-1)	P(0)	P(1)
-4	0	P(-4)	P(-3)	P(-2)	P(-1)	P(0)	

Figura 11 - Exemplo simplificado da construção da matriz de transições.
Fonte: Elaboração própria

4.2.5. Cadeia de Markov

A Cadeia de Markov é calculada a partir da multiplicação da matriz de transição por ela mesma, diversas vezes, até o momento em que não haja mais diferença no resultado final, isso é, sendo P a matriz de transição, $P^{n+1} = P^n$. Mais detalhes sobre Cadeias de Markov se encontram na seção 2.1.2 do presente estudo, veja também (BRENAUD, 1999).

A ferramenta, entretanto, se utiliza de uma técnica algébrica para simplificar as contas de multiplicação e o cálculo das probabilidades finais. Segundo Brenaud (1999), essa simplificação é possível através da utilização de uma matriz de uma linha. Considerando uma matriz de transição A , com tamanho $N \times N$, usamos uma segunda matriz, que chamaremos de B , com tamanho $1 \times N$, onde todos os valores da matriz são iguais a $1/N$. Fazendo a multiplicação $B \times A$, chegamos a uma matriz $B^{(1)}$, que representa os valores de probabilidade do sistema estar em cada estado após uma transição. Em seguida, calcula-se $B^{(1)} \times A$, e assim sucessivamente, até que $B^{(n)}$ seja suficientemente próximo a $B^{(n+1)}$, representando as probabilidades estacionárias de cada estado. Esse método permite que seja utilizada uma matriz $1 \times N$ ao invés de uma matriz $N \times N$ a cada multiplicação, diminuindo a exigência de processamento do programa, que é importante no presente estudo. A ferramenta faz, por padrão, 500 iterações dessa multiplicação,

onde já se pode perceber uma estabilidade da matriz final, isso é, a diferença entre os valores das matrizes calculadas é insignificante.

Como resultado, temos uma matriz de uma linha, que representa a probabilidade do sistema estar em cada um dos possíveis estados no longo prazo, independentemente do estado atual. A soma de todos os valores dessa matriz é igual a 1 (a maior diferença entre os valores nas iterações 499 e 500 é menor do que 0,0001).

4.2.6. Probabilidades finais de estoque

As probabilidades finais de estoque são exatamente os valores que se encontram em uma linha da matriz P^n , com n tendendo a infinito. São, ao todo, 1001 valores; o primeiro valor da matriz representa a probabilidade não haver estoque, o segundo representa a probabilidade de ter 1 bolsa no estoque, e assim sucessivamente, até o último valor que representa a probabilidade do estoque estar completo, isto é, de haver 1000 bolsas de sangue no estoque.

A partir desses valores, a ferramenta também calcula o estoque mínimo e a certeza, que, como explicado anteriormente, são *outputs* do modelo.

Para o cálculo do estoque mínimo, as probabilidades de cada estado, que são inicialmente representadas de forma individual, são transformadas em probabilidades acumuladas, começando no estado com estoque igual a 0. Assim, considerando que a certeza desejada (entrada) seja de 95% (valor padrão), a ferramenta procura o estado cuja probabilidade acumulada seja a maior possível, contanto que não ultrapasse 0,05. Assim, todos os valores seguintes somam, pelo menos, 0,95. Imaginado que esse valor seja 300, por exemplo, pode-se afirmar que, com pelo menos 95% de certeza, o estoque será igual ou maior do que 300 bolsas de sangue.

Fazendo o caminho contrário, a ferramenta também calcula qual seria a probabilidade (ou certeza) com que o estoque mínimo desejado (entrada) seria atendido. Por exemplo, considerando que o estoque mínimo desejado seja 300 (padrão), a ferramenta simplesmente procura qual é a probabilidade acumulada para este estado. Se em um certo cenário essa probabilidade acumulada for igual a 0,1, por exemplo, então é possível dizer que o estoque terá 300 bolsas ou mais com 90% de certeza, isso é, o

estoque terá 300 bolsas ou mais em pelo menos 90% das vezes, considerando as probabilidades no longo prazo.

As probabilidades descritas acima, entretanto, podem comprometer o entendimento das faltas e sobras do sistema. Isso acontece porque o estoque está limitado entre 0 e 1000 bolsas de sangue. É necessário, então, calcular também novas probabilidades que permitam faltas e sobras, já que esses valores serão importantes para o cálculo dos custos de compra de bolsas de sangue de fornecedores externos (em caso de falta) ou dos custos de descarte (em caso de sobra).

A melhor forma de imaginar esses valores é usando a diferenciação em como o estoque se encontra no começo e no fim do dia. No começo do dia, não é possível haver estoque negativo, por exemplo. Qualquer falta que tenha ocorrido no dia anterior já deverá ter sido resolvida com a compra de bolsas de sangue de fornecedores externos. Também não é possível, no começo do dia, haver mais de 1000 bolsas de sangue no estoque, já que qualquer bolsa que exceda a capacidade de 1000 do estoque já deverá ter sido descartada. Isso é, as probabilidades descritas nos parágrafos acima, provenientes da Cadeia de Markov, representam perfeitamente a situação do começo do dia. Entretanto, no final do dia, é possível que exista estoque negativo ou estoque acima de 1000 bolsas. A partir do cálculo da probabilidade desses eventos, será possível avaliar as faltas e excessos de estoque. Contudo, o cálculo dessas novas probabilidades, que representam a situação no final do dia, é simples e está explicitado abaixo.

Para o cálculo das probabilidades no final do dia, é necessário ter as probabilidades do começo do dia (resultado da Cadeia de Markov) e as probabilidades de falta e sobra por dia (explicadas no item 4.2.3). De posse desses valores, a ferramenta faz um cruzamento das probabilidades de forma a achar os novos números.

O cálculo se dá da seguinte forma: considerando um cenário onde o máximo de faltas diárias é de 30 bolsas, e o máximo de sobras diárias é de 20 bolsas, e sabendo que o estoque varia de 0 a 1000 no começo do dia, é possível dizer que no final do dia o estoque poderá variar de -30 até 1020.

Para o cálculo da probabilidade de ter um estoque negativo de -30 ao fim do dia, que chamaremos de $P_{\text{final}}(-30)$, devemos multiplicar as probabilidades de todas as combinações possíveis que levam a esse resultado. Nesse caso, existe somente uma combinação. Logo, $P_{\text{final}}(-30) = P_{\text{inicial}}(0) \times P_{\text{falta}}(30)$, sendo que $P_{\text{inicial}}(x)$ denota a

probabilidade do estoque no começo do dia ser de x bolsas, e $P_{\text{falta}}(y)$ representa a probabilidade de falta de y bolsas no dia (diferença entre oferta e demanda diárias). Seguindo a mesma lógica, $P_{\text{final}}(-29) = [P_{\text{inicial}}(0) \times P_{\text{falta}}(29)] + [P_{\text{inicial}}(1) \times P_{\text{falta}}(30)]$, e assim sucessivamente, até o valor da probabilidade de ter o estoque máximo, que seria $P(1020) = P_{\text{inicial}}(1000) \times P_{\text{sobra}}(20)$. Sendo assim, a ferramenta calcula todas as probabilidades dos estados no final do dia, e pode então calcular todos os custos necessários, que estão listados no item 4.2.8. Esse exemplo de cálculo de probabilidades de estoque ao final do dia está representado na figura abaixo.

Começo do Dia		Faltas / Sobras Diárias		Final do Dia	
Estoque	$P(x)$	F / S	$P(x)$	Estoque	$P(x)$
0	$P_E(0)$	-30	$P(-30)$	-30	$P_E(0), P(-30)$
1	$P_E(1)$	-29	$P(-29)$	-29	$P_E(0), P(-29) + P_E(1), P(-30)$
2	$P_E(2)$	-28	$P(-28)$	-28	$P_E(0), P(-28) + P_E(1), P(-29) + P_E(2), P(-30)$
...
998	$P_E(998)$	18	$P(18)$	1018	$P_E(1000), P(18) + P_E(999), P(19) + P_E(998), P(20)$
999	$P_E(999)$	19	$P(19)$	1019	$P_E(1000), P(19) + P_E(999), P(20)$
1000	$P_E(1000)$	20	$P(20)$	1020	$P_E(1000), P(20)$

Figura 12 - Exemplo simplificado do cálculo das probabilidades de estoque ao final do dia.
Fonte: Elaboração própria

4.2.7. Cálculos de viagens e ônibus necessários

Os cálculos de quantos ônibus serão necessários e quantas viagens devem ser feitas por mês são feitas de forma simples. Tais cálculos dependem apenas de três entradas: a média de doações testada (sede + ônibus), que chamaremos de D_T , a média de doações na sede do HEMORIO, que chamaremos de D_S , e a média de doações por viagem, que chamaremos de D_V .

Primeiro calcula-se o número de doações extras necessárias por mês, que é encontrado a partir do total de doações extras (por ônibus) necessárias diariamente (média de doações testada menos média de doações na sede) multiplicado por 30 dias. Em seguida, para achar o número de viagens necessárias, esse resultado é dividido pela média de doações por viagem. Isso é, a equação final para calcular o número de viagens

necessárias por mês é $N_V = \lceil 30 \times (D_T - D_S) \rceil / D_V$. Por exemplo, considerando um cenário que teste 262 doações diárias no total, com uma média de 182 doações apenas na sede HEMORIO e uma média de 70 doações por viagem, seriam necessárias $\lceil 30 \times (262 - 182) \rceil / 70 \approx 35$ viagens por mês (os resultados não-inteiros são sempre arredondados para o valor inteiro acima).

Para achar o número de ônibus necessários, a ferramenta divide o número de viagens por 30 e retorna o resultado como um número inteiro, arredondado para cima, já que se considera que cada ônibus pode realizar apenas uma viagem por dia. No exemplo acima, a ferramenta retornaria o resultado de 2 ônibus necessários por mês.

Devido a possíveis arredondamentos realizados nos cálculos, a ferramenta também calcula a média de doações necessárias em cada viagem, que pode ser igual ou menor do que a média de doações por viagem da entrada. Esse cálculo é realizado dividindo o número de doações extras necessárias por mês pelo número de viagens necessárias por mês.

No exemplo acima, cada viagem de ônibus deveria ter como meta $\lceil 30 \times (262 - 182) \rceil / 35 \approx 69$ doações (os resultados não-inteiros são sempre arredondados para o valor inteiro acima). Apesar de ser muito próximo da média da entrada, igual a 70 doações por viagens, essa diferença pode se tornar grande em casos onde o número de viagens necessárias por mês seja pequena. Por exemplo, em um cenário onde sejam necessárias apenas 150 doações extras por mês (logo, $150/70 \approx 3$ viagens de ônibus necessárias por mês), o número de doações necessárias por viagem seria de apenas $150/3 = 50$ bolsas de sangue.

4.2.8. Cálculos de custo final

De posse de todos os dados calculados anteriormente, a ferramenta agora é capaz de calcular o custo total de cada cenário. O custo total por mês é composto por 6 custos diferentes, que estão listados abaixo. Todos os custos abaixo são calculados baseando-se nas probabilidades de estoque do final do dia.

- Custo de Falta (diário) – Custo relacionado à compra de bolsas de sangue de um fornecedor externo, caso haja um estoque negativo no final do dia. Esse custo é

a soma dos custos de cada estado de falta ao final do dia. O custo do estado de faltar x bolsas é calculado multiplicando-se a probabilidade desse estado ocorrer, o número de bolsas faltantes (x) e o custo de compra externa (chamado de custo de falta).

- **Custo de Estoque (diário)** – Custo relacionado à manutenção do estoque no HEMORIO. Como explicado no item 4.2.1, o custo de estoque unitário sofre um decaimento de 10% a cada 100 bolsas estocadas. Por isso, o cálculo do custo de estoque é um pouco mais complexo do que os outros. Considere um cenário onde o custo unitário de estoque inicial é de R\$1. Primeiramente, para cada estado de estoque, é calculado um custo associado. Por exemplo, para o estado de estoque igual a 90 bolsas, o custo associado seria de $90 \times 1 = \text{R}\$90$ por dia. Para o estado de estoque igual a 150 bolsas, o custo associado seria de $(100 \times 1) + (50 \times 0,9) = \text{R}\145 por dia. Para o estado de estoque igual a 210 bolsas, o custo associado seria de $(100 \times 1) + (100 \times 0,9) + (10 \times 0,8) = \text{R}\198 por dia, e assim sucessivamente. Depois, a ferramenta multiplica a probabilidade de cada estado pelo seu custo associado. Por fim, todos esses valores são somados. É importante lembrar que, para casos onde há sobra, também deve-se considerar o custo de estoque, sendo que o custo associado a cada estado de sobra será o mesmo, equivalente ao custo de estoque de 1000 bolsas.
- **Custo de Sobra (diário)** – Custo associado ao descarte de bolsas de sangue, quando o número de bolsas no final do dia ultrapassa o estoque máximo de 1000 bolsas. Cada estado onde há sobra recebe um custo associado, que equivale ao número de bolsas acima do limite multiplicado pelo custo unitário de descarte. Em seguida esse valor é multiplicado à probabilidade daquele estado ocorrer no final do dia. Para o cálculo do custo total de sobra, esses valores são somados. Em casos onde não é considerado o custo de descarte, isso é, quando o custo unitário de descarte é igual a 0 (padrão), o custo total de sobra deve ser igual a 0.
- **Custo de Produção (diário)** – Custo associado à coleta de sangue. O custo de produção diário é simplesmente a multiplicação entre a média de doações testada (que engloba todas as bolsas coletadas pelo HEMORIO, tanto na sede quanto nos ônibus) e o custo unitário de produção.

- Custo Variável de Ônibus (mensal) – Custo associado ao número de viagens feitas por mês pelos ônibus. É o resultado da multiplicação entre o número de viagens necessárias por mês e o custo variável de cada viagem.
- Custo Fixo de Ônibus (mensal) – Custo associado ao número de ônibus que devem ser mantidos pelo HEMORIO. É o resultado da multiplicação entre o número de ônibus necessários e o custo fixo de cada ônibus por mês

O custo total mensal é igual à soma dos custos listados acima, sendo que os custos diários devem ser multiplicados por 30 dias antes de serem adicionados ao cálculo final.

4.2.9. Definição de pontos ótimos

A otimização dos resultados é feita após a simulação de diversos cenários, alterando-se a média de doações testada e mantendo-se as outras entradas constantes. A ferramenta está programada para simular cenários cujas médias de doações testadas comecem com o mesmo valor da média de doações na sede do HEMORIO e terminem em 20 unidades acima da média de demanda. Por exemplo, em um cenário no qual a média de doações na sede do HEMORIO é de 182 (padrão) e a média de demanda é de 258 (padrão), a ferramenta cria espaço para simular 97 cenários, variando a média de doações testada de 182 até 278 bolsas de sangue por dia.

A partir dos resultados de cada cenário, e dependendo da forma de otimização, a ferramenta escolhe a opção ótima. No caso de otimização por estoque, a ferramenta escolhe o primeiro cenário a atender o estoque mínimo com a certeza desejada. Já na otimização por custo, a ferramenta escolhe o cenário que apresenta o menor custo total por mês.

Como explicado anteriormente, por uma questão de processamento, o Excel não consegue calcular múltiplos cenários de uma vez, através de uma tabela de dados, por exemplo, porque o arquivo requer a realização de milhares de cálculos para chegar aos resultados de cada cenário. Por este motivo, os cenários calculados para a otimização foram feitos um por um e colados como valores, considerando as entradas-padrão.

Assim, a otimização feita pela ferramenta é baseada nestes valores, que são fixos, e por isso não se alteram com a modificação das entradas. Para futuros estudos,

sugerimos que o modelo seja reescrito em programas com maior capacidade de processamento para que a otimização seja feita de forma automática e rápida.

4.3. Análise de Resultados

Após a simulação de diferentes médias de doações totais, a ferramenta seleciona os valores ótimos, tanto considerando o estoque, como o custo total. Apesar de apresentarmos os dois resultados a seguir, daremos ênfase à otimização por custo. Tal ênfase se deve ao fato de que a compra de bolsas de sangue de fornecedores externos não é um grande gargalo no processo do HEMORIO, além de outros motivos que serão apresentados adiante.

Todos os resultados apresentados nesta seção serão indicados a partir da média de doações diárias total. Por exemplo, se o cenário ótimo de custo é indicado como o cenário onde a média de doações diárias é de 256, isso quer dizer que, para atingir o menor custo, o HEMORIO deve conseguir coletar 256 doações por dia, somando as doações feitas na sede e nos ônibus.

Sabendo que a média de doações na sede é de 182 bolsas de sangue, então o cenário ótimo implica que o HEMORIO deve conseguir, em média, 74 doações através dos ônibus por dia. A quantidade de bolsas a serem compradas externamente não está representada nesse número, apesar do custo dessas bolsas já estar adicionado ao custo final. A compra de bolsas deve ser feita de maneira interativa, isso é, sempre que tiver falta, a compra é realizada. Por se tratar de um problema estocástico, essa falta irá variar a cada dia, e a quantidade de bolsas de sangue a serem compradas deve ser calculada diariamente.

4.3.1. Otimização por Estoque

Na primeira otimização, a ferramenta indica qual é o primeiro cenário onde o estoque mínimo (entrada) é respeitado como uma certeza igual ou maior do que a certeza desejada (entrada). No caso padrão, a ferramenta procura o cenário onde o

sistema mantenha um estoque mínimo de 300 bolsas de sangue com pelo menos 95% de certeza. A figura 13 apresenta o gráfico onde é possível ver os cenários nos quais o estoque mínimo a 95% de certeza cresce até valores próximos de 1000.

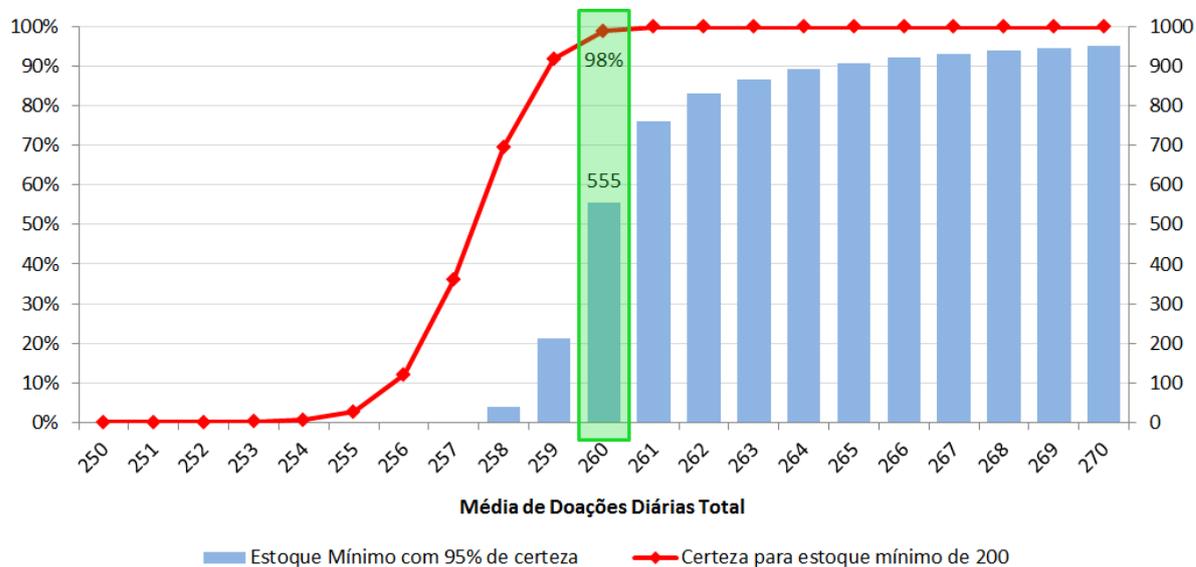


Figura 13 - Ponto ótimo de estoque
Fonte: Elaboração própria

No gráfico acima, a linha vermelha representa, para cada cenário, a certeza com que se pode esperar um estoque igual ou maior do que 300. Por outro lado, as barras azuis representam o estoque mínimo de cada cenário para uma certeza de 95%. O primeiro cenário onde os valores desejados são respeitados representa o cenário ótimo por estoque. Isso ocorre quando a média de doações diárias total é igual a 260 (2 unidades a mais do que a média da demanda), já que o estoque mínimo de 300 bolsas de sangue ocorre com uma certeza de, aproximadamente, 98%.

Entretanto, também percebe-se que, nesse cenário, o estoque é maior do que 555 unidades em 95% dos casos, o que pode ser desnecessário e causar altos custos de estoque. Desse modo, é importante balancear a real importância dos limites impostos a essa otimização (estoque mínimo e certeza), já que eles podem resultar em um aumento significativo do custo total, como veremos no próximo item.

Caso o HEMORIO opte por esta opção, serão necessários 2 ônibus ativos por mês, realizando, juntos, 34 viagens, com uma meta de 69 bolsas de sangue doadas por viagem.

4.3.2. Otimização por Custo

A segunda otimização feita pela ferramenta toma o viés de custos e apresenta o cenário que demanda menor investimento de capital por parte do HEMORIO. É importante lembrar que todos os cenários que serão apresentados abaixo atendem à demanda final, mesmo que seja necessária a compra de bolsas de sangue de fornecedores externos. Nesses casos onde a compra externa é necessária, os custos de compra já estão contabilizados nos custos finais.

A figura 14 mostra a curva de custos para todos os cenários testados.

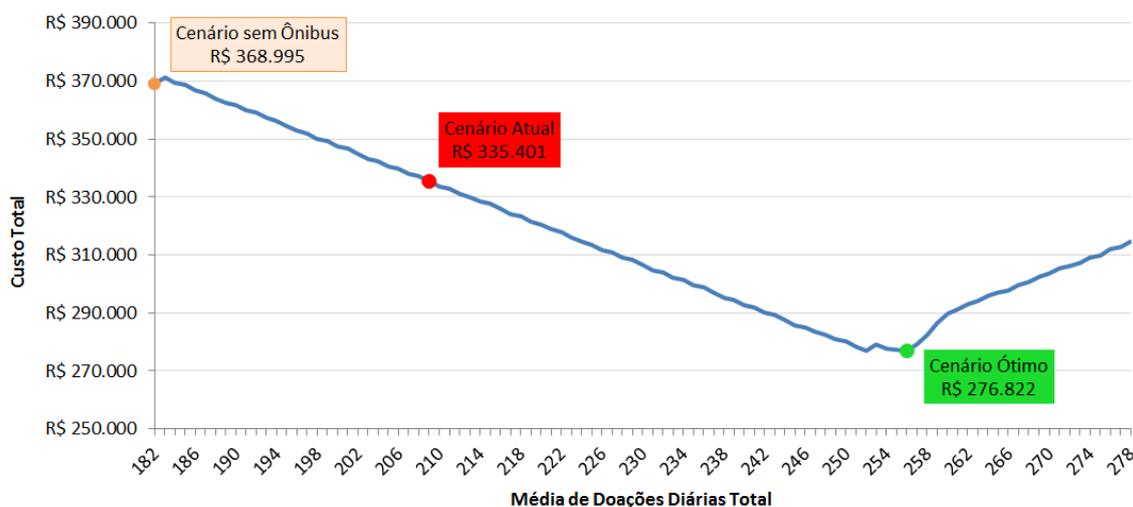


Figura 14 - Curva de custos totais
Fonte: Elaboração própria

Diversas análises interessantes podem ser feitas através desse primeiro gráfico. Primeiramente, é visível a existência de um ponto ótimo, com média de doações diárias total igual a 256 (2 unidades abaixo da média de demanda). Até esse ponto a curva de custo sofria uma queda devido à diminuição do número de possíveis faltas, uma vez que a oferta aumenta. Dessa forma, a necessidade de compra de bolsas de sangue de fornecedores externos cai, tirando a pressão sobre o custo final. Por outro lado, após o

ponto ótimo, há um crescimento dos custos finais devido à manutenção do estoque do HEMORIO, que passa a ser sobrecarregado, e, conseqüentemente, tem o seu custo expandido. Outro fator responsável pelo aumento do custo é o aumento do número de bolsas produzidas, cujo custo é de R\$30, em cenários onde tal produção extra é dispensável e as bolsas que sobram acabam sendo descartadas.

O fato de o ponto ótimo ter uma média de doações totais abaixo da média de demanda mostra que a ferramenta, ao mesmo tempo em que tenta evitar faltas, também sofre grande peso do estoque. Com uma média de oferta abaixo da média de demanda, o sistema consegue manter um estoque baixo enquanto experimenta faltas em poucos momentos (11% das vezes, de acordo com os resultados da ferramenta). Isso é, o sistema nos diz que é interessante realizar compras externas de forma a não precisar sobrecarregar o estoque.

No gráfico de custos totais também é apresentado, em laranja, o custo do cenário sem a utilização dos ônibus, isso é, o cenário onde a média de doações totais é igual à média de doações na sede do HEMORIO (182 bolsas de sangue). De início, é interessante notar que o início da utilização dos ônibus não representa uma alta significativa dos custos totais. Isso é devido ao fato de o HEMORIO já possuir 4 ônibus disponíveis. Logo, não é necessário um grande investimento de capital para a utilização dos ônibus, como a compra dos veículos, por exemplo, apenas o custo fixo de manutenção e os custos variáveis de viagens, o que é rapidamente compensado pela diferença de custo entre produzir uma bolsa de sangue (R\$30) e comprar uma bolsa de sangue (R\$90).

Assim, pode-se afirmar que a utilização dos ônibus é vantajosa mesmo com poucas viagens realizadas. Também é interessante medir o tamanho do impacto da utilização dos ônibus no custo total do HEMORIO. A diferença entre o cenário sem ônibus e o cenário ótimo é de, aproximadamente, R\$92.000, mostrando a grande importância que os ônibus podem ter na saúde financeira da instituição.

Por último, observa-se também onde o HEMORIO se encontra atualmente nessa curva de custos. De acordo com os dados do relatório de doações disponibilizado pelo HEMORIO, a instituição consegue atualmente uma média de 209 doações diárias, que resulta da soma das doações na sede e nas doações pelos ônibus. Nesse cenário, o custo

total ainda se encontra em um patamar alto, considerando-se a otimização de custo que é possível ser feita, de acordo com esse estudo.

Caso o HEMORIO opte pelo cenário ótimo, ele ainda pode ter uma redução de, aproximadamente, R\$59.000 no custo total por mês. Após a análise da curva de custos de todos os cenários simulados, será discutido mais a fundo o vale da curva, que se encontra ampliado abaixo.

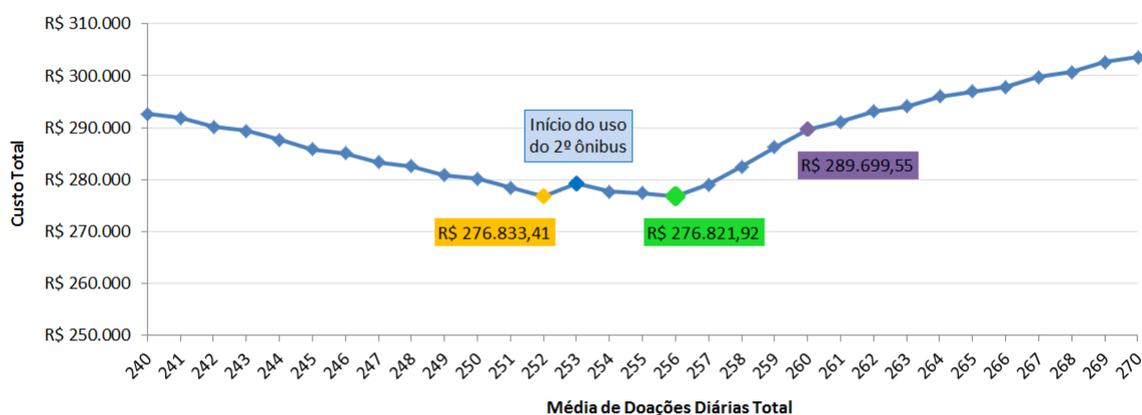


Figura 15 - Curvas de custos totais próximos ao cenário ótimo
Fonte: Elaboração própria

No gráfico acima, é possível observar com mais detalhes o que ocorre com o custo total nos cenários cujas médias de doações diárias totais estão em torno da média de demanda (258). Em primeiro lugar, é notável a presença de outro ponto cujo custo total é próximo ao custo ótimo. Tal cenário está representado pela cor amarela, com média de doações diárias total igual a 252 (6 unidades a menos do que a média de demanda). Apesar do custo baixo, acredita-se que esse cenário não seja interessante uma vez que depende, significativamente, da compra de bolsas de sangue de um fornecedor externo.

De acordo com os resultados calculados pela ferramenta, esse cenário prevê faltas em, aproximadamente, 33% dos casos. Considerando que existe um cenário, representado em verde, com custo similar e com menor dependência externa (faltas ocorrem em 11% dos casos), este segundo deve ser preferido pelo HEMORIO.

Outro aspecto interessante do gráfico acima é a existência de um pico quando a média de doações diárias total é igual a 253, representado em azul claro. Esse pequeno

pico é devido ao fato de que, a partir desse momento, é necessária a utilização de um segundo ônibus. Dessa forma, é adicionado o custo fixo de um ônibus a mais (R\$3.000), o que causa um leve aumento do custo total.

Também é interessante observar o custo total do ponto ótimo do último item, que leva em consideração o estoque desejado, e está representado em roxo. Como dito anteriormente, os limites impostos (300 bolsas em estoque com 95% de certeza) podem pressionar de forma substancial o estoque e, conseqüentemente, seus custos. Para atender a esses números, seria necessário um gasto mensal de R\$13.000 a mais do que o cenário otimizado por custo.

Acreditamos que esse valor seja muito alto e o estoque desejado não contribui de forma significativa para o funcionamento do sistema de expedições no HEMORIO. Apesar do cenário otimizado por custo não atender ao estoque desejado, ele prevê faltas apenas em 11% dos casos, que pode ser facilmente resolvido com a compra externa.

Por último, é interessante observar o comportamento da curva após o ponto ótimo. Em um primeiro momento, nos 4 cenários seguintes, a curva sofre um grande crescimento. A partir desse ponto, apesar do custo ainda continuar aumentando, a inclinação da curva diminui. O aumento no primeiro momento se deve ao crescimento dos custos de estoque, alinhado ao aumento dos custos de produção (já que o número de bolsas produzidas aumenta). A partir do quarto ponto, o estoque já se encontra superlotado com alta certeza.

A partir desse momento, então, a ferramenta entende que os descartes começam a acontecer. Isso é, não há, a partir desse ponto, um aumento no custo de estoque, já que esse custo será o mesmo para todos os pontos seguintes (estoque de 1000 bolsas). Logo, o aumento do custo final se deve apenas ao aumento do custo de produção, e por isso a inclinação da curva de custo é um pouco menor para os pontos seguintes.

Dando ênfase agora ao ponto ótimo de custo, é possível, a partir dos resultados da ferramenta, analisar qual é o comportamento esperado do estoque no longo prazo, caso essa estratégia seja adotada.

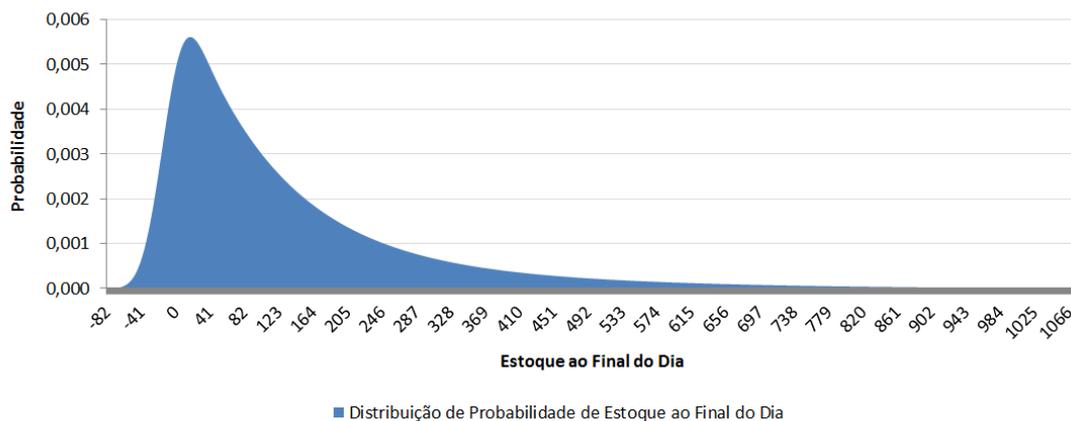


Figura 16 - Distribuição de probabilidade do estoque ao final do dia
 Fonte: Elaboração própria

Acima podemos observar a distribuição de probabilidade do estoque de bolsas de sangue do HEMORIO a longo prazo, no final do dia (isso é, permitindo faltas e sobras), se ele conseguir chegar a uma média de doações diárias total de 256 bolsas de sangue. Observa-se que a probabilidade de haver sobra é mínima, e o estoque se mantém baixo na maior parte do tempo, especialmente entre 0 e 300 bolsas de sangue. Apesar da falta também existir, ela representa um pequeno pedaço do gráfico de distribuição de probabilidades.

A seguir, a fim de comparação, seguem as distribuições de probabilidades de estoque de três cenários diferentes: cenário otimizado por custo (média de doações total igual a 256), cenário com oferta igual à demanda (média de doações total igual a 258) e cenário otimizado por estoque (média de doações total igual a 260). As áreas em rosa representam os estados de falta (estoque menor que 0) e sobra (estoque maior que 1000).

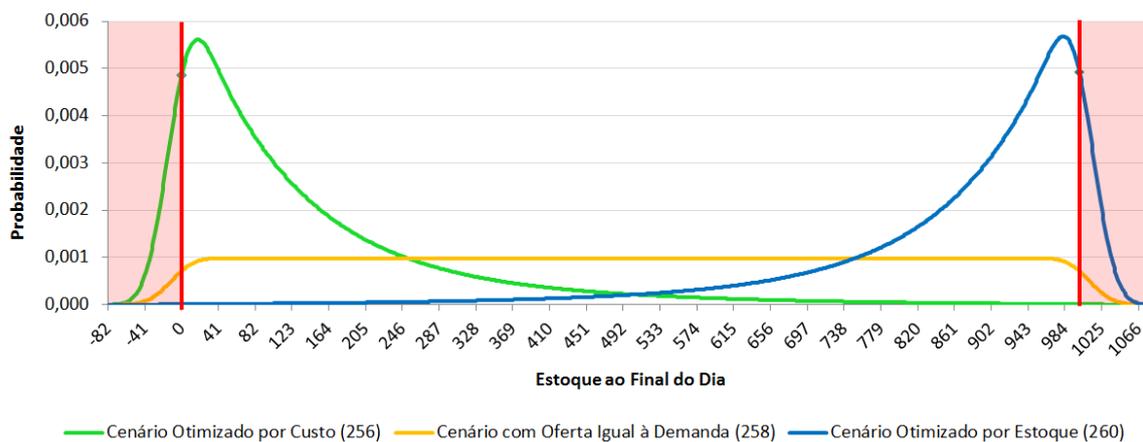


Figura 17 - Comparação de distribuições de probabilidade de estoque ao final do dia
Fonte: Elaboração própria

Acima, pode-se observar que o cenário onde a oferta é igual à demanda se distribui de forma constante, como era de se esperar, ao longo dos estados de estoque. O custo total desse cenário acaba sendo um pouco maior do que o custo ótimo exatamente pelo custo de estoque, já que, como é possível perceber no gráfico, em 50% das vezes o estoque é maior do que 500 bolsas de sangue.

As distribuições de probabilidade de estoque dos cenários otimizados por custo e por estoque têm o mesmo formato, apesar de serem contrários. Isso ocorre pelo fato de estarem a menos 2 unidades e mais 2 unidades da média de demanda, respectivamente. Nesse gráfico é fácil perceber o porquê do custo do cenário otimizado por estoque ser tão mais alto. A probabilidade desse cenário se concentra, em sua maioria, em estoques maiores de 800 unidades, o que causa grande pressão nos custos de estoque e, conseqüentemente, no custo total.

Voltando à análise apenas do cenário ótimo de custo, seguem abaixo representações das probabilidades em forma de histograma, a fim de facilitar a análise numérica das probabilidades de estoque.

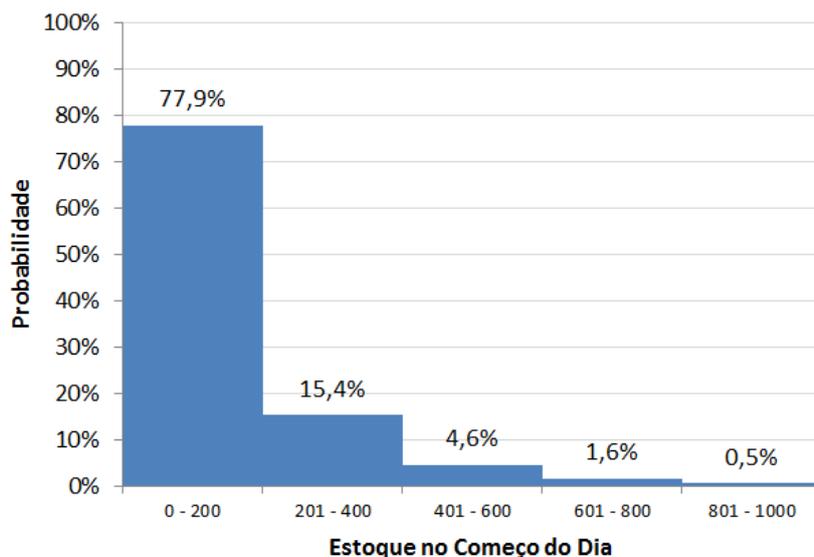


Figura 18 - Histograma de probabilidades do estoque no começo do dia
Fonte: Elaboração própria

No histograma acima, vemos como o estoque se comporta no começo do dia. É interessante destacar que, em aproximadamente 4/5 do tempo, o estoque estará em um nível baixo, com até 200 bolsas, o que representa baixos custos para a manutenção do mesmo.

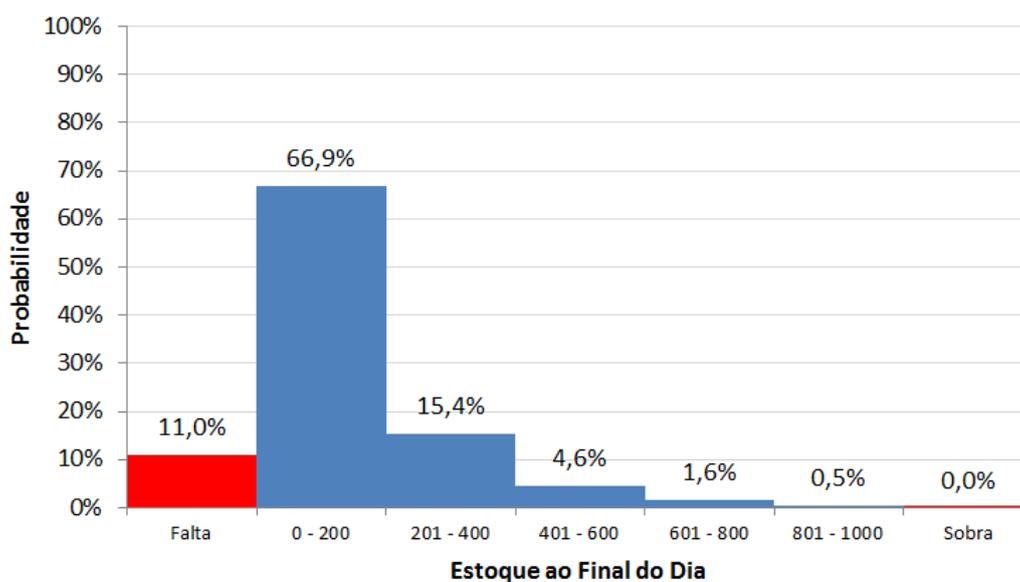


Figura 19 - Histograma de probabilidades do estoque ao final do dia
Fonte: Elaboração própria

Observando agora o comportamento do estoque ao final do dia, confirmamos a baixa ocorrência de faltas no sistema. Outro ponto interessante a ser destacado é a constância das probabilidades. Após as compras externas, caso necessário, a probabilidade de faltas será somada à probabilidade de haver estoque nulo, somando-se, então, 11,0% a 66,8%. Feito isso, teremos um histograma idêntico ao histograma de probabilidade do começo do dia. Esse fenômeno ocorre pela própria natureza da Cadeia de Markov, que prevê probabilidades constantes para cada estado no longo prazo.

De acordo com os resultados calculados pela ferramenta, para se atingir o ponto ótimo de custo, deve-se ter como meta uma média de doações diárias total de 256 bolsas de sangue. Isso é, em média, o HEMORIO precisa coletar 74 bolsas de sangue por dia através dos ônibus. Para isso, serão necessários 2 ônibus ativos por mês, realizando, no total, 32 viagens. Cada uma das viagens deve ter como objetivo a coleta de 70 bolsas de sangue.

4.3.3. Política de Estoque

Para a criação de uma política de estoque simples, deve ser criada uma estratégia que leve em conta a quantidade de bolsas em estoque e o envio (ou não) de ônibus para coleta de sangue em cada dia. As estratégias discutidas abaixo se referem ao cenário otimizado por custo.

A maneira mais simples de criar a estratégia é considerar que 1 viagem deve ser feita por dia, no mínimo. Considerando que um mês tem 30 dias, e que devem ser feitas 32 viagens por mês, podemos inferir que a cada 15 dias, 2 viagens devem ser feitas no mesmo dia, a fim que atingir a meta de 32 viagens ao mês.

Entretanto, é possível criar uma estratégia mais inteligente, mas também muito simples, que considere o estado do estoque como informação principal para a decisão de enviar o segundo ônibus ou não. Dessa forma, a política de estoque se torna mais eficiente e evita que um ônibus adicional seja enviado em um momento em que o estoque esteja alto, por exemplo. Sabemos, então, que no mínimo uma viagem deve ser feita por dia, e que duas viagens extras devem ser distribuídas ao longo de um mês. Isso quer dizer que, em $2/30 = 6,7\%$ dos dias no mês, o segundo ônibus deve ser enviado.

É possível fazer um paralelo desse valor com as probabilidades de estoque no final do dia do sistema. Ao analisar os resultados de probabilidade acumulada dos estados de estoque, é possível observar que, em 6,6% das vezes, o estoque ao final do dia será igual ou menor do que -11. Isso é, existe uma chance de 6,6% de ocorrer uma falta de 11 bolsas de sangue ou mais. Logo, pode-se afirmar que um ônibus extra deve ser enviado sempre que houver uma falta de 11 bolsas ou mais. Dessa forma, se assegura que serão enviados, em média, 2 ônibus extras por mês, respeitando a meta para atingir o cenário ótimo de custo.

Seguindo a mesma lógica, mas considerando que os ônibus fariam apenas viagens em dias de semana, o primeiro ônibus sairia em todos os dias da semana (em média, 22 dias por mês), enquanto o segundo ônibus seria enviado em 10 desses dias. Apesar dos ônibus itinerantes funcionarem em, no máximo, 22 dias por mês, usaremos a base de 30 dias por mês para o cálculo da probabilidade de o segundo ônibus sair, já que as probabilidades de estoque consideram todos os dias do mês. Sendo assim, o segundo ônibus sairia em $10/30 = 33,3\%$ dos dias. Isso corresponde a todos os casos em que o estoque do final do dia se encontra com 40 ou menos bolsas de sangue. Isto é, se os ônibus itinerantes só puderem sair nos dias de semana, em todos esses dias deve-se enviar ao menos um ônibus, e o segundo ônibus deve ser enviado sempre que tiver 40 bolsas de sangue ou menos no estoque do HEMORIO.

5. CONCLUSÃO

Após as análises realizadas a partir dos resultados da ferramenta, conclui-se que o HEMORIO pode, a partir da correta política de utilização de ônibus itinerantes, reduzir os seus custos operacionais, podendo chegar a uma economia de R\$59.000 por mês, além de ter uma maior facilidade no atendimento à demanda. Recomenda-se ao HEMORIO chegar a uma média de doações diárias total de 256 bolsas de sangue por dia, que representa o cenário com custo ótimo. Para isso, é necessário que sejam utilizados 2 ônibus por mês. Todos os dias, ao menos um ônibus deve ser enviado para fazer a coleta de sangue.

O segundo ônibus, por sua vez, deve ser enviado sempre que houver uma falta de 11 bolsas de sangue ou mais no dia anterior. Dessa forma, considerando uma meta de 70 doações realizadas por viagem, assegura-se de que o HEMORIO estará atingindo o cenário de custo ótimo. Tal cenário prevê faltas em 11% das vezes, que pode ser facilmente solucionado com a compra de bolsas de sangue de um fornecedor externo. Por outro lado, espera-se que o estoque se mantenha entre 0 e 200 unidades com uma certeza de 67%.

Reitera-se, ainda, que é preciso ter cuidado ao ter como foco estoques mínimos altos, pois os custos de estoque têm grande influência no custo total. O cenário ótimo faz um balanço de forma a evitar faltas ao mesmo tempo em que evita grandes estoques. Já que, segundo o HEMORIO, a compra externa de uma pequena quantidade de bolsas de sangue pode ser feita facilmente, não há motivo para a manutenção de um estoque alto. Os custos extras para a manutenção de um estoque de 300 unidades com certeza de 95% podem chegar a R\$13.000 por mês.

Para estudos futuros, propõe-se a implantação do modelo apresentado nesse projeto em um programa específico de otimização de sistemas. Dessa forma, com um processo de otimização rápido e automático, será permitida a realização de análises adicionais, incluindo análises de sensibilidade a partir da modificação de valores das entradas. Também é encorajado o estudo de possíveis destinos dos ônibus itinerantes, sabendo que deverão ser feitas 32 viagens por mês. Tal estudo é de grande importância para assegurar que diferentes regiões sejam exploradas, além de evitar que certas regiões sejam sobrecarregadas, de modo a garantir que a meta de 70 doações por viagem seja atendida.

Outro estudo de grande importância, com um viés mais qualitativo, é relacionado à forma como deve ser feita a divulgação das coletas de sangue nos lugares de destino, e qual o custo que isso pode acarretar para o HEMORIO.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLOU, R. H., 2001, *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 532p
- BARCELOS, D., CAMPOS, C., 2008. *Proposta de um sistema para auxiliar o HEMORIO na tomada de decisão de distribuição do sangue entre as agências transfusionais*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Gama Filho.
- BELIEN, J. e FORCÉ, H., 2012, *Supply Chain Management of blood products: a literature review*. European Journal of Operational Research, v. 217, p. 1-16.
- BOGATAJ, M., BOGATAJ, L., VODOPIVEC, R., 2005, *Stability of perishable goods in cold logistic chains*, International Journal of Production Economics, Vol. 93/94, pp. 345-56.
- BREMAUD, P., 1999, *Markov Chains; Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation, and Queues*. Springer Verlag, New York.
- BROEKMEULEN, R. A. C. M., VAN DONSELAAR, K. H., 2009, *A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand*. Computers & Operations Research, Vol. 36, pp. 3013-8.
- CHOPRA, S., MEINDL, P., 2003, *Gerenciamento da cadeia de suprimentos*. São Paulo, Pearson Prentice Hall.
- FONTANA, B., MARRONE, L. C. P., BRIDI, A. T., MELERE, R., 2006, *Prevalência do Sistema ABO entre Doadores de Sangue de um Hospital Universitário*. Revista da AMRIGS, v. 50, n. 4 (Out-Dez), pp. 277-279.
- GURGEL, J., CARMO, B., 2014, *Dimensionamento de derivados de sangue em um hemocentro do Brasil baseado em um modelo de gestão de estoques e previsão de demanda*. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.14, n. 1, p. 264-293.
- HEMORIO. <http://www.hemorio.rj.gov.br/> (acessado em 15/07/2016).
- HUGHES, D., MERTON, I., 1996, *“Partnership in produce”: the J. Sainsbury approach to managing the fresh produce supply chain*. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 1, pp. 4-6.
- LEVÉN, E., SEGERSTEDT, A., 2004, *Polarica’s wild berries: an example of a required storage capacity calculation and where to locate this inventory*. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 9, pp. 213-8.
- MARTINS, P. G., ALT, P. R. C., 2009, *Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais*. 3. ed. São Paulo, Saraiva.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010, *Guia para o Uso de Hemocomponentes*. 1 ed. Brasília, Editora do Ministério da Saúde.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção a Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática., 2015, *Manual de orientações para promoção da doação*

voluntária de sangue / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção a Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. 1. ed., 1. reimpr. Brasília, Ministério da Saúde.

MOIA, R. P., SANTOS, J. P. A., 2014, *Gestão de estoques: estudo de caso produto perecível*. Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia, v. 3, n. 5

MOWAT, A., COLLINS, R., 2000, *Consumer behaviour and fruit quality: supply chain management in an emerging industry*. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 5, pp. 45-54.

OMS, 2011, *Blood Safety Factsheet n°279*, pp. 2.

RAMACHANDRAN, K. M., TSOKOS, C. P., 2009, *Mathematical Statistics with Applications*. 1 ed. Burlington, Elsevier Academic Press.

SILVA, D. B., 2008, *O desafio da distribuição do sangue: um sistema para auxiliar ao HEMORIO na decisão de distribuição do sangue entre as grandes emergências*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Gama Filho.

SIMON, T. L., 2003, *Where have all the donors gone? A personal reflection on the crisis in America's volunteer blood program*. Transfusion 43(2):273-9.

TUBINO, D. F., 2000, *Manual de Planejamento e controle da Produção*. São Paulo: Editora Atlas S.A 2º Edição.

WASSERMAN, L., 2004, *All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference*. 1 ed. New York, Springer-Verlag.

Apêndice A

Demanda de sangue nos hospitais do estado do Rio de Janeiro

Hospital	Demanda Esperada	Enviados do HEMORIO	Usado	Descartado
Hospital Estadual Albert Schweitzer	4672	1900	2237	26
Hospital Estadual Carlos Chagas	1750	1915	2249	33
Hospital Estadual Getúlio Vargas	3840	2509	3284	21
Hospital Estadual Rocha Faria	2840	1850	2763	16
Instituto Estadual de Cardiologia Aloysio de Castro	2331	767	754	13
Hospital Estadual Azevedo Lima	2256	1305	1965	4
Hospital Municipal de Mage	366	374	309	6
Hospital Municipal Moacyr Rodrigues do Carmo	4400	1897	3561	39
Hospital Federal da Lagoa	4768	2128	2828	17
Hospital Federal de Ipanema	2272	858	1089	20
Hospital Federal do Andaraí	4752	1946	3141	110
Hospital Mario Kroeff	1248	887	-	-
Hospital Municipal São Francisco Xavier	648	344	425	15
Hospital Universitário Gaffre e Guinle	4276	778	1060	23
Instituto de Pesquisa Clínica Evandro Chagas	93	234	319	3
Instituto Fernandes Figueira	864	334	627	20
Hospital Municipal Fernando Magalhaes	1374	495	615	25
Hospital Municipal Herculano Pinheiro	528	252	224	17
Hospital Municipal Barata Ribeiro	390	132	81	1
Hospital Municipal Piedade	2272	576	778	4
Hospital Municipal Francisco Silva Telles	402	315	459	8
Hospital Municipal Jesus	1808	177	200	31
Hospital Municipal Lourenço Jorge	5481	2021	2434	17
Hospital Municipal Miguel Couto	7182	2867	3560	39
Hospital Municipal Paulino Werneck	150	197	253	1
Hospital Municipal Pedro II	7035	2158	-	-
Hospital Municipal Raphael de Paula e Souza	192	117	141	6
Hospital Municipal Rocha Maia	114	188	146	3
Hospital Municipal Ronaldo Gazolla	1698	1348	1252	5
Hospital Municipal Salgado Filho	5880	2645	3462	32
Hospital Municipal Souza Aguiar	8673	3000	4704	48
Maternidade Alexander Fleming	492	205	360	20
Maternidade Carmela Dutra	1206	353	458	5
Instituto Estadual de Hematologia - HEMORIO	6452	9133	11589	1607
Total Ano	92705	46205	57327	2235
Total Mês	7725	3850	4777	186
Total Dia	258	128	159	6

Apêndice B

Classificação ABC dos hospitais do estado do Rio de Janeiro em função da demanda de bolsas de sangue

Classificação	Acumulado	Hospital	
A	16%	IEHE	I. E. De Hematologia Arthur De Siqueira Cavalcanti - HEMORIO
A	22%	HLAG	Hospital Federal Da Lagoa
A	28%	HMSA	Hospital Municipal Souza Aguiar
A	33%	HMPII	Hospital Municipal Pedro II
A	38%	HMMC	Hospital Municipal Miguel Couto
A	42%	HMLJ	Hospital Municipal Lourenço Jorge
A	46%	HMSF	Hospital Municipal Salgado Filho
A	50%	HSE	Hospital Federal Dos Servidores Do Estado
A	53%	HAND	Hospital Federal Do Andaraí
A	57%	HMDMRC	Hospital Municipal Dr. Moacyr Rodrigues Do Carmo
A	60%	HDC	Hospital Da Criança
A	63%	HERF	Hospital Estadual Rocha Faria
B	66%	HECC	Hospital Estadual Carlos Chagas
B	69%	IECAC	Instituto Estadual De Cardiologia Aloysio De Castro
B	71%	HMLRG	Hospital Municipal Ronaldo Gazolla
B	73%	HUGG	Hospital Universitário Gaffree E Guinle
B	75%	IPEC	Instituto Nacional De Infectologia Evandro Chagas - Ini
B	76%	HIPAN	Hospital Federal De Ipanema
B	78%	HAC	Hospital De Ensino Alcides Carneiro
B	79%	HMEF	Hospital Municipal Evandro Freire
B	81%	IMMFM	Hospital Maternidade Fernando Magalhães
B	82%	HPIED	Hospital Municipal Da Piedade
B	83%	IPPMG	Instituto De Puericultura E Pediatria Martagão Gesteira
B	84%	MCD	Maternidade Carmela Dutra
B	85%	HMJ	Hospital Municipal Jesus
B	85%	HMK	Hospital Mario Kroeff
B	86%	IFF	Instituto Fernandes Figueira
B	87%	HMCT	Hospital Municipal Carlos Tortelly
B	87%	HMFST	Hospital Municipal Francisco Da Silva Telles
B	88%	HMCML	Hospital Municipal Conde Modesto Leal
B	88%	HCPM	Hospital Central Da Polícia Militar
B	89%	HMSFX	Hospital Municipal São Francisco Xavier
B	89%	MMABH	Maternidade Maria Amélia Buarque De Holanda
B	89%	HMM	Hospital Municipal De Mage
B	90%	HDL	Hospital Daniel Lipp
B	90%	HEAS	Hospital Estadual Albert Schweitzer
C	91%	HEMOVAS	Hemocentro Regional De Vassouras
C	91%	ATMP	Agência Transfusional De Miguel Pereira
C	91%	CSLCP	Casa De Saúde Laranjeiras Ltda - Clínica Perinatal
C	92%	HCAP	Hospital Central Aristarcho Pessoa

C	92%	HEMONM	Servico Municipal De Hemoterapia De Macae
C	92%	UISHP	Hospital Maternidade Herculano Pinheiro
C	93%	HGJ	Hospital Federal Cardoso Fontes
C	93%	UTIRIODC	Uti Rio Sociedade Civil Ltda (D. Caxias)
C	93%	HMMMR	Hospital Municipal Da Mulher Mariska Ribeiro
C	93%	HOF	Hospital Orencio De Freitas
C	94%	HMAF	Maternidade Alexander Fleming
C	94%	SC	Hospital Clinico De Correias
C	94%	HEMONR	Nucleo De Hemoterapia Municipal De Resende
C	94%	HMBR	Hospital Municipal Barata Ribeiro
C	95%	HC I	Hospital Do Cancer I - Hc I
C	95%	ATA	Agencia Transfusional De Araruama
C	95%	HEMOFRI	Hemocentro Regional De Nova Friburgo
C	95%	HRPS	Hospital Municipal Raphael De Paula E Souza
C	95%	MEUFRJ	Maternidade Escola Da Ufrj
C	96%	PAMDAG	Pam Dr. Abdon Goncalves
C	96%	HGB	Hospital Federal De Bonsucesso
C	96%	HEMONNI	Nucleo De Hemoterapia De Nova Iguacu
C	96%	HEMOLAGO	Hemocentro Da Regiao Dos Lagos Dr. Sergio De Almeida E Silva
C	97%	HEMONIT	Hemocentro Regional De Niterói
C	97%	HMRM	Hospital Municipal Rocha Maia
C	97%	INTO	Instituto Nacional De Traumatologia E Ortopedia
C	97%	HEER	Hospital Eduardo Rabello
C	97%	HMDLJ	Hospital Municipal Desembargador Leal Junior
C	97%	HMAR	Hospital Municipal Alvaro Ramos
C	97%	HPMDFPS	Hospital Publico Municipal Dr. Fernando Pereira Da Silva
C	98%	HCE	Hospital Central Do Exercicio
C	98%	HEGVF	Hospital Getulio Vargas Filho
C	98%	HFAG	Hospital De Forca Aerea Do Galeao
C	98%	HEMONSUL	Nucleo De Hemoterapia Zona Sul
C	98%	HEGV	Hospital Estadual Getulio Vargas
C	98%	HMJJCS	Hospital Municipal Jorge Julio Costa Dos Santos
C	98%	HEMONRB	Centro Municipal De Hemoterapia Dr. Edson José Da Silva
C	98%	RENALCOR	Renalcor Servicos Medicos Ltda
C	98%	HUPE	Hospital Universitario Pedro Ernesto
C	98%	HC II	Hospital Do Cancer Ii - Hc Ii
C	99%	CDSB	Centro Nefrologico Carioca - Clinica De Dialise Sao Benedito
C	99%	GAMEN	Grupo De Assistencia Medica Nefrologica Ltda
C	99%	HMJRM	Hospital Municipal Jose Rabello De Mello - Guapimirim
C	99%	INBEL	Instituto Nefrologico Belford Roxo Ltda
C	99%	HEMONCV	Nucleo De Hemoterapia Costa Verde - Hospital Jorge Elias Mig
C	99%	IG	Instituto De Ginecologia Da Ufrj
C	99%	HIIS	Hospital Infantil Ismelia Da Silveira
C	99%	HMNSN	Hospital Municipal Nossa Senhora De Nazareth - Saquarema
C	99%	NEFCLIN	Nefroclin Clinica Nefrologica Ltda
C	99%	IETAP	Instituto Estadual De Doencas Do Torax Ary Parreiras

C	99%	SEGUMED	Segumed Centro Medico Ltda
C	99%	HMMS	Hospital Maternidade Municipal De Seropedica
C	99%	HEMONBM	Nucleo De Hemoterapia De Barra Mansa
C	99%	HMNSL	Hospital Municipal Nossa Senhora Do Loreto
C	99%	HESM	Hospital Estadual Santa Maria
C	99%	PSMSC	Prontocardio Sociedade Medica Santa Cecilia Ltda
C	99%	IEDS	Instituto Estadual De Dermatologia Sanitaria
C	99%	RENALCNI	Renalcor Nova Iguaçu Serviços Medicos Ltda
C	99%	CSXVAG	Casa De Saude E Maternidade Xv De Agosto Ltda
C	99%	UPHDJBL	Unidade Pre Hospitalar Dr Jose Bueno Lopes
C	99%	CSMBR	Hospital De Clínicas De Belford Roxo - Casa De Saúde E Mat.
C	100%	SANTELCG	Santa Cecilia Servicos Medicos (C. Grande)
C	100%	CDRNI	Clinica De Doencas Renais S.A (N. Iguacu)
C	100%	MMDARVF	Maternidade Municipal Dra Alzira Reis Vieira Ferreira
C	100%	PRODOCTO	Prodoctor Sistema Integrado De Saude Ltda
C	100%	HCA	Hospital Central Da Aeronautica
C	100%	CSGR	Hospital Clinica Grajau
C	100%	HEMONSG	Nucleo De Hemoterapia De Sao Goncalo
C	100%	PRONEPHO	Pro-Nephron Centro Nefrologico Do Rio De Janeiro
C	100%	HELGJ	Hospital Escola Luiz Gioseffi Jannuzzi
C	100%	DERT	Depuracao Extra-Renal E Transplante Ltda
C	100%	CDRSJM	Clinica De Doencas Renais S.A (S.J.Meriti)
C	100%	CDRB	Clinica De Doencas Renais S.A (Botafogo)
C	100%	HSVP-BJI	Hospital Sao Vicente De Paulo - Bom J. Do Itabapoana
C	100%	HEMOTERE	Hemonucleo Municipal De Teresopolis
C	100%	PIF	Policlinica Italia Franco
C	100%	HEMOLAD	Hemolad Servicos De Hemoterapia E Hematologia Ltda
C	100%	XX	A Classificar
C	100%	NEFROQ	Nefro Queimados Centro Nefrologico De Queimados Ltda
C	100%	SOC	Sanatorio Oswaldo Cruz Ltda
C	100%	INQUE	Instituto Nefrologico De Queimados Ltda
C	100%	HEMODINI	Hemodinil - Centro De Hemodialise E Diagnosticos
C	100%	HEMOINTO	Instituto Nacional De Traumatologia E Ortopedia
C	100%	SANTELSC	Santa Cecilia Servicos Medicos Ltda (Sta. Cruz)
C	100%	IEDE	Instituto Estadual De Diabetes E Endocrinologia
C	100%	CDRT	Clinica De Doencas Renais S.A (Taquara)
C	100%	CDRA	Clinica De Doencas Renais S.A (Anil)
C	100%	HNMD	Hospital Naval Marcilio Dias
C	100%	CIN	Centro Integrado De Nefrologia S/C Ltda
C	100%	RVVLOBO	Renal Vida Assistencia Integral Ao Rena Ltda (Vaz Lobo)
C	100%	ASCHSJM	Associacao De Caridade - Hospital Sao Joao De Meriti
C	100%	HAAF	Hospital De Aeronautica Dos Afonsos
C	100%	HI21J	Hospital Infantil 21 De Julho
C	100%	HAS	Hospital Adventista Silvestre
C	100%	PGRIO	Policlinica Grande Rio
C	100%	CDRCRJ	Clinica De Doencas Renais S.A (Castelo-Rj)

C	100%	HEMONVR	Nucleo De Hemoterapia De Volta Redonda
C	100%	HMDCM	Hospital Municipal Dr. Celso Martins