

**HENRIQUE NATSUMEDA
VINICIUS KENJI DE S. MURASAKI**

**SIMULAÇÃO DO FLUXO DE MEDICAMENTOS
EM UM AMBIENTE HOSPITALAR UTILIZANDO
UMA ABORDAGEM A EVENTOS DISCRETOS**

São Paulo
2021

**HENRIQUE NATSUMEDA
VINICIUS KENJI DE S. MURASAKI**

**SIMULAÇÃO DO FLUXO DE MEDICAMENTOS
EM UM AMBIENTE HOSPITALAR UTILIZANDO
UMA ABORDAGEM A EVENTOS DISCRETOS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro Mecatrônico.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Fabrício Junqueira

São Paulo
2021

RESUMO

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), saúde é “um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não somente ausência de afecções e enfermidades”, ou seja, sob esta abordagem, estar saudável não significa apenas não estar doente mas também ter relações sociais satisfatórias e ter garantida sua inclusão social e econômica. Entre os muitos problemas enfrentados no sistema de saúde, o atendimento hospitalar continua sendo a chave do desafio de acesso aos cuidados de saúde a todos. O hospital é um organismo complexo e envolve o gerenciamento de diversos sistemas integrados. Dentre eles, a farmácia hospitalar é peça-chave no sistema por apresentar complexos sistemas logísticos que impactam os custos hospitalares e o bem-estar do paciente. Diante disso, este trabalho realiza um estudo sobre o fluxo de medicamentos em um hospital particular localizado na cidade de São Paulo - SP, Brasil. Tal estudo tem como objetivo possibilitar a diminuição de eventos hospitalares adversos e eventuais melhorias de processos, por meio do desenvolvimento de um modelo de simulação do fluxo de medicamentos. O sistema elaborado simula o fluxo de medicamentos desde a chegada na Farmácia Central, passando por diversas etapas de organização, distribuição para as Farmácias Satélites até o destino final, que é o consumo do medicamento pelo paciente, utilizando uma abordagem a eventos discretos com o software ProModel. Os resultados obtidos foram positivos, uma vez que o modelo apresentou semelhança com o real fluxo de medicamentos no hospital que serviu como base de estudo.

Palavras-Chave – Fluxo de medicamentos, Hospital, Sistemas a Eventos Discretos, ProModel, Simulação.

ABSTRACT

According to the WHO (World Health Organization), health is “a state of complete physical, mental and social well-being and not only absence of diseases and illnesses”, that is, under this approach, being healthy does not only mean not being sick but also having satisfactory social relations and having guaranteed their social and economic inclusion. Among the many problems faced in the health system, hospital care remains the key to the challenge of access to health care for all. The hospital is a complex organism and involves the management of several integrated systems. Among them, the hospital pharmacy is a key part of the system because it presents complex logistics systems that impact hospital costs and patient well-being. Therefore, this study conducts a study on the flow of medicines in a private hospital located in the city of São Paulo - SP, Brazil. This study aims to enable the reduction of adverse hospital events and eventual process improvements, through the development of a simulation model of the flow of medications. The system simulates the flow of medicines from the arrival at the Central Pharmacy, through several stages of organization, distribution to Satellite Pharmacies to the final destination, which is the consumption of the drug by the patient, using an approach to discrete events with the ProModel software. The results obtained were positive, since the model showed a high similarity with the actual flow of medications in the hospital that served as the basis of study.

Keywords – Medicine Flow, Hospital, Discrete Event Systems, ProModel, Simulation.

SUMÁRIO

1	Introdução	7
1.1	Descrição do Tema	8
1.2	Objetivos Gerais	9
2	Revisão Bibliográfica	10
2.1	Teoria de Simulação	12
3	Metodologia	14
3.1	<i>Software</i> de simulação de eventos discretos	15
3.1.1	ProModel	16
3.1.1.1	Local	17
3.1.1.2	Entidades	17
3.1.1.3	Redes de caminho	18
3.1.1.4	Recursos	18
3.1.1.5	Processos	18
3.1.1.6	Chegadas	19
3.1.1.7	Atributos	19
3.1.1.8	Variáveis	20
3.1.1.9	Matrizes	20
3.1.1.10	Macro	20
3.1.1.11	Sub-rotinas	20
3.1.1.12	Distribuições do usuário	20
3.2	Metodologia PFS/MFG	21
4	Estudo de Caso - Unidade Morumbi do Hospital Israelita Albert Eins-	

tein	23
4.1 PFS/MFG do Estudo de Caso	26
4.2 Medicamentos Controlados	29
4.3 Coleta de Dados	30
4.4 Tradução do Modelo	32
4.4.1 Definição dos Locais	32
4.4.2 Definição das Entidades	36
4.4.3 Definição de Redes de Caminhos	38
4.4.4 Definição dos Recursos	38
4.4.5 Definição de Chegadas	40
4.4.6 Definição dos Processos	40
4.4.7 Definição dos Atributos	46
4.4.8 Definição das Variáveis	48
4.5 Verificação do Modelo	48
4.6 Validação do Modelo	49
5 Análise da Simulação	51
5.1 Análise estatística dos resultados da simulação	54
6 Conclusão	58
Referências	60
Apêndice A – Gêmeo Digital (<i>Digital Twin</i>)	65
A.1 Gêmeo Digital - Definição	66
A.2 Ferramentas para Implementação do Gêmeo Digital	67
A.2.1 RFID	67
A.2.2 Inteligência Artificial e <i>Big Data</i>	68

A.2.3	Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo e Algoritmo da Colônia de Formigas	71
-------	---	----

1 INTRODUÇÃO

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), saúde é “um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não somente ausência de afecções e enfermidades”, ou seja, sob esta abordagem, estar saudável não significa apenas não estar doente mas também ter relações sociais satisfatórias e ter garantida sua inclusão social e econômica.

Entre os muitos problemas enfrentados no sistema de saúde hoje, o atendimento hospitalar continua sendo a chave do desafio de acesso aos cuidados de saúde a todos. O hospital é um edifício complexo e envolve o gerenciamento de diversos sistemas integrados. Dentre eles, a farmácia hospitalar que será a principal ferramenta de estudo.

Os principais processos em um hospital envolvem logística complexa que possuem um impacto significativo nos custos e despesas da operação. Os processos logísticos representam até 30% nos custos de um hospital (Nachtmann et al., 2009). Esses representam o segundo maior custo, imediatamente a seguir ao custo do salários dos profissionais. Em análise nacional, os custos e despesas com medicamento representam cerca de 10% entre os hospitais da Associação Nacional de Hospitais Privados no Brasil (ANAHP). Já contratos de operação e logística representam cerca de 4% das despesas de um hospital privado.

A principal parte dos processos logísticos do hospital são parte da farmácia hospitalar contribuindo com até 80% no custo logístico total do hospital (Rego et al., 2014). As principais atividades da farmácia do hospital são a aquisição, armazenamento e distribuição de bens e preparação de doses para a dispensação de medicamentos. A operação da farmácia hospitalar tem impacto na qualidade dos serviços de outros departamento do hospital, como por exemplo no tempo de espera para procedimentos cirúrgicos. Embora a farmácia tenha papel significativo na eficiência operacional do hospital, ainda existem problemas com a mensuração de sua eficiência (Barnum et al., 2015).

Segundo (Wittich et al., 2014), erros de medicação e erros relacionados ao processo de administração e gerenciamento de medicamentos são importantes causas de morte de

pacientes (1 em 854 mortes de pacientes internados está ligada a erros de medicação). Erros de medicação são caracterizados por qualquer evento evitável que pode causar ou induzir ao uso inapropriado do medicamento. Uma farmácia contribui para erros de medicação por atrasos nas entregas, dispensação incorreta da medicação e indisponibilidade de medicação necessária em estoque (Keers et al., 2013).

Os recentes desafios apresentados pela pandemia do Coronavírus (COVID-19) são exemplos da necessidade de aprimorar o gerenciamento de um hospital e do realizar um melhor controle de medicamentos por parte da farmácia.

As organizações necessitam de novos métodos e ferramentas para lidar com eventos disruptivos com eficiência. O gerente do hospital precisa gerenciar os fluxos dos pacientes e sua evolução ao longo do tempo, a fim de fortalecer sua resiliência diante dos principais riscos que levam a eventos adversos. Da mesma forma, o gerente deve gerenciar o fluxo dos diversos recursos, entre eles os medicamentos.

Portanto, a principal motivação do estudo é possibilitar a diminuição de eventos adversos em hospitais resultantes de atraso de dispensação de medicamentos e realizar o estudo de melhoria de processos, por meio do modelo de simulação.

1.1 Descrição do Tema

O tema proposto explora a simulação do fluxo de medicamentos em um ambiente de assistência à saúde, principalmente em um ambiente hospitalar. A abordagem será realizada por Sistemas a Eventos Discretos (SED), considerando o fluxo do medicamento em um hospital privado no Brasil, desde sua saída da farmácia hospitalar até o paciente final. O trabalho proposto será realizado por meio de uma simulação com abordagem a eventos discretos pelo *software* ProModel.

Assim serão definidas as entidades, os locais e os recursos para análise do fluxo do medicamento no ProModel. Outros *softwares* serão avaliados para viabilidade de uma melhor plataforma de simulação do ambiente hospitalar.

O ambiente hospitalar a ser analisado é uma unidade de um hospital privado na cidade de São Paulo e será realizado o estudo da demanda de certos medicamentos-chaves para tratamentos de doenças mais relevantes para o atendimento de pacientes. Os medicamentos em análise serão os que possuem regulação técnica através da Portaria 344 de 12 de maio de 1998 do Ministério da Saúde, conhecidos como medicamentos controlados ou popularmente por remédios de “tarja-preta”.

1.2 Objetivos Gerais

O trabalho proposto é um modelo de simulação que permitirá futuras análises para o melhor fluxo do medicamento, com foco na otimização dos processos e na diminuição do tempo de entrega do medicamento.

Ao final do trabalho será obtido um modelo completo do fluxo de medicamentos controlados em uma unidade do hospital que possibilitará:

- Acompanhar o modelo pelo gestor hospitalar;
- Identificar se o modelo está condizente com o esperado, possibilitando a realização de ajustes para novas situações;
- Prever demanda de recursos médicos, dimensionar pessoas em funções da farmácia hospitalar, estudo do melhor caminho do medicamento, identificação de gargalos;
- Realizar o estudo de alteração de *layout* do hospital, como por exemplo, encontrar o melhor posicionamento de um novo centro de distribuição de medicamentos como uma farmácia satélite;
- Realizar previsões de crise com a análise de dados históricos do comportamento do medicamento e inserção de dados hipotéticos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os hospitais privados são ambientes críticos e complexos onde a tomada de decisões adequadas é vital. Por esse motivo, eles são amplamente estudados em muitos campos.

Nos últimos anos, uma literatura considerável cresceu em torno do conceito de simulação em ambiente hospitalar. Esse interesse se deve principalmente ao seu potencial para reduzir o custo de verificação e teste do sistema, para produzir informações e alertas de suporte à decisão sob medida para os usuários e para prever mudanças no sistema físico ao longo do tempo (Madni et al., 2019).

Na literatura da utilização de simulação de eventos discretos na área da saúde, modelos de SED são utilizados por outros pesquisadores para diferentes objetivos. Entre eles Harper (2005) utiliza técnicas de *Machine Learning* para classificar os pacientes a partir de uma simulação que possibilita prever os resultados das prescrições médicas nos pacientes, e o tempo de permanência no hospital de acordo com o panorama das causas de internação. Além disso, o autor criou um simulação de eventos discretos que captura os caminhos individuais dos pacientes no hospital, possibilitando o cálculo do número correto de recursos necessários. Já Goienetxea et al. (2017) utilizam a simulação de eventos discretos a fim de reduzir consideravelmente o tempo de permanência e tempo de espera em unidades de saúde.

Há também análises de simulação com o intuito de analisar a introdução de automatização nos serviços hospitalares, principalmente no serviço da farmácia hospitalar. O artigo de Reynolds et al. (2011) apresenta os resultados de um estudo de simulação de eventos discretos dos sistemas de dispensação ambulatorial de farmácias hospitalares de dois hospitais em Londres. Para realizar tal estudo, os pesquisadores criaram um modelo e testaram diferentes cenários para estimar o provável impacto das mudanças na carga de trabalho de prescrição, no dimensionamento de pessoas e utilização dos robôs de dispensação automática de medicamentos.

Um estudo de caso realizado no Hospital Al Buraimi em Omã (Al Badi, 2019) usou

simulação de computador e abordagem Delphi para melhorar a eficiência, reduzindo o tempo de espera na dispensação de receitas. A estrutura deste estudo foi baseada em uma simulação de evento discreto para identificar o atual funcionamento da farmácia hospitalar e criar uma situação futura para alcançar uma melhoria no fluxo de trabalho da farmácia e na qualidade do serviço.

Outro artigo trata do hospital Greenfield em Cingapura (Liu et al., 2020) no qual eles elaboraram um Gêmeo Digital e suas futuras operações com soluções de Robotic Process Automation (RPA). Em tal projeto, eles elaboraram um sistema logístico eficiente para o gerenciamento de materiais, de alimentos e de medicamentos. Além disso, eles desenvolveram soluções robustas de RPA. O estudo aborda que realizando extensas simulações, é possível otimizar o sistema de transporte dentro do hospital e a regra de despacho dos elevadores e robôs, sendo possível otimizar a estrutura farmacêutica do hospital.

Segundo Dias (2014) e Bonkenburg (2016), no hospital do futuro, os sistemas de *Robotic Process Automation* farão parte da *Internet of Things* (IoT) para automatizar e melhorar os processos gerenciais dos ambientes hospitalares. Com o objetivo de simplificar, trabalhadores de serviços auxiliares como enfermeiras irão, no futuro, trabalhar em conjunto e colaborar estreitamente com robôs inteligentes em um espaço de trabalho compartilhado para fornecer atendimento ao paciente com bom nível de satisfação. A utilização do equipamento robótico permitirá substituir as tarefas mais trabalhosas, repetitivas e de baixo valor agregado, como entrega de roupa dentro de um hospital, serviço de alimentação para as enfermarias nos horários regulares das refeições, rotulagem e dispensação de medicamentos aos pacientes. Dessa forma, automatizando e otimizando a administração de medicamentos, tornando a farmácia mais eficiente e segura. Entretanto, para alcançar tal objetivo, é necessário um entendimento mais profundo e rico de como o esforço humano pode ser integrado perfeitamente com as atividades de RPA em um ambiente hospitalar e mostrar visualmente aos funcionários de operações e logística os gargalos em uma instituição de saúde (Hodach, 2012). Para isso, os pesquisadores se apoiam em métodos de modelagem e simulação para a melhor compreensão e implementação de novas soluções tecnológicas.

Além disso, Karakra et al (2020) investiga a utilidade do Gêmeo Digital para a gestão hospitalar e destaca o processo de desenvolvimento de uma estrutura dedicada ao monitoramento em tempo real da situação do paciente e a elaborar projeções sobre seu futuro próximo. Esse processo tem como objetivo lidar com comportamentos irregulares, incomuns e inesperados que podem ocorrer em hospitais e ajuda a tomar a decisão certa para mitigar situações de imprevisibilidade.

Para superar esses desafios, o estudo propõe a utilização de um Gêmeo Digital para rastrear os caminhos dos pacientes no hospital do futuro, chamado HospiT'Win. Tal sistema seria usado para transmitir informações importantes aos tomadores de decisão em tempo real. É uma representação virtual dinâmica e de alta fidelidade dos caminhos dos pacientes dentro da instituição de saúde. Tal sistema funciona com base em SED, que é um método reconhecido para modelagem e análise de serviços de saúde (Zeigler, 2014). Valendo-se da extensão do monitoramento do paciente e dos dados coletados sobre ele, pode-se otimizar a administração de medicamentos ao mesmo, promovendo mais segurança ao paciente e reduzindo custos por desperdício.

Diante do exposto anterior, pode-se ver que a utilização da técnica de simulação com abordagem a eventos discretos possui diversas aplicações na área da saúde, promovendo o melhoramento do hospital (melhorando a gestão e diminuindo gargalos) e o bem-estar do paciente (cuidando da atual situação e prevendo situações futuras).

2.1 Teoria de Simulação

Ceric et al. (2003) definem simulação como “um conjunto de técnicas numéricas e de programação para representar modelos estocásticos e experimentos de amostragem de condução nesses modelos usando um computador digital”.

A técnica de redução ou modelagem de subsistemas (dividir e conquistar) é uma das mais utilizadas e encontradas na literatura devido ao hospital ser um sistema complexo. Na técnica de modelagem de subsistemas, o sistema completo é dividido em grupo de subsistemas menos complexos. Cada subsistema é modelado e assim, um modelo completo é construído ao juntar todos os modelos do subsistema. A simulação é realizada por meio de um sistema de eventos discretos que altera seu estado cada vez que um novo evento ocorre.

A simulação com abordagem a eventos discretos modela a operação de um sistema como uma sequência de eventos discretos no tempo. Cada evento ocorre em um determinado instante de tempo e marca uma mudança de estado no sistema (Robinson 2004). SED é uma abordagem de modelagem de simulação amplamente utilizada na área de saúde (Brailsford e Hilton 2001). No mesmo contexto, Banks et al. (2010) afirmam que o SED tem se tornado uma técnica de simulação popular, principalmente na busca de soluções para problemas de saúde, pois é adequado para um ambiente dinâmico e fornece uma imagem mais realista da situação.

A utilização da simulação proporciona diversos benefícios aos usuários na realização dos projetos, uma vez que necessita de menor tempo de experimentação, reduz os requisitos analíticos e possibilita a demonstração e análise de modelos de formas mais simples (Chung, 2004).

Como o modelo é simulado em um computador, as simulações experimentais podem ser feitas em menor tempo. Esta é uma grande vantagem porque alguns processos podem levar meses ou até anos para serem concluídos. Com um modelo de computador, a operação e interação de processos demorados podem ser simulados em segundos. O modelo ainda proporciona a possibilidade de executar múltiplas réplicas de cada simulação, aumentando a confiabilidade estatística da análise.

Além disso, antes da existência da simulação por computador, os praticantes eram forçados a usar ferramentas analiticamente mais exigentes. Sistemas mais complexos eram estritamente de domínio do matemático ou analista de pesquisa operacional. O desenvolvimento de pacotes de *software* específicos para simulações têm ajudado a reduzir a necessidade de requisitos fortemente analíticos, fornecendo a mais profissionais a oportunidade de analisar uma gama maior de sistemas em relação ao que era possível anteriormente.

Outro ponto importante abordado por Chung (2004), refere-se ao fato de que os sistemas poderiam ser analisados apenas com uma abordagem estática em um determinado ponto no tempo. Em contraste, o advento de metodologias de simulação permitiu que os profissionais estudassem sistemas dinamicamente em tempo real durante as execuções de simulação.

Por último, Chung (2004) destaca a utilização de animação como forma eficiente de depurar o modelo e também para demonstrar como esse funciona, permitindo que o profissional observe as falhas na lógica do modelo facilmente.

3 METODOLOGIA

A metodologia a ser adotada para realizar a simulação de eventos discretos do fluxo de medicamentos é a proposta por Banks et al. (2010). A metodologia de simulação a eventos discretos proposta por Banks et al. (2010) representada na Figura 1 consiste em doze fases e possíveis variações são encontradas na literatura.

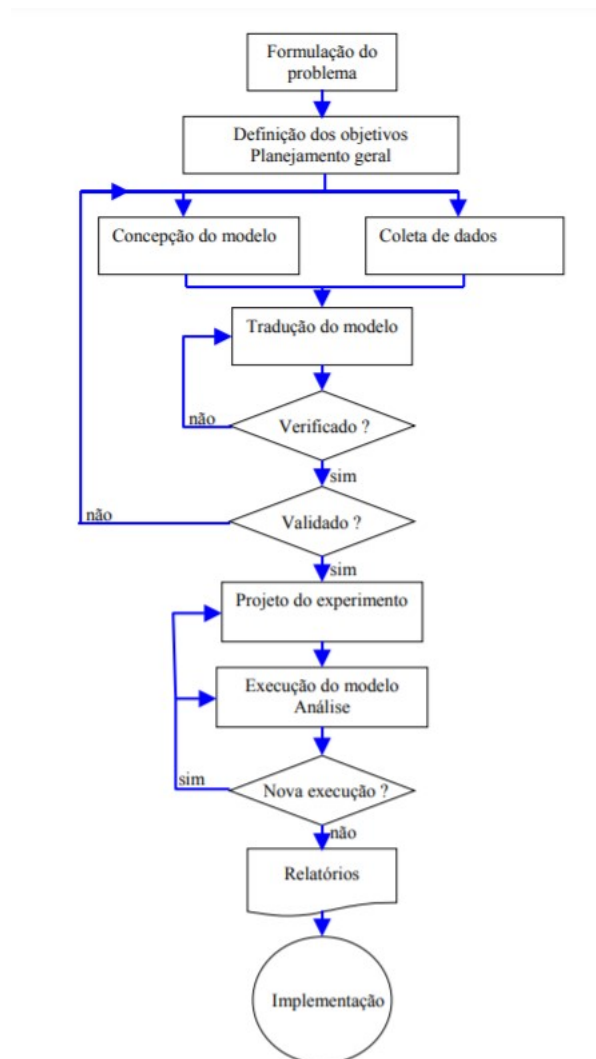


Figura 1: Metodologia de Simulação de Eventos Discretos (Banks et al. 2010)

A primeira etapa compreende na definição do problema, no caso do trabalho proposto

o problema é definido como a melhoria do fluxo do medicamento em uma unidade hospitalar. A segunda etapa envolve a definição dos objetivos e planejamento geral. As duas primeiras etapas foram descritas e definidas anteriormente.

Na terceira etapa, deve-se realizar a construção do modelo conceitual a fim de traduzir a lógica obtida pelo levantamento das informações sobre o sistema. Na quarta etapa, Banks et al. (2010) sugerem a coleta do conjunto de dados que fará parte do modelo. Os autores recomendam, ainda, que esta fase se inicie o mais cedo possível, pois leva um tempo considerável em relação às outras tarefas que fazem parte da construção de um modelo de simulação. Na quinta etapa da metodologia de simulação, propõe-se a tradução do modelo conceitual para a forma computacional. Para esta etapa é realizado o uso de *softwares* ou linguagem de programação de simulação.

Na sexta etapa é realizado a verificação da lógica do sistema do modelo computacional. Também deve-se verificar se o modelo está funcionando conforme o esperado. Na sétima etapa, é feita a validação a fim de comparar as respostas do modelo simulado com o real, e utilizar as discrepâncias encontradas e o conhecimento adquirido para aperfeiçoar o modelo. Na oitava etapa, o projeto do experimento é idealizado. Para cada sistema que é simulado, deve haver decisões sobre os parâmetros a serem considerados, como tempo de duração da simulação e número de replicações.

Na nona etapa da metodologia, a execução do modelo e sua subsequente análise são realizadas e utilizadas para estimar medidas de desempenho para o sistema que está sendo simulado. Na décima etapa, determina-se se são necessários experimentos adicionais e se novas especificações devem ser consideradas.

Subsequentemente, é realizado a documentação e relatório tanto do programa quanto do experimento na décima primeira etapa. E na etapa final é realizado a implementação. O sucesso da fase de implementação depende de como foram conduzidos os passos anteriores.

3.1 *Software* de simulação de eventos discretos

Devido ao crescente uso de simulação nas últimas décadas, houve um avanço significativo na indústria de *softwares* e diversos produtos foram desenvolvidos. As empresas se adequaram para apresentar soluções competitivas para auxiliar a programação de simulações computacionais, tornando-as mais dinâmica e acessível.

Silva (2006) realiza um estudo dos métodos para avaliação e seleção de *softwares* de

simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos, avaliando três *softwares*: Arena, ProModel e @Risk. Já, o *Simulation Software Survey*, levantamento realizado pela Informs (Institute for Operations Research and the Management Sciences) em 2017, avalia 44 produtos de *software* de simulação de eventos discretos. Na Tabela 1 estão listados os principais produtos encontrados no Brasil e suas características.

Tabela 1: Características dos *softwares* de simulação a eventos discretos (Informs 2017)

<i>Software</i>	Aplicações Típicas	Principais Mercados	Preço (dólar)	Versão Estudantil
Arena	Arena é utilizado para modelar sistemas existentes e testar as alterações propostas ao sistema.	Fabricação, alimentos, mineração, serviço ao cliente, empacotamento, logística, saúde, varejo	Disponível sob pedido	Preço mediante a solicitação
FlexSim	Simulação e modelagem de qualquer processo, com o objetivo de analisar, compreender e otimizar o processo.	Fabricação, embalagem, armazenamento, manuseio de materiais, cadeia de suprimentos, logística, saúde, fábrica, mineração	De \$10.000 a \$20.000	De \$0 a \$100
ProModel Optimization Suite	Otimização e melhoria de processos, utilização de recursos, capacidade e taxa de transferência do sistema, análise de restrições	Manufatura, farmacêutica, dispositivo médico, alimentos, cadeia de suprimentos, logística, armazém	\$21.500	\$30
Simul8 Professional	Linha de montagem, planejamento estratégico, operações, sistemas de saúde, Lean, serviços compartilhados, plano de capacidade	Manufatura, saúde, educação, engenharia, cadeia de abastecimento, logística, Lean, automotivo, call centers	\$4.995	\$1.995

A fim de proceder a escolha do instrumento utilizado para a simulação de eventos discretos de medicamentos, foram utilizados os critérios de adequação ao contexto do trabalho e a acessibilidade do *software*. O custo de aquisição do *software* representa uma restrição importante, visto que as versões completas apresentam custo elevado. Dessa forma, foi optado a utilização do ProModel em sua versão acadêmica dado a disponibilidade e seu extenso uso para ensino e pesquisa na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

3.1.1 ProModel

Atualmente, encontram-se disponíveis no mercado diversos *softwares* de simulação, com aplicações nos mais diversos setores da economia. O *software* de simulação ProModel, desenvolvido pela PROMODEL Corp., possui características voltadas para a manufatura, mas sua flexibilidade de programação permite aplicações em diversas áreas, como na área de saúde. O ProModel é um *software* desenvolvido para Windows com uma interface gráfica intuitiva e orientada a objeto. Além disso, o ProModel utiliza uma ferramenta de otimização chamada SimRunner, que realiza análises hipotéticas sofisticadas ao executar o projeto fatorial automático de experimentos no modelo, fornecendo a melhor resposta possível.

Os elementos de modelagem do ProModel fornecem blocos de construção para repre-

sentar os componentes físicos e lógicos do sistema que está sendo modelado. Elementos físicos do sistema, como peças, máquinas, ou recursos podem ser referenciados tanto graficamente ou por nome. Todo modelo deve conter ao menos os itens: Locais, Entidades, Processos e Chegadas. No entanto, geralmente, também possuem Redes de Caminho e Recursos.

3.1.1.1 Local

Local é um lugar imóvel de processamento ou armazenamento num sistema, para o qual entidades são movidas para serem armazenadas, processadas ou tomar novo processo. Os locais podem ser locais de unidade única (por exemplo, uma única máquina) ou locais de várias unidades (por exemplo, um grupo de máquinas semelhantes executando a mesma operação em paralelo).

Os locais podem ter uma capacidade maior do que uma entidade e podem ter paradas periódicas em função do tempo do relógio (por exemplo, mudanças de turno), tempo de uso (por exemplo, desgaste da ferramenta), frequência de uso (por exemplo, troca de dispensador a cada n ciclos), mudança de material (por exemplo, configuração da máquina) ou com base em alguma condição definida pelo usuário.

Os locais podem possuir regras de entrada e saída. As regras de entrada são usadas para selecionar qual a próxima entidade a ser processada. Já as regras de saída são usadas em um local de capacidade múltipla para determinar a ordem com que deixarão o mesmo.

Para o trabalho de simulação do fluxo de medicamentos, os locais a serem considerados são as máquinas de dispensação, localizadas nas farmácias hospitalares, e o leito hospitalar.

3.1.1.2 Entidades

Entidades se referem aos itens que estão sendo processados no sistema, como um produto em fabricação, que é processado no modelo, ou uma pessoa que sofre um serviço, como um paciente atendido no leito hospitalar.

Entidades do mesmo tipo ou de tipos diferentes podem ser consolidadas em uma única entidade, separadas em duas ou mais entidades adicionais, ou convertidas em uma ou mais novos tipos de entidade.

As Entidades podem receber Atributos, que podem ser testados para a tomada de decisão ou para se obter estatísticas específicas.

Na simulação de medicamentos, as principais entidades serão o próprio medicamento e o paciente que está sendo atendido no ambiente hospitalar.

3.1.1.3 Redes de caminho

Redes de caminho são elementos opcionais e definem o caminho utilizado por entidades e recursos para se moverem no sistema. Redes de caminhos são constituídas de nós conectados por segmentos. Várias redes de caminhos podem ser definidas, e várias entidades e/ou recursos podem compartilhar a mesma rede de caminho.

O movimento ao longo de uma rede de caminhos pode ser definido em termos de distância e velocidade ou por tempo. As distâncias do caminho são calculadas automaticamente com base na escala do *layout* definida pelo usuário.

3.1.1.4 Recursos

Recursos podem ser pessoas, ferramentas, veículos ou qualquer outro elemento que possa ser usado para transportar entidades entre dois locais, realizar uma operação sobre uma entidade em um local, ou realizar manutenção em um local ou em outro recurso que esteja inativo.

Recursos podem ser estáticos ou atribuídos a uma rede de caminhos para movimentação. Regras de decisão podem ser utilizadas para alocar os recursos e priorizar os carregamentos e entregas. O modelador pode definir características tais como: velocidade do recurso, regra de atendimento, tempo de coleta e tempo de descarregamento.

Os principais recursos a serem definidos na simulação do fluxo de medicamentos serão os profissionais de enfermagem, os profissionais farmacêuticos hospitalares e os carros hospitalares (carros de medicamentos, emergência).

3.1.1.5 Processos

Este elemento define a sequência de processamento e a lógica do fluxo de entidades entre os locais. Os tempos de operação ou serviço em locais, requisitos de recursos, lógica de processamento, relacionamento de entrada e saída, condições de roteamento e tempos de movimentação, ou requisitos podem ser descritos usando o elemento Processo.

É possível no ProModel inserir comandos específicos de simulação e criar rotinas específicas através do *Logic builder*. Este recurso do *software* confere a flexibilidade de

programação de diferentes lógicas, de acordo com cada sistema analisado. O conjunto de comandos que podem ser inseridos pelo *Logic Builder* são agrupados em diferentes categorias, tal como descreve a Tabela 2.

Tabela 2: Comandos do *Logic Builder* (Manual ProModel)

Comandos Gerais		Comandos Operacionais	
Comandos de Ação	Comandos de Controle	Relacionados com Entidades	Relacionados com Recursos
<i>Activate, Animate, Assignment, Close, Comment, Dec, Display, Inc, Log, MapArr, Order, Pause, Prompt, Read, Report, Reset, Stats, Send, Sound, Stop, Trace, View, Warmup, Write/Writeline</i>	<i>Begin/End, Break, BreakBlk, Goto, If-the, If-then-else, Return, Do-while, While-Do</i>	<i>Accum, Combine, Create, Graphic, Group, Join, Load, Match, Move, Rename as, Route, Split as, Ungroup, Unload, Wait, Wait Until</i>	<i>Free, Free All, Get, Graphic, Statement, Jointly get, Use</i>

3.1.1.6 Chegadas

É preciso definir a forma como as entidades chegam ao sistema em estudo. Por meio de chegadas, definem-se parâmetros como local da chegada da entidade no sistema, quantidade, frequência e distribuições de probabilidade.

Chegadas determinísticas, condicionais ou estocásticas podem ser modeladas usando este elemento. Arquivos externos, incluindo cronogramas de produção ou dados de chegada, podem ser lidos no ProModel no elemento Chegadas. Distribuições integradas ou definidas pelo usuário, ou dados criados em planilhas podem ser usados para definir os tempos e quantidades entre as chegadas.

O ProModel fornece elementos de modelagem adicionais utilizados em declarações e expressões para definir decisões especiais e a lógica operacional em um modelo. Esses elementos incluem variáveis, atributos, funções, distribuições definidas pelo usuário e cálculo de custos.

3.1.1.7 Atributos

Atributos para entidades e locais podem ser definidos. Eles podem conter valores reais ou inteiros. Nomes de local, recurso e entidade também podem ser atribuídos a atributos. Para as entidades, os atributos são geralmente empregados para representar características tais como cor, número de vezes que foi retrabalhada, prioridade, tempo de

operação da entidade para um local específico, etc. Para os Locais, pode, por exemplo, funcionar como contador, como tempo de utilização da máquina, para programar paradas para manutenção preventiva. É possível incrementar, decrementar ou executar qualquer operação matemática.

3.1.1.8 Variáveis

As Variáveis são usadas para tomadas de decisão e cálculo de estatísticas. O valor de uma variável pode ser monitorado ao longo do tempo e exibido no final da simulação como um gráfico de série temporal ou histograma. As variáveis podem conter valores inteiros ou reais.

3.1.1.9 Matrizes

Similar às linguagens de programação, é possível definir matrizes para um determinado tipo de Variável, como inteiro ou real. Uma matriz pode ser unidimensional ou multidimensional.

3.1.1.10 Macro

É uma expressão complexa, ou um conjunto de expressões, que pode ser definida apenas uma vez e utilizada várias vezes. Macros são extremamente úteis quando pedaços de lógica se repetem em várias partes do modelo.

3.1.1.11 Sub-rotinas

Uma sub-rotina é um bloco de instruções definido pelo usuário que pode receber valores quando chamado e, opcionalmente, retornar valores quando concluído. As sub-rotinas podem ser referenciadas no lugar de qualquer valor ou lógica. Uma operação complexa executada em vários lugares em um modelo pode ser definida apropriadamente por uma única sub-rotina.

3.1.1.12 Distribuições do usuário

Os usuários podem definir distribuições estatísticas personalizadas em substituição às distribuições fornecidas pelo ProModel.

3.2 Metodologia PFS/MFG

Para auxiliar na construção do modelo de simulação do fluxo dos medicamentos controlados, a metodologia do *Production Flow Schema* (PFS) e a do *Mark Flow Graph* (MFG) são utilizadas. A metodologia do PFS e do MFG são versões da rede de Petri para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle de sistemas a eventos discretos sem o comprometimento da visualização do sistema (Miyagi, 1996). A rede de Petri é uma ferramenta gráfica e matemática de representação formal. Trata-se de um modelo gráfico constituído de dois tipos de nós: os lugares (que representam estados) e as transições (que representam eventos). Estes nós são interligados através de arcs orientados (Murata, 1989).

Lugares são representados por círculos e transições por retângulos. *Tokens* ou marcas são utilizados para representar a existência ou não de um estado. As marcas são utilizadas para modelar a dinâmica do sistema. Cada lugar pode conter uma ou mais marcas, representados por pontos.

Formalmente, uma Rede de Petri é uma quintupla $RP = (P, T, A, W, M_o)$, na qual:

$P = p_1, p_2, \dots, p_n$ é um conjunto finito de lugares;

$T = t_1, t_2, \dots, t_n$ é um conjunto finito de transições;

$A \subset (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto finito de arcs;

$W : A \rightarrow 1, 2, \dots$ é a função peso associada aos arcs;

$M_o : P \rightarrow 0, 1, 2, \dots$ é a marcação inicial.

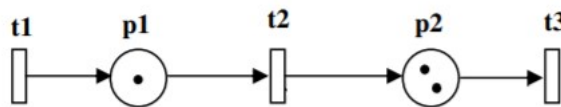


Figura 2: Representação da Rede de Petri

No desenvolvimento de controle de sistemas de eventos discretos, macro-eventos identificam um certo tipo de atividade que pode incluir vários eventos e estados organizados hierarquicamente. Assim, é possível utilizar uma abordagem *top-down* no qual os macro-eventos são tratados de forma hierárquica até o nível de detalhamento requerido. Neste contexto, o PFS é uma técnica utilizada afim de sistematizar e facilitar a modelagem por redes.

Segundo (Miyagi et al., 2002), “o PFS representa os elementos essenciais do sistema

sem detalhá-los, o que pode ser feito posteriormente, de modo sistemático e racional, quando existir um conhecimento mais preciso da dinâmica do fluxo que se deseja estudar.”

Os elementos estruturais de um PFS, representados na Figura 3 são: os elementos ativos (atividade), que representam uma ação ou conjunto de ações que alteram o estado do item, os elementos passivos (inter-atividade), que representa a visualização dos estados dos itens, e por fim, os arcos, que representam as relações entre os elementos anteriores.



Figura 3: Exemplo de um PFS do fluxo de pacientes que procuram um Centro de Saúde (Miyagi et al., 2002)

O MFG, por sua vez, é um grafo derivado da rede de Petri utilizado para a modelagem do comportamento dinâmico do sistema. O MFG é uma derivação do PFS e detalha o funcionamento dos processos ou serviços do sistema.

Os elementos estruturais do MFG são: *box*, transição, arco orientado, marca, *gate* e arco de sinal de saída. O *box* indica uma condição, a transição representa um evento, a marca indica a manutenção de uma condição, o arco orientado conecta *boxes* e transições para indicar a relação entre uma condição e os eventos, o arco de sinal de saída representa um sinal para elemento externo e o *gate* representa um sinal que habilita ou inibe um evento (Miyagi, 1996).

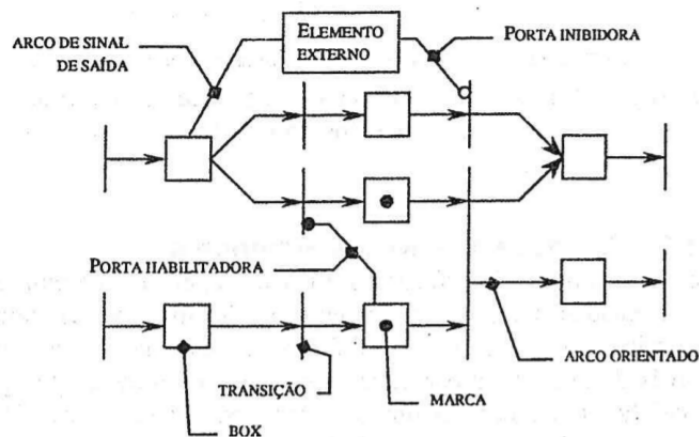


Figura 4: Elementos do MFG (Miyagi et al., 1999)

4 ESTUDO DE CASO - UNIDADE MORUMBI DO HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN

O ambiente do trabalho será a unidade hospitalar do Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE) localizado no bairro Morumbi na cidade de São Paulo. O trabalho terá como foco as atividades da farmácia hospitalar de distribuição de medicamentos controlados.

Os Serviços Farmacêuticos Hospitalares são compostos por um conjunto de atividades farmacêuticas, exercidas em organismos hospitalares ou serviços ligados a ele. As responsabilidades dos Serviços Farmacêuticos Hospitalares estão relacionadas à gestão (seleção, aquisição, armazenamento e distribuição) do medicamento, a gestão de outros produtos farmacêuticos como dispositivos médicos e reagentes e a implementação e monitorização da política de medicamentos definida pela comissão de farmácia e terapêutica.

As áreas funcionais dos serviços farmacêuticos hospitalares podem ser divididas nas seguintes áreas: seleção e aquisição de fármacos, recepção e armazenamento, preparação, controle, distribuição, informação e farmacovigilância, farmacocinética e farmácia clínica. A Figura 5 do Manual de Farmácia Hospitalar identifica as relações entre as diferentes áreas funcionais e o fluxo do medicamento desde sua entrada no hospital até a chegada ao paciente.

Em um hospital de grande porte, deve-se considerar a descentralização da farmácia central. Isso ocorre principalmente pelo porte do hospital ou pela variabilidade de seu atendimento. Assim, criam-se farmácias satélites que são responsáveis pelo atendimento de setores específicos como o centro cirúrgico, a Unidade de Terapia Intensiva (UTI), ou o Pronto Atendimento.

Dado que o objetivo do trabalho é realizar um modelo de simulação do fluxo de medicamentos, a distribuição é a área funcional de foco do estudo. A distribuição de medicamentos tem como objetivo garantir o cumprimento da prescrição médica, garantir a administração correta do medicamento, racionalizar a distribuição de medicamentos e diminuir os erros relacionados com a medicação. A dispensação de medicamentos só deve

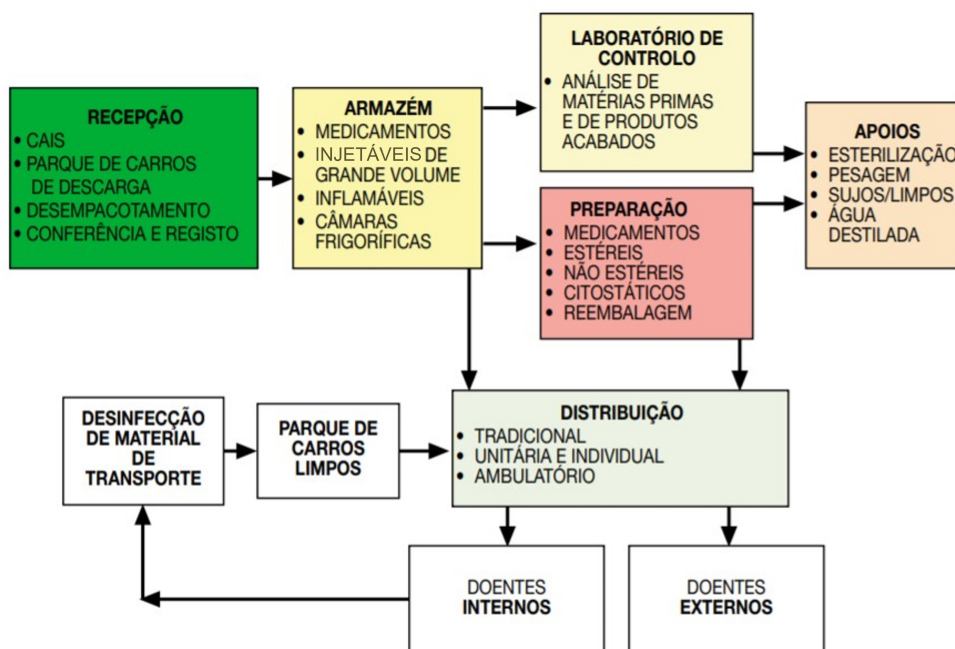


Figura 5: Relação entre as áreas funcionais dos serviços farmacêuticos hospitalares (Manual da Farmácia Hospitalar, 2005)

ser realizada perante prescrição médica onde constam a identificação do paciente, a data de prescrição, designação do medicamento por Denominação Comum Internacional (DCI), indicação da dose, via de administração e identificação do médico prescriptor.

A distribuição de medicamentos em um hospital é usualmente feita através de dose unitária individual, na qual os medicamentos são acomodados em embalagens unitárias, com horários identificados e prontos para a administração. A implantação do sistema de distribuição de medicamentos por dose unitária proporciona a diminuição de erros no preparo do medicamento, a diminuição de custos, a garantia de rastreabilidade do medicamento e otimização do tempo dos profissionais, como enfermeiros e farmacêuticos.

Para garantir a segurança do paciente, o sistema de distribuição de dose unitária individual garante uma importante característica para a implementação de um eventual Gêmeo Digital, a rastreabilidade. O ambiente de estudo, o HIAE, possui um sistema eletrônico de prescrição para garantir um processo logístico do medicamento mais seguro desde o recebimento até a dispensação.

As principais entidades certificadoras possuem como norma a rastreabilidade de medicamentos. A mais importante no âmbito internacional, a *Joint Commission Internacional* possui a seguinte norma: “Medicamentos dispensados pela organização são recuperados, por razões de segurança, quando recolhidos ou descontinuados pelo fabricante ou pelo

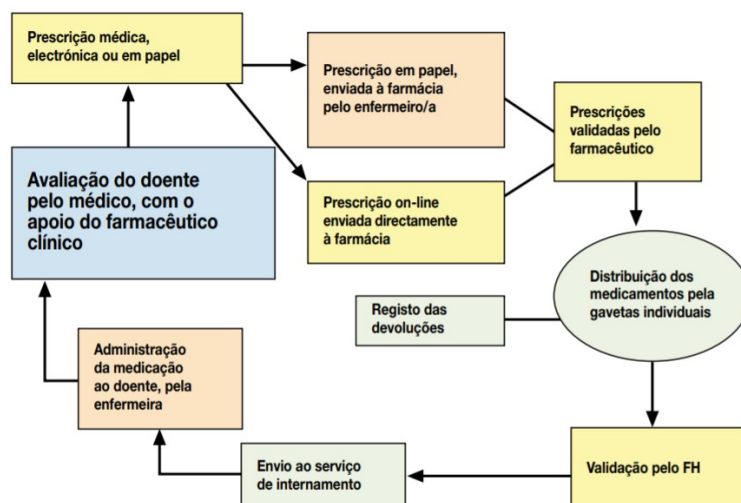


Figura 6: Atividades de Distribuição (Manual da Farmácia Hospitalar 2005)

órgão governamental fiscalizador” (*Standard Joint Commission*, 2017).

Portanto é imperativo que a identificação completa do medicamento seja realizada na embalagem ao se tratar de dispensação hospitalar. A identificação usualmente é realizada através do código de barras de duas dimensões, no qual é possível inserir dados variáveis como lote e validade no seu conteúdo de informações. Com o código bidimensional de conteúdo variável é possível rastrear a medicação e obter mais segurança em toda a operação.

No momento da leitura do código, o sistema automaticamente importa os dados de lote e validade e elimina a possibilidade de erro no registro desses dados no sistema de gestão de estoques da farmácia hospitalar no seu recebimento. O HIAE ainda possui o sistema de checagem eletrônica da administração de medicamentos à beira do leito, no qual se torna mais segura a verificação do medicamento certo ao paciente certo.

A administração de medicamentos é de grande responsabilidade da equipe de enfermagem em uma operação hospitalar. A administração é uma das etapas da terapia medicamentosa mais importante. Para a sua execução é necessário que vários princípios científicos associados a um sistema de medicação seguro sejam aplicados, juntamente com processos desenvolvidos para dificultar o surgimento de erros (Miasso et al., 2006).

Segundo Zanetti et al. (2003) é necessário que os profissionais que administram os medicamentos saibam e utilizem os “7 certos” a fim de garantir a segurança do paciente. Atualmente mais duas categorias foram associadas tornando-se “9 certos”. Os “9 certos” advertem fatores que podem ocasionar os erros de medicação.

Os “9 certos” consistem em: paciente certo, medicamento certo, dose certa, via certa, horário certo, orientação ao paciente, direito à recusa, registro certo e cuidados na administração. Para se obter o paciente certo, deve-se checar os dois identificadores na pulseira de identificação do paciente (nome completo e número do prontuário) e realizar a leitura do código de barras via prontuário eletrônico. O medicamento certo é obtido através da verificação do nome do medicamento prescrito ao identificado na embalagem. Dose e via certa devem conformar com o prescrito pelo médico responsável.

O medicamento deve ser administrado no horário previsto, com tempo de infusão correto e na frequência prescrita. O paciente ou familiar deve ser orientado quanto à medicação que será administrada, no que diz respeito à sua indicação, possíveis reações e efeitos esperados. O paciente ou responsável possuem o direito de recusar a medicação. Antes de preparar qualquer medicamento, deve ser certificado que o mesmo será aceito pelo paciente. Em caso de recusa, deve ser realizado o registro no prontuário e comunicado ao médico.

O registro certo é obtido através da finalização correta do processo de administração de medicamento em prontuário eletrônico. E por fim, deve-se atentar para possíveis reações adversas, alergias e os cuidados relacionados ao período de infusão do medicamento para obter o cuidado na administração.

Com um processo automatizado, a implementação de tecnologias no processo permite que os “9 certos” sejam verificados com mais segurança e facilidade.

4.1 PFS/MFG do Estudo de Caso

Para auxiliar na construção do modelo de simulação do fluxo dos medicamentos controlados, utilizaram-se as metodologias do *Production Flow Schema* (PFS) e a do *Mark Flow Graph* (MFG).

A seguir, tem-se os modelos PFS de três fluxos importantes do sistema: (i) fluxo de medicamentos, (ii) fluxo de pacientes e (iii) fluxo de receita.

- Fluxo de medicamentos: o medicamento chega no hospital e é transportado à Farmácia Central. Em seguida, os medicamentos são separados de acordo com o seu tipo, unitários ou injetáveis. Após esses processos, os medicamentos são organizados na Farmácia Central com a formação dos “kits” de medicamentos que serão distribuídos para as Farmácias Satélites: da UTI e do Centro Cirúrgico (áreas de

foco do estudo). Enfim, os medicamentos são administrados ao paciente.

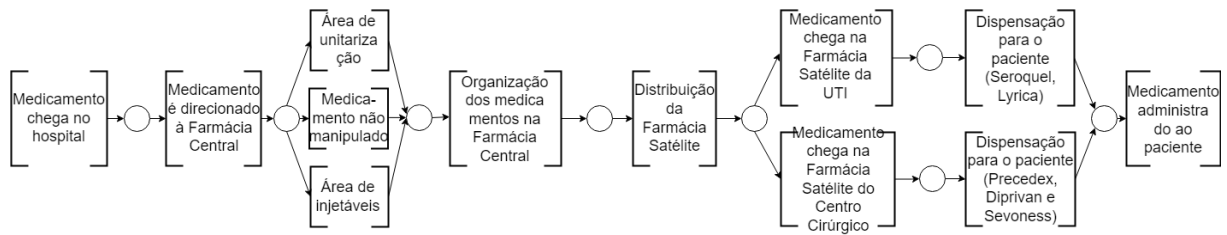


Figura 7: PFS do fluxo de medicamentos

- Fluxo de pacientes: o paciente chega no hospital e aguarda o atendimento. Em seguida, ele é levado ao leito de UTI, onde recebe seu diagnóstico médico e recebe a medicação adequada. Em seguida, o paciente pode receber alta hospitalar, falecer, ou precisar executar novos exames e receber um novo diagnóstico.

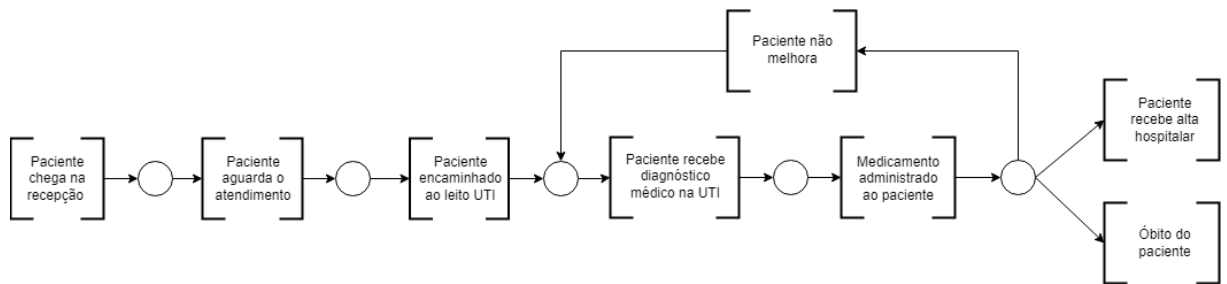


Figura 8: PFS do fluxo de pacientes

- Fluxo de receita: a receita eletrônica prescrita na UTI é revisada por um farmacêutico que a utiliza para manipular o medicamento correto. Em seguida, a receita é armazenada na base de dados do hospital.

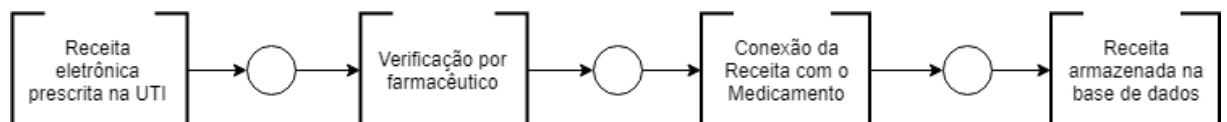


Figura 9: PFS do fluxo de receita

O MFG, por sua vez, é um grafo derivado da rede de Petri utilizado para a modelagem do comportamento dinâmico do sistema. O MFG é uma derivação do PFS e detalha o funcionamento dos processos ou serviços do sistema.

Dito isso, com o objetivo de detalhar duas etapas específicas do sistema, utilizou-se o modelo MFG para os seguintes processos: (i) administração de medicamentos ao paciente e (ii) organização dos medicamentos na Farmácia Central.

- Administração de medicamento ao paciente: esse processo leva em consideração os “9 certos” que consistem em: paciente certo, medicamento certo, dose certa, via certa, horário certo, orientação ao paciente, direito à recusa, registro certo e cuidados na administração.

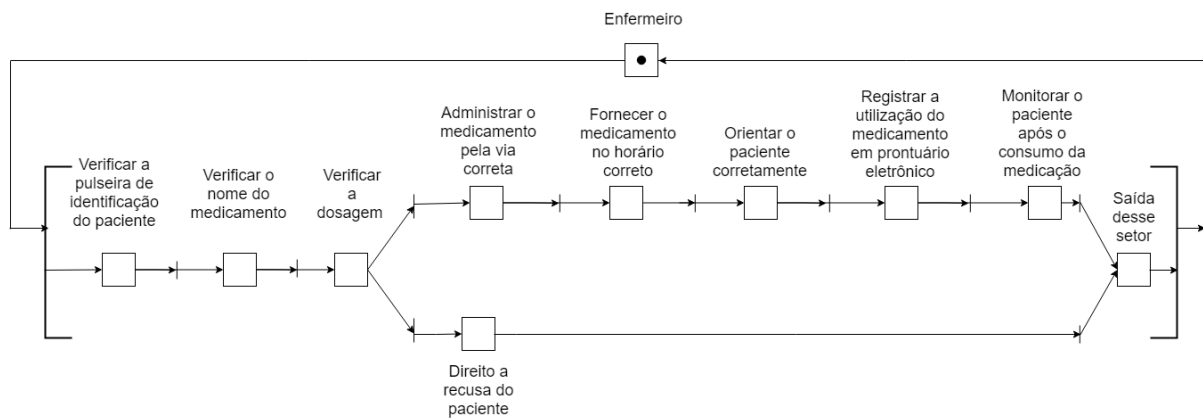


Figura 10: MFG da administração de medicamento ao paciente

- Organização dos medicamentos: há a chegada de dois tipos de medicamentos nessa etapa: unitarizados e injetáveis. Os unitarizados compõem os “kits” de medicação que são caixas lacradas. Em seguida essas caixas lacradas de medicação dos unitarizados e os injetáveis são dispensados para as Farmácias Satélites.

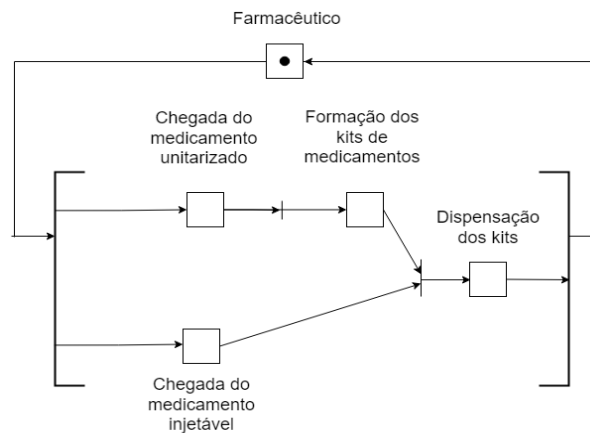


Figura 11: MFG da organização dos medicamentos na Farmácia Central

4.2 Medicamentos Controlados

Dado que uma operação hospitalar utiliza diversos medicamentos e substâncias para o tratamento dos pacientes, o trabalho adota como foco os medicamentos controlados dispensados pela farmácia central.

Os medicamentos sujeitos a controle especial são substâncias com ação no sistema nervoso central e capazes de causar dependências física ou psíquica, motivo pelo qual necessitam de um controle mais rígido que o controle existente para as substâncias comuns (Brasil, 1998). Conforme a Portaria nº 344/1998, também se enquadram na classificação de medicamentos controlados as substâncias anabolizantes, substâncias abortivas ou que causam má-formação fetal, substância que podem originar psicotrópicos, insumos utilizados na fabricação de entorpecentes e psicotrópicos, plantas utilizadas na fabricação de entorpecentes, bem como os entorpecentes, além de substâncias químicas de uso das forças armadas e as substâncias de uso proibido no Brasil.

A Portaria 344 de 12 de maio de 1998 do Ministério da Saúde é a legislação que aprova o regulamento técnico sobre substâncias e medicamentos sujeitos a controle especial. É estabelecido um modelo padrão para os receituários em que são prescritas as substâncias para que ocorra a dispensação correta. A Portaria define as seguintes listas para classificação das substâncias (Brasil, 1998):

- A1 - Listas das Substâncias Entorpecentes;
- A2 - Lista das Substâncias Entorpecentes de Uso Permitido Somente em Concentrações Especiais;
- A3 - Listas das Substâncias Psicotrópicas;

- B1 - Outros psicotrópicos;
- B2 - Lista das Substâncias Psicotrópicas Anorexígenas;
- C1 - Lista das Outras Substâncias Sujeitas a Controle Especial;
- C2 - Listas de Substâncias Retinóicas;
- C3 - Lista de Substâncias Imunossupressoras;
- C4 - Lista das Substâncias Anti-retrovirais;
- C5 - Lista das Substâncias Anabolizantes;
- D1 - Lista de Substâncias Precursoras de Entorpecentes e Psicotrópicos;
- D2 - Lista de Insumos Químicos Utilizados como Precursores para Fabricação e Síntese de Entorpecentes e/ou Psicotrópicos;
- E - Lista de Plantas que Podem Originar Substâncias Entorpecentes e/ou Psicotrópicas;
- F - Lista das Substâncias de Uso Proscrito no Brasil;
 - F1 - Substâncias Entorpecentes;
 - F2 - Substâncias Psicotrópicas;
 - F3 - Substâncias Precursoras;
 - F4 - Outras Substâncias

Os medicamentos psicotrópicos da lista A3, B1 e C1 são modificadores seletivos do sistema nervoso central. Segundo a OMS, as substâncias psicotrópicas podem ser classificadas em ansiolíticos e sedativos, antipsicóticos (neurolépticos), antidepressivos, estimulantes psicomotores, psicomiméticos e potencializadores de cognição. Os medicamentos psicotrópicos são utilizados no tratamento de muitas patologias e estes possuem aplicações em várias situações clínicas, como doenças psiquiátricas e oncológicas. Porém mesmo com as diversas propriedades benéficas, estes medicamentos apresentam alguns riscos como dependência física ou psíquica. Sendo assim, necessário que sejam usados clinicamente de forma racional e de acordo com indicações médicas.

4.3 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada através do contato com a farmácia hospitalar do Hospital Israelita Albert Einstein. Para o estudo foram considerados os medicamentos dispensados da farmácia central a partir de janeiro de 2020 até junho de 2021. Os dez medicamentos controlados mais consumidos no período estão representados na Tabela 3. Deve-se resaltar que o consumo de medicamentos no período obtido tiveram influência

para o tratamento da COVID-19, no qual teve seu primeiro caso confirmado no Brasil em março de 2020.

Tabela 3: Medicamentos controlados mais consumidos no período de janeiro de 2020 a junho de 2021

Posição	Medicamento	Unidade	Consumo Total
1	Sevones In Fr 250Ml [Control C1]	ML	357.747
2	Dormonid 15Mg Ap 3Ml (E5) [Contr B1] (Dt)	UN	125.379
3	Precedex Ap 200Mcg/ 2Ml [Control C1]	UN	78.551
4	Diprivan Pfs Sga 1% 50Ml [Control C1] Dt	UN	66.782
5	Seroquel 25Mg Cp [Control C1] (Unit)(14)	UN	62.957
6	Dimorf 1Mg/Ml Ap 2Ml [Control A1] (Mavi)	UN	61.041
7	Fentanil S/Con 50Mcg/Ml Ap5Ml[Cont(Mavi)	UN	52.896
8	Diprivan Ap 20Ml (E 5) [Control C1] (Dt)	UN	50.286
9	Lyrica 75Mg Ca [Control C1] (Unit) (E28)	UN	33.53
10	Tramal 100Mg Ap2Ml [Control A2] (Mavi) (E5)	UN	32.931

Dada a elevada quantidade de medicamentos na lista, o escopo de estudo será limitado, focando nos medicamentos mais utilizados da classe C1, que são substâncias sujeitas a controle especial.

- Sevones: indicado para indução e manutenção de anestesia geral em pacientes adultos e pediátricos para procedimentos cirúrgicos hospitalares e ambulatoriais. O medicamento Sevones é um anestésico geral inalatório e deve ser administrado com um vaporizador calibrado. O Sevones é administrado ao paciente em frascos de 250 ml com o auxílio do vaporizador.
- Precedex: (cloridrato de dexmedetomidina) é um sedativo (indutor de um estado calmo) indicado para uso em pacientes (com e sem ventilação mecânica) durante o tratamento intensivo (na Unidade de Terapia Intensiva, salas de cirurgia ou para procedimentos diagnósticos). Deve ser utilizado um equipamento de infusão controlada para administrar Precedex. É usualmente utilizado 2 ml de Precedex solução injetável concentrada para infusão e 48 ml de cloreto de sódio a 0,9%.
- Diprivan: indicado para indução e manutenção de anestesia geral em procedimentos cirúrgicos. Isto significa que Diprivan faz com que o paciente fique inconsciente (adormecido) ou sedado durante operações cirúrgicas ou outros procedimentos. Diprivan deve ser administrado diretamente em um vaso sanguíneo (intravenosamente). Diprivan é administrado como uma injeção em uma veia, normalmente na parte de trás da mão ou no antebraço com o uso de agulhas, ou cânula.

- Seroquel: indicado para o tratamento da esquizofrenia, como monoterapia ou adjuvante no tratamento dos episódios de mania associados ao transtorno afetivo bipolar e dos episódios de depressão associados ao transtorno afetivo bipolar. Seroquel é um comprimido revestido e deve ser administrado via oral, com ou sem alimentos.
- Lyrica: indicado para o tratamento da dor neuropática (dor devido à lesão e/ou mau funcionamento dos nervos e/ou do sistema nervoso) em adultos; como terapia adjunta das crises epiléticas parciais (convulsões), com ou sem generalização secundária em adultos; tratamento do Ansiedade Generalizada em adultos; controle de fibromialgia (doença caracterizada por dor crônica em várias partes do corpo, cansaço e alterações do sono) em adultos. Lyrica deve ser utilizado por via oral, com ou sem alimentos.

As unidades de maior consumo dos medicamentos controlados da classe C1 no período de janeiro de 2020 a junho de 2021 dentro do Hospital na unidade do Morumbi foram a Unidade de Terapia Intensiva Adulto (UTI) e o Centro Cirúrgico.

Além disso, obteve-se a planta baixa da farmácia central do Hospital Israelita Albert Einstein. Tal planta é peça-chave para entender melhor a estrutura da farmácia bem como elaborar a simulação do fluxo logístico no *software* ProModel.

4.4 Tradução do Modelo

A tradução do modelo no *software* ProModel consiste em 8 etapas: a definição dos locais, definição das entidades, definição das redes de caminhos, definição dos recursos, definição de chegadas, construção dos processo, definição dos atributos e definição das variáveis.

4.4.1 Definição dos Locais

Dado a técnica de modelagem em subsistemas, o projeto de simulação no *software* ProModel foi dividido em três grandes áreas de análise: a Farmácia Central, a Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e sua respectiva farmácia satélite, e a farmácia satélite do Centro Cirúrgico.

• Farmácia Central

Para a Farmácia Central, local onde acontece grande parte dos processos dos medicamentos controlados, cinco locais do Promodel foram considerados: estoque de medicamentos, unitarização, distribuição, dispensação e preparação de injetáveis.

Tabela 4: Construção de Locais - Farmácia Central

Local	Capacidade	Quantidade	Descrição
Estoque_Medicamentos	Inf	1	Espaço para armazenamento dos medicamentos recebidos
Unitarização	15	1	Local no qual é realizado a unitarização de pílulas e ampolas.
Distribuição	30	1	Local de organização dos medicamentos unitarizados e agrupamento dos medicamentos
Dispensação	Inf	1	Espaço dedicado a dispensação dos medicamentos
Injetáveis	5	1	Preparação dos medicamentos injetáveis

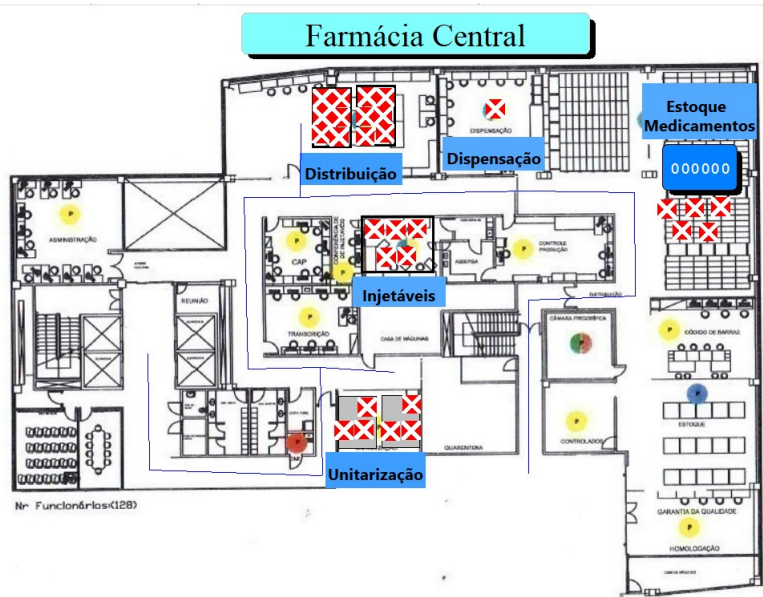


Figura 12: Modelo da farmácia central do Hospital Israelita Albert Einstein Morumbi elaborado no ProModel

• Farmácia Satélite da UTI

A farmácia satélite da UTI suporta as atividades e as necessidades de materiais e medicamentos da UTI. Deve-se destacar o alto volume do consumo de medicamentos, uma vez que tal área trata os pacientes que apresentam os casos de saúde mais delicados. Os locais considerados no modelo de simulação são: a entrada de medicamentos na farmácia satélite da UTI, o local de prescrição e a dispensação de medicamentos aos pacientes da UTI.

O local de prescrição representa o processo de validação de médicos e farmacêuticos do medicamento prescrito. Esta etapa é um protocolo de segurança do paciente para verificar se a prescrição medicamentosa está conforme o esperado.

Tabela 5: Construção de Locais - Farmácia Satélite UTI

Local	Capacidade	Quantidade	Descrição
EntradaFarmSatelite	Inf	1	Recebimento dos medicamentos vindos da Farmácia Central
Prescrição	5	1	Área na qual Farmacêuticos especializados conferem a prescrição médica
DisribuiçãoUTI	4	1	Local de dispensação da Farmácia Satélite

• Unidade de Terapia Intensiva (UTI)

A Unidade de Terapia Intensiva (UTI) é um ambiente de cuidados de saúde destinado ao atendimento de pacientes gravemente enfermos. A UTI é caracterizada por cuidados multidisciplinares, especializados e integrados que utilizam o melhor conhecimento e tecnologia disponíveis para auxiliar no diagnóstico, tratamento e reabilitação de doentes graves. Na UTI, as condições vitais dos pacientes são constantemente monitoradas e avaliadas por médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, técnicos de enfermagem, nutricionistas e psicólogos, entre outros. Essa forma de atendimento, além de otimizar o tratamento e auxiliar na recuperação do enfermo, possibilita o reconhecimento precoce e o tratamento imediato de complicações.

Na forma grave da doença causada pelo COVID-19, a Síndrome Respiratória Aguda Grave, a UTI foi centro de atenção do tratamento da doença dado que os pacientes precisam de atenção próxima das equipes de saúde e uso do aparelho mecânico de auxílio a respiração.

A Unidade de Terapia Intensiva (UTI), localizada no 3º e 5º andar do bloco A da Unidade Morumbi do Hospital Israelita Albert Einstein é atualmente composta por 40 leitos. Dado a confidencialidade estratégica do hospital, a planta-baixa da operação da UTI não pode ser compartilhada. Para contornar tal limitação, foi utilizado uma planta-baixa de uma operação similar composta por 36 leitos de UTI.

Tabela 6: Construção de Locais - UTI

Local	Capacidade	Quantidade	Descrição
Entrada.Pacientes	1	1	Local de entrada dos pacientes
Recepção	Inf	1	Área de recepção dos pacientes
Espera.Pacientes	20	1	Local de espera dos pacientes e familiares
Remédio	1	1	Local no qual o paciente recebe o medicamento prescrito
Leito	1	1	Leito dos pacientes
Diagnóstico	1	1	Daignóstico dos pacientes realizado pelos médicos
Saída.Pacientes	1	1	Saída dos pacientes

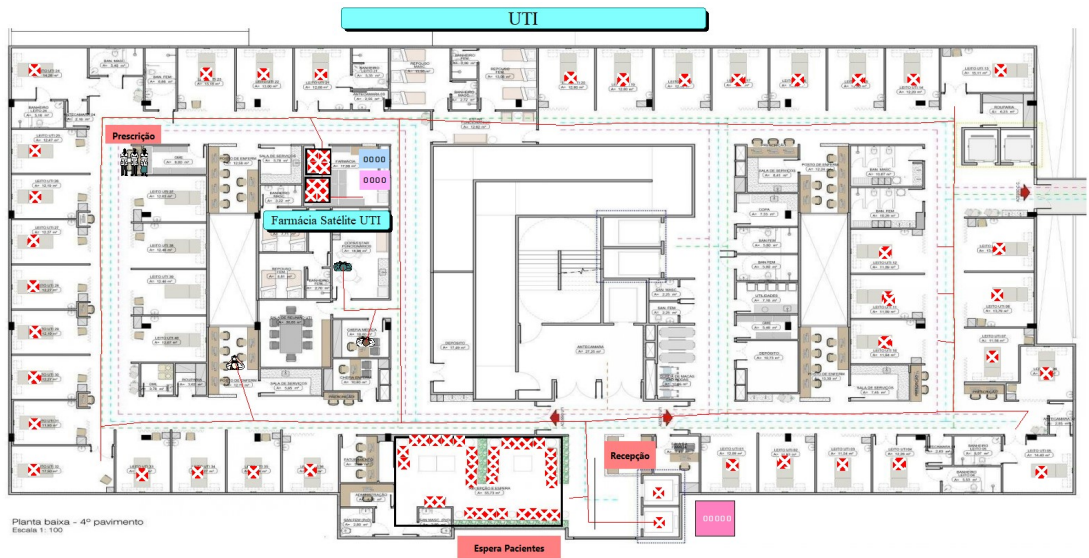


Figura 13: Modelo de UTI elaborado no ProModel

• Farmácia Satélite do Centro Cirúrgico

O Centro Cirúrgico do 5º Andar – Edifício Manoel Tabacow Hidal – Bloco D localizado na unidade Morumbi do Hospital Israelita Albert Einstein conta com 14 salas, equipadas para a realização de procedimentos de alta complexidade: transplante de rim, fígado, pâncreas e coração, cirurgias cardíacas, ortopédicas e neurológicas, tendo horário de trabalho ininterrupto atendendo, desta forma, todas as especialidades.

A farmácia satélite do centro cirúrgico atende individualmente as operações cirúrgicas, possibilitando maior agilidade na dispensação de materiais e medicamentos hospitalares.

Dado que o centro cirúrgico possui uma maior complexidade de processos de entrada e saída de pacientes e os materiais e medicamentos utilizados no centro cirúrgico requerem uma preparação prévia a cirurgia, somente os processos de entrada dos medicamentos controlados na farmácia satélite e sua dispensação foram modeladas no sistema de simulação.

Tabela 7: Construção de Locais - Farmácia Satélite Centro Cirúrgico

Local	Capacidade	Quantidade	Descrição
Entrada_FarmSateCC	Infinite	1	Recebimento dos medicamentos vindos da Farmácia Central
Distribuição_FarmSateCC	Infinite	1	Local de dispensação da Farmácia Satélite do Centro Cirúrgico



Figura 14: Modelo da farmácia satélite do Centro Cirúrgico

4.4.2 Definição das Entidades

Entidades são os itens que estão sendo processados no sistema. No modelo, as principais entidades consideradas são os pacientes, a receita médica eletrônica e os componentes dos medicamentos controlados escolhidos como foco de estudo (Sevoness, Precedex, Diprivan, Seroquel e Lyrica). Os medicamentos controlados foram divididos em três entidades: o medicamento recebido pelo fornecedor, o medicamento unitarizado e a formação de um conjunto de medicamentos identificado por “kit” que representam caixas lacradas utilizadas para o transporte dos medicamentos controlados.

Os cinco medicamentos controlados foram identificados por cores. O Seroquel, identificado pela cor azul, e a Lyrica, identificado pela cor rosa, são comprimidos revestidos e devem ser administrados via oral com ou sem alimentos. O Seroquel é recebido pelo fornecedor em formato de tabletes com 30 comprimidos por caixa, já a Lyrica é recebida no mesmo formato com 14 comprimidos por caixa como representado na Figura 16. Ambos medicamentos passam pela unitarização. A preparação de doses unitárias e a unitarização de doses de medicamentos deve ser realizada sob responsabilidade e orientação do farmacêutico, que deve efetuar os respectivos registros de forma a garantir a rastreabilidade dos produtos e procedimentos realizados.

O Precedex, identificado pela cor verde, deve ser utilizado com um equipamento de infusão e deve ser diluído com solução de cloreto de sódio para sua administração.

O Diprivan, identificado pela cor amarela, deve ser administrado diretamente em um vaso sanguíneo. O Diprivan é recebido pelo fornecedor em duas quantidades, 50 ml e 20 ml, e deve ser administrado imediatamente após a abertura da ampola ou frasco-ampola, a

aspiração do produto deve ser feita assepticamente para uma seringa estéril. As ampolas, os frascos-ampola e seringas de Diprivan devem ser agitados antes do uso e qualquer porção não utilizada deve ser descartada. Diprivan e qualquer seringa contendo Diprivan destina-se a um único uso em apenas um paciente.

Identificado pela cor vermelha, o Sevoneess é administrado ao paciente em frascos de 250 ml com o auxílio do vaporizador. O frasco de sevoflurano é fornecido com um colar chaveado de frasco e deve ser preenchido somente em vaporizadores projetados para uso com sevoflurano usando um adaptador chaveado.















Ícone	Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas
	Seroquel	50	Série de Tempo
	UniSeroquel	50	Série de Tempo
	KitSeroquel	50	Série de Tempo
	Lyricea	50	Série de Tempo
	UniLyricea	50	Série de Tempo
	KitLyricea	50	Série de Tempo
	Precedex	50	Série de Tempo
	UniPrecedex	50	Série de Tempo
	Sevoneess	50	Série de Tempo
	UniSevoneess	50	Série de Tempo
	Diprivan	50	Série de Tempo
	UniDiprivan	50	Série de Tempo
	Paciente	50	Série de Tempo
	Receita	50	Série de Tempo

Figura 15: Entidades definidas no ProModel



(a) Sevoneess



(b) Precedex



(c) Diprivan



(d) Seroquel



(e) Lyricea

Figura 16: Medicamentos controlados

4.4.3 Definição de Redes de Caminhos

Para a construção de Redes de Caminhos, foi utilizado como referências as plantas-baixas dos locais modelados. Dado a confidencialidade estratégica do hospital, a planta-baixa da operação da UTI foi substituída por uma planta-baixa de operação similar de um hospital de capacidade equivalente. De acordo com a concepção do modelo, foram identificadas três redes de caminhos do tipo passante, a rede da Farmácia Central, a Rede da UTI e a Rede da Farmácia Satélite do Centro Cirúrgico. As redes de caminho passantes permitem que os recursos possam passar pelo outro sem restrição física. A rede de caminho da Farmácia Central está representada na Figura 17 pela cor azul, a rede de caminho da UTI está identificada pela cor vermelha e a rede da farmácia satélite do centro cirúrgico pela cor verde.

Tabela 8: Construção de Redes de Caminhos

Redes	Caminhos	Interfaces
Farmacia_Central	14	Estoque de medicamentos, dispensação, distribuição, unitarização, injetáveis
UTI	54	Entrada de pacientes, recepção, espera dos pacientes, remédio, diagnóstico, leito, saída dos pacientes, entrada da farmácia satélite, prescrição e dispensação da farmácia satélite
Farmacia_SateliteCC	5	Distribuição, entrada de medicamentos

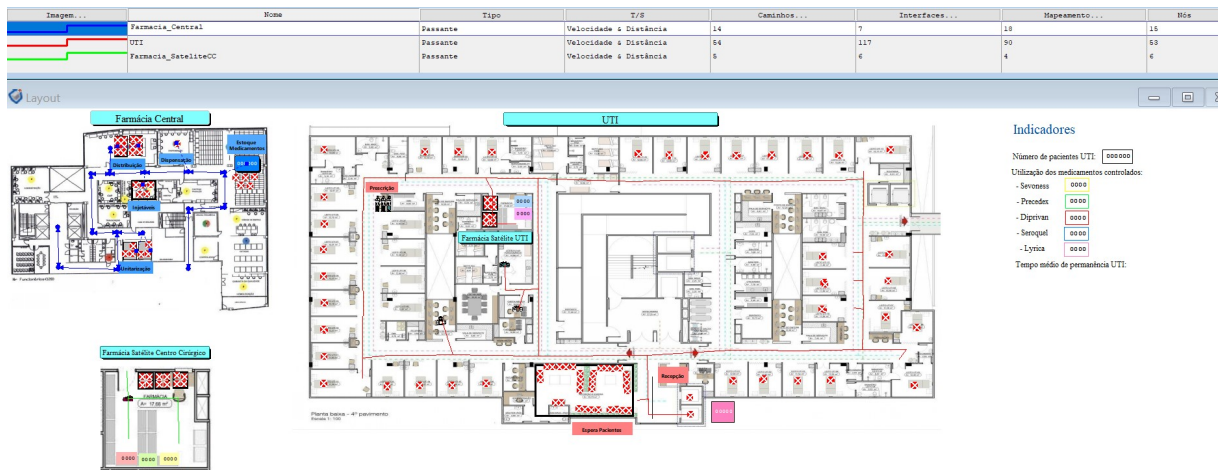


Figura 17: Construção de Redes de Caminhos

4.4.4 Definição dos Recursos

Recursos são elementos que são utilizados para realizar operações definidas nas entidades como transportar entidades entre os locais, realizar processos sobre uma entidade em um local definido, ou realizar manutenção em um local ou recursos que estejam inativos. Os recursos definidos no modelo são os médicos, enfermeiros, farmacêuticos da farmácia central e farmacêuticos da farmácia satélite.

Para a definição de velocidade dos recursos definidos foi utilizado a velocidade de passo de 60 metros por minuto, considerado como velocidade de caminhada típica para adultos com comprimento de perna na ordem de 1 metro. Para o modelo, foi considerado uma velocidade de 60 metros por minuto para os recursos vazios (sem carregamento de entidades) e 50 metros por minuto para os recursos cheios (com carregamento de entidades).

Os recursos Enfermeiros, Médicos e Farmacêuticos Satélites da UTI estão associados a rede de caminho da UTI. Enquanto o Farmacêutico Central e Farmacêutico Satélite do Centro Cirúrgico estão associados a rede de caminho da Farmácia Central e da Farmácia Satélite do Centro Cirúrgico, respectivamente.

Uma macro, expressões de lógica no ProModel, foi definida para cada recurso. Assim, no momento de execução de simulação é possível gerar diferentes cenários variando o número de recursos. Dado informações do Hospital Israelita Albert Einstein, cerca de 20 profissionais trabalham na farmácia central, 4 na farmácia satélite da UTI e 5 na farmácia satélite do Centro Cirúrgico no turno diurno (9h até as 17h) de operação. O número de enfermeiros dedicados na UTI são 8, divididos por turnos de operação e os médicos possuem grande variação.

Como os recursos do modelo não são dedicados somente as atividades analisadas do fluxo dos medicamentos, foi utilizado como cenário base 10 farmacêuticos centrais, 10 médicos, 8 enfermeiros, 3 farmacêuticos satélites da UTI e 3 farmacêuticos satélites do centro cirúrgico.

Tabela 9: Construção de Recursos

Recursos	Rede Associada	Velocidade
FarmaceuticoCentral	Farmacia_Central	60 mpm e 50 mpm (vazio e carregado)
Medico	UTI	60 mpm e 50 mpm (vazio e carregado)
Enfermeira	UTI	60 mpm e 50 mpm (vazio e carregado)
FarmaceuticoSateliteUTI	UTI	60 mpm e 50 mpm (vazio e carregado)
FarmaceuticoSateliteCC	Farmacia_SateliteCC	60 mpm e 50 mpm (vazio e carregado)






Ícone	Nome	Unid.	Paradas...	Estatísticas	Especificações
	FarmaceuticoCentral	mFarmaceutico	Nenhuma	Por Unidade, Série de Tem	Farmacia_Central, Break Fa
	Medico	mMedico	Nenhuma	Por Unidade, Série de Tem	UTI, EsperaMedicos, Rtn Hor
	Enfermeira	mEnfermeiro	Nenhuma	Por Unidade, Série de Tem	UTI, EsperaEnfermeiros, Rtn
	FarmaceuticoSateliteUTI	mFarmaceutico	Nenhuma	Por Unidade, Série de Tem	UTI, EsperaFarmaceuticos, R
	FarmaceuticoSateliteCC	mFarmaceutico	Nenhuma	Por Unidade, Série de Tem	Farmacia_SateliteCC, R2

Figura 18: Recursos definidos no ProModel

4.4.5 Definição de Chegadas

Chegadas são parâmetros que definem a forma como as entidades chegam ao sistema. Para o sistema de estudo é definido chegadas para seis entidades: os cinco medicamentos controlados e os pacientes. As chegadas definidas na Tabela 10 dos medicamentos controlados são valores aproximados do histórico de recebimento dos medicamentos pelo fornecedor, com premissa de reabastecimento do estoque a cada 30 dias.

As chegadas são variáveis chaves para realizar a análise de demanda de recursos e dimensionamento de pessoas. No caso da pandemia do COVID-19, que causou o aumento da taxa de ocupação da UTI e aumento do consumo de medicamentos controlados, é possível realizar a variação dos parâmetros de chegadas de pacientes a fim de obter a ocupação obtida no período.

Tabela 10: Definição de Entradas

Entidade	Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência
Seroquel	Estoque_Medicamentos	20	0	12	30 day
Lyrica	Estoque_Medicamentos	9	0	12	30 day
Sevones	Estoque_Medicamentos	100	0	12	30 day
Diprivan	Estoque_Medicamentos	40	0	12	30 day
Precedex	Estoque_Medicamentos	100	0	12	30 day
Pacientes	Entrada_Pacientes	1	0	INF	N(12,4)

4.4.6 Definição dos Processos

Processos definem a sequência de processamento e a lógica do fluxo de entidades entre os locais. Através do *Logic builder* do ProModel é possível inserir comandos de simulação e criar rotinas para as entidades. As entidades dos medicamentos controlados, os pacientes e a receita médica possuem os processos descritos e suas respectivas regras de roteamento.

- **Sevones**

O medicamento Sevones inicia o seu processo no local Estoque_Medicamentos e é distribuído diretamente a farmácia satélite do centro cirúrgico por não ser necessário manipulação anterior na farmácia central.

Na farmácia satélite do centro cirúrgico, o Sevones é preparado conforme necessidade junto ao vaporizador para realização de cirurgias. Os processos descritos para a entidade Sevones estão representados na Tabela 11.

Tabela 11: Processos da entidade Sevoneess

Entidade	Local	Operação		
Sevoneess	Estoque_Medicamentos	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Sevoneess	Dispensação	FIRST 1	Move with FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
Sevoneess	Dispensação	Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Sevoneess	EntradaCC_Sevoneess	FIRST 1	Move for 30 min
Entidade	Local	Operação		
Sevoneess	EntradaCC_Sevoneess	Create 10 as UniSevoneess Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Sevoneess	EXIT	FIRST 1	

• Precedex

O medicamento Precedex inicia o seu processo no local Estoque_Medicamentos e é distribuído diretamente a farmácia satélite do centro cirúrgico por não ser necessário manipulação anterior na farmácia central.

Conforme necessidade, o Precedex é preparado na farmácia satélite do centro cirúrgico. O Precedex, conforme descrito anteriormente deve ser administrado com um equipamento de infusão e deve ser diluído com solução de cloreto de sódio. Os processos descritos para a entidade Precedex no *software* ProModel estão representados na Tabela 12.

Tabela 12: Processos da entidade Precedex

Entidade	Local	Operação		
Precedex	Estoque_Medicamentos	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Precedex	Dispensação	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral
Entidade	Local	Operação		
Precedex	Dispensação	Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Precedex	EntradaCC_Precedex	FIRST 1	Move for 30 min
Entidade	Local	Operação		
Precedex	EntradaCC_Precedex	Create 1 AS UniPrecedex Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Precedex	EXIT	FIRST 1	
Entidade	Local	Operação		
UniPrecedex	EntradaCC_Precedex	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniPrecedex	Distribuição_Precedex	FIRST 1	Move with FarmaceuticoSateliteCC Then Free
Entidade	Local	Operação		
UniPrecedex	Distribuição_Precedex	Wait N(48,1) Inc vPrecedex		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniPrecedex	EXIT	FIRST 1	

• Diprivan

Simular ao medicamento Sevoneess, o Diprivan inicia o seu processo no local Estoque_Medicamentos. O Diprivan é direcionado ao local de preparação de injetáveis da

Farmácia Central onde os frascos são unitarizados e os materiais necessários para injeção são organizados. Assim, o medicamento em conjunto com os materiais necessários são dispensados para a farmácia satélite do centro cirúrgico.

Na farmácia satélite do centro cirúrgico, o Diprivan é preparado conforme necessidade e dispensado para realização de procedimentos cirúrgicos. Os processos descritos para a entidade Diprivan no *software* ProModel estão representados na Tabela 13.

Tabela 13: Processos da entidade Diprivan

Entidade	Local	Operação		
Diprivan	Estoque_Medicamentos	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Diprivan	Injetáveis	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
Diprivan	Injetáveis	Accum 5		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Diprivan	Dispensação	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
Diprivan	Dispensação	Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Diprivan	EntradaCC_Diprivan	FIRST 1	Move For 30 min
Entidade	Local	Operação		
Diprivan	EntradaCC_Diprivan	Create 10 AS UniDiprivan Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Diprivan	EXIT	FIRST 1	
Entidade	Local	Operação		
UniDiprivan	EntradaCC_Diprivan	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniDiprivan	Distribuição_Diprivan	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
UniDiprivan	Distribuição_Diprivan	Wait N(5,1) Inc vDiprivan		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniDiprivan	EXIT	FIRST 1	

• Seroquel

O Seroquel tem sua chegada no local Estoque_Medicamentos. Dado que o Seroquel é um medicamento controlado recebido pelo fornecedor em caixas de 30 comprimidos, o medicamento é encaminhado ao processo de unitarização. A unitarização é feita através de uma máquina que individualiza os 30 comprimidos em um *blister* unitário, permitindo identificação de lote e código de barras.

Após a unitarização, o medicamento é encaminhado ao centro de distribuição dentro da farmácia central. No local Distribuição os medicamentos são organizados em *kits* para serem encaminhados para o local Dispensação que é responsável pelo processo logístico de abastecimento dos Centro de Abastecimento Farmacêutico (CAFs) e farmácias satélites.

O Seroquel é distribuído para a farmácia satélite da UTI no formato de *kits* e são desagrupados para o formato unitário novamente identificado pelo nome de entidade Uni-

Seroquel. O Seroquel unitarizado é conectado com a receita médica através do comando *Join 1* e assim administrado ao paciente por uma enfermeira. Os processos descritos para a entidade Seroquel estão representadas na Tabela 14.

Tabela 14: Processos da entidade Seroquel

Entidade	Local	Operação		
Seroquel	Estoque_Medicamentos	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Seroquel	Unitarização_Seroquel	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
Seroquel	Unitarização_Seroquel	Wait 10 min Create 30 AS UniSeroquel		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Seroquel	EXIT	FIRST 1	
Entidade	Local	Operação		
UniSeroquel	Unitarização_Seroquel	Accum 30		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniSeroquel	Distribuição_Seroquel	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
UniSeroquel	Distribuição_Seroquel	Group 30 As KitSeroquel		
Entidade	Local	Operação		
KitSeroquel	Distribuição_Seroquel	Wait 15 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	KitSeroquel	Dispensação	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
KitSeroquel	Dispensação	Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	KitSeroquel	EntradaUTI_Seroquel	FIRST 1	Move For 20 min
Entidade	Local	Operação		
KitSeroquel	EntradaUTI_Seroquel	Wait 10 min Ungroup		
UniSeroquel	EntradaUTI_Seroquel			
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniSeroquel	Dispensação_Seroquel	Join 1	Move With FarmaceuticoSateliteUTI Then Free

• Lyrica

Similar ao Seroquel, a Lyrica tem sua chegada no local Estoque_Medicamentos e é um medicamento controlado no formato de comprimidos. O recebimento pelo fornecedor da Lyrica são caixas de 14 comprimidos que devem ser unitarizados pela máquina para o formato de *blister*.

A Lyrica, assim como o Seroquel é encaminhado ao centro de distribuição da farmácia central e é feito o agrupamento de *blisters* unitarizados no formato de *kits* para facilitar a sua movimentação. Do centro de distribuição, os *kits* são levados ao local Dispensação e direcionados aos CAFS, ou farmácias satélites.

No caso do objeto de estudo do trabalho proposto, o local de análise para a administração da Lyrica é a UTI. A Lyrica no formato de *kits* é desagrupada para o formato unitário e conectado com a receita médica através do comando *Join 1*, assim como o Seroquel. Após a união com a receita médica, o medicamento é administrado por uma

enfermeira ao paciente no leito de UTI identificado. Os processos descritos para a entidade Lyrica estão representadas na Tabela 15.

Tabela 15: Processos da entidade Lyrica

Entidade	Local	Operação		
Lyrica	Estoque_Medicamentos	Wait 10 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Lyrica	Unitarização_Lyrica	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
Lyrica	Unitarização_Lyrica	Wait 10 min Create 14 AS UniLyrica		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Lyrica	EXIT	FIRST 1	
Entidade	Local	Operação		
UniLyrica	Unitarização_Lyrica	Accum 14		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniLyrica	Distribuição_Lyrica	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
UniLyrica	Distribuição_Lyrica	Group 14 As KitLyrica		
Entidade	Local	Operação		
KitLyrica	Distribuição_Lyrica	Wait 15 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	KitLyrica	Dispensação	FIRST 1	Move With FarmaceuticoCentral Then Free
Entidade	Local	Operação		
KitLyrica	Dispensação	Wait 30 min		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	KitLyrica	EntradaUTI_Lyrica	FIRST 1	Move For 20 min
Entidade	Local	Operação		
KitLyrica	EntradaUTI_Lyrica	Wait 10 min Ungroup		
UniLyrica	EntradaUTI_Lyrica			
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	UniLyrica	Dispensação_Lyrica	Join 1	Move With FarmaceuticoSateliteUTI Then Free

• Receita Médica

A receita médica inicia o seu processo após ser gerada pelo médico no local Diagnóstico. Todas as receitas passam pelo local Prescrição no qual médicos e farmacêuticos verificam se a receita médica prescrita pelo médico anterior está condizente com o esperado e as informações estão corretas, reforçando a segurança do paciente. Após a etapa de verificação, a receita é encaminhada para a farmácia satélite e indica qual medicamento será dispensado.

Na etapa de dispensação, a receita médica é combinada ao medicamento em sua forma unitarizada e enfermeiros ou enfermeiras são responsáveis por encaminhar e administrar o medicamento ao paciente, seguindo o protocolo adequado e os “9 certos”. Os processos descritos estão representados na Tabela 16.

Tabela 16: Processos da entidade Receita

Entidade	Local	Operação		
Receita	Diagnóstico			
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Receita	Prescrição	FIRST 1	Move for 1 min
Entidade	Local	Operação		
Receita	Prescrição	vDoencaUTI = dtDoencaUTI() Wait 15 min If vDoencaUTI = 0 Then Route 1 Else Route 2		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Receita	Dispensação_Seroquel	FIRST 1	Move for 1 min
2	Receita	Dispensação_Lyrica	FIRST 1	Move for 1 min
Entidade	Local	Operação		
Receita	Dispensação_Seroquel	Join 1 UniSeroquel Graphic 2 Wait 5 min Match ID_Paciente Inc vSeroquel		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Receita	Remedio	Join 1	Move with Enfermeira Then Free
Entidade	Local	Operação		
Receita	Dispensação_Lyrica	Join 1 UniLyrica Graphic 2 Wait 5 min Match ID_Paciente Inc vLyrica		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Receita	Remedio	Join 1	Move with Enfermeira Then Free
Entidade	Local	Operação		
Receita	Leito			
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Receita	Prescrição	FIRST 1	Move for 1 min

• Pacientes

Como visto em Chegadas, os pacientes iniciam sua jornada no local `Entrada_Pacientes` no qual é definido uma distribuição de usuário (`dt_DoencaUTI`) que define qual doença o paciente apresenta. Após sua chegada, o paciente passa para a `Recepção` e caso necessário aguarda encaminhamento ao leito no local `Espera_Pacientes`.

Após o paciente ser encaminhado ao leito, ele recebe um diagnóstico por um médico que prescreve uma receita indicando o medicamento a ser administrado com informações adicionais como horário, quantidade e periodicidade. Após a prescrição médica, o paciente aguarda a administração do medicamento indicado e repousa no leito.

Dois caminhos são possíveis após o paciente receber o medicamento. O paciente libera o leito de UTI em caso de óbito ou em caso de melhora dos sintomas, recebendo a alta hospitalar, que determina o fim do tratamento no hospital e dispensa do leito de UTI. Ou, o paciente não apresenta melhora dos sintomas e retoma ao processo de acompanhamento médico no ambiente hospitalar e novas prescrições medicamentosas são necessárias.

Caso o paciente receba alta hospitalar ou tenha a confirmação de óbito, ele é direcionado ao local `Saída_Pacientes` e libera o leito de UTI. Em caso contrário, o paciente continua no leito e recebe novamente indicação de administração de medicamento controlado. Os processos descritos para a entidade `Paciente` estão representados na Tabela 17 dado a lógica do *Logic Builder* do ProModel.

4.4.7 Definição dos Atributos

Atributos são geralmente empregados para representar características de entidades, tais como cor, número de vezes de processamento de entidades, prioridade, tempo de operação do processo, etc. São também empregados para representar características de locais, como contador de entidades encaminhadas para tal local, tempo de utilização, programação de paradas para manutenção, etc.

Para o modelo de simulação, somente um atributo foi definido, o atributo `ID_Pacientes`. Este permite que cada recurso `Paciente` tenha um número inteiro de identificação. Com isso, é possível combinar o paciente com a receita médica e com o medicamento a ser utilizado.

Tabela 17: Processos da entidade Paciente

Entidade	Local	Operação		
Paciente	Entrada_Pacientes	Inc vID ID_Pacientes = vID vDoencaUTI = dt_DoencaUTI()		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Recepção	FIRST 1	Move on UTI
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Recepção	Graphic 3 Wait N(10,2)		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Espera_Pacientes	FIRST 1	Move on UTI
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Espera_Pacientes	Inc vPacientes Graphic 2		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Diagnostico1	RANDOM 1	Move with Enfermeira Then Free
	Paciente	Diagnostico2	RANDOM 1	Move with Enfermeira Then Free
	...			
	Paciente	Diagnostico36	RANDOM 1	Move with Enfermeira Then Free
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Diagnóstico	If vVazio1 = 1 Then BEGIN Graphic 2 Wait Until vVazio1 = 0 END Get Medico Wait N(60,30) Create 1 As Receita Free Medico		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Remedio	FIRST 1	vVazio = 1
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Remedio	Match ID_Paciente Join 1 Receita Wait 6 hrs		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Leito	FIRST 1	vVazio = 1
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Leito	vCura = dt.Cura() Graphic 2 If vCura = 0 Then BEGIN Graphic 6 Get Medico Wait N(15,5) Create 1 As Receita Free Medico Route 1 END Else If vCura = 1 then Route 2		
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	Remedio	FIRST 1	Move with Enfermeira Then Free
2	Paciente	Saída_Pacientes	FIRST 1	Move with Enfermeira Then Free vVazio = 0
Entidade	Local	Operação		
Paciente	Saída_Pacientes			
Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimentação
1	Paciente	EXIT	FIRST 1	

4.4.8 Definição das Variáveis

Variáveis são utilizadas para tomada de decisão e cálculo de estatísticas. Para o modelo, 36 variáveis foram definidas para cada leito: a variável identificada por vVazio permite identificar se o leito está sendo utilizado ou não por um paciente auxiliando o modelo na tomada de decisão.

Outras 5 variáveis (vSevoness, vLyrica, vPrecedex, vSeroquel e vDiprivan) foram definidas para cada medicamento controlado de objeto de estudo. Uma variável de identificação de paciente (vID) e outra para o cálculo de estatísticas dos pacientes na UTI identificada por vPacientes.

Duas variáveis, vCura e vDoença, são utilizadas em conjunto com Distribuições de Usuários. A variável vCura é o cálculo estatístico da eficácia do medicamento no processo de alta hospitalar dos pacientes, já o vDoença é a estatística de distribuição de qual medicamento será utilizado pelo paciente na UTI.

Tabela 18: Definição de Variáveis

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas	Anotações
vVazio1	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Identifica se o leito 1 está vazio ou ocupado
...				
vVazio36	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Identifica se o leito 36 está vazio ou ocupado
vID	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Número de identificação dos pacientes
vCura	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Cálculo estatístico de eficácia do medicamento
vDoencaUTI	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Indica medicamento a ser administrado ao paciente na UTI
vLyrica	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle de dispensação da Lyrica
vSevoness	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle de dispensação da Sevoness
vPrecedex	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle de dispensação da Precedex
vDiprivan	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle de dispensação da Diprivan
vSeroquel	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle de dispensação da Seroquel
vPacientes	Inteiro	0	Série de Tempo, Tempo	Variável para controle dos pacientes

4.5 Verificação do Modelo

Durante a fase de tradução do modelo, naturalmente foi necessário garantir que o modelo de simulação tenha todos os componentes necessários e que o modelo realmente seja executado de forma adequada. Na fase de verificação, o modelo deve ser assegurado que esteja funcionando conforme o pretendido. Para isso, ele deve incluir todos os componentes especificados na fase de definição do sistema e ser capaz de funcionar sem erros ou avisos.

Para incluir efetivamente todos os componentes especificados na fase de definição do sistema, a abordagem de dividir para conquistar foi utilizada. Como acontece com qualquer outra linguagem de programação, os programas de simulação podem se beneficiar

da abordagem de dividir para conquistar, dividindo o modelo de um sistema maior e mais detalhado em um modelo menor, mais simples, de nível superior. O modelo menor e mais simples é mais fácil de depurar e analisar visto que o modelo simples inclui todos os componentes básicos desejados. No caso de estudo dos medicamentos controlados, o modelo maior foi dividido nos principais locais de estudo: a farmácia central, as duas farmácias satélites e a UTI.

Outra técnica utilizada na fase de verificação foi a animação fornecida pelo *software* ProModel. A animação é talvez a ferramenta mais eficaz para realizar a verificação básica (Pegden et al., 1995). Ser capaz de visualizar a simulação torna mais fácil detectar erros no programa. A animação foi utilizada de diferentes formas para realizar a verificação: utilizando diferentes imagens para entidades e para tipos diferentes de entidades, utilizando cores diferentes para identificar as entidades e alterando o gráfico das entidades com o comando *Graph*.

4.6 Validação do Modelo

Validação é definida como o processo de garantir que um modelo representa a realidade em um determinado nível de confiança (Chung, 2004). Isso significa que um modelo será criado para que seja uma representação razoável do sistema real. No entanto, por uma variedade de razões, mesmo os modelos cuidadosamente construídos podem não representar a realidade. Isso significa que não importa o quão bem o modelo foi realizado e aprimorado, o modelo ainda pode ser inadequado para conduzir qualquer tipo de análise. A incapacidade do modelo de representar a realidade pode resultar de certas ações ou omissões por parte do modelador com relação as seguintes questões: premissas, simplificações e limitações.

Há dois tipos principais de validação da simulação. O primeiro é a validação por face que é feita visualmente através da animação da simulação e permite validar se o modelo representa a realidade. O segundo é a validação estatística. Essa envolve uma comparação quantitativa com o desempenho de saída do sistema atual e do modelo (Law e Kelton, 2000). A simulação deve alcançar ambos os tipos de validade para ter confiança de que o modelo é preciso.

A validação por face é normalmente obtida com a ajuda de especialistas. O especialista é um indivíduo ou um grupo de indivíduos que conhecem o sistema de estudo com grande profundidade. Dado que o mesmo grupo de pessoas que encomendou o estudo

de simulação em primeiro lugar tenham conhecimento, é de grande benefício utilizar esse grupo como especialistas do estudo. Essa abordagem ajuda incutir um senso de propriedade no modelo, evitar alterações de última hora e reduzir o número de consultas de andamento do projeto.

Dado que o objeto de estudo foi a unidade do Morumbi do Hospital Israelita Albert Einstein, os especialistas que auxiliaram na validação por face foram: Silvana Maria Almeida (Gerente da Farmácia), Vanessa de Cássia Brumatti (Coordenadora das Farmácias Satélites) e Miguel Salomão Neto (Coordenador de Abastecimento e Distribuição). A validação do modelo foi realizada ao final da tradução do modelo em conjunto com a equipe e feita através da apresentação virtual da simulação completa no *software* ProModel.

A fim de executar adequadamente o processo de validação por face, a animação do processo foi realizada de forma que tenha fidelidade visual suficiente com o processo real. A última validação realizada em conjunto com a Vanessa, responsável pelas farmácias satélites do hospital, garantiu que o modelo tem a essência do fluxo dos medicamentos controlados escolhidos como objeto de estudo e estão fidedignas com a operação do hospital.

A validação estatística envolve uma comparação objetiva e quantitativa entre o sistema real e o modelo de simulação. Se não houver diferença estatisticamente significativa entre os conjuntos de dados, o modelo é considerado válido. Por outro lado, se houver uma diferença estatisticamente significativa, o modelo não é válido e precisa de trabalho adicional antes que uma análise posterior possa ser realizada. Dado que a planta-baixa da UTI utilizada no modelo de simulação não é a da operação do hospital, a validação estatística não terá um resultado acurado. Entretanto, o *software* ProModel permite que a planta-baixa seja substituída e as premissas de distância e layout da UTI sejam alteradas, possibilitando obter uma validação estatística mais acurada e precisa.

5 ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

A função da fase de análise de simulação é fornecer as informações necessárias para recomendações de decisão com relação aos objetivos do projeto. Recapitulando, os objetivos gerais do projeto definidos no início do documento são: obter um modelo de simulação do fluxo de medicamentos controlados em uma unidade hospitalar possibilitando o modelo ser acompanhado pelo gestor hospitalar. Identificar se o modelo está condizente com o esperado, possibilitando a realização de ajustes para novas situações. A partir do modelo, prever demanda de recursos médicos, dimensionar pessoas em funções da farmácia hospitalar, realizar o estudo do melhor caminho do medicamento e identificar gargalos nos processos. Realizar o estudo de alteração de *layout* do hospital e realizar previsões de crise com a análise de dados históricos do comportamento do medicamento e inserção de dados hipotéticos.

A fase de análise foi auxiliada pelas funções estatísticas do Excel e os recursos de análise estatística encontrados no ProModel do *Output Viewer*. A abordagem de análise estatística para sistemas terminais foi utilizada. Os sistemas terminais têm eventos que ocorrem e se encerram durante o período de interesse para a simulação. Os sistemas terminais também eliminam completamente as entidades nos períodos de interesse. Um exemplo de um sistema terminal é a operação de um restaurante durante o período de almoço. O horário do almoço é o momento de interesse, e a cada horário, novos clientes são atendidos (Chung, 2004). Dessa forma, a operação do fluxo dos medicamentos controlados também é um sistema terminal. O horário de interesse é definido pelo programa, usualmente um mês, e os medicamentos (entidades) são eliminados conforme o seu consumo.

O processo de análise para sistemas terminais consiste nas seguintes etapas de acordo com Chung (2004): análise de replicação, execução de simulações, análise estatística dos resultados da simulação e análise econômica dos resultados da simulação.

A análise de replicação envolve a determinação do número de replicações ou execuções de simulação necessárias para analisar estatisticamente as diferenças entre o modelo de

simulação. As execuções de simulação envolvem a simulação completa do número de replicações determinadas por meio da análise de replicação. A análise estatística dos resultados de simulação interpretará o nível de diferenças entre as alternativas do projeto experimental. E por último, a análise econômica coloca os resultados da análise estatística em perspectiva de uma economia de engenharia ou perspectiva de negócios. Essa última etapa da análise de sistemas terminais não será realizada no trabalho em questão, uma vez que não é foco do estudo.

Para a etapa de análise de replicações, deve-se primeiro calcular a média e o desvio padrão de dez replicações. A Tabela 19 possui a análise da quantidade de dispensação de Seroquel e Lyrica na UTI para o mês de Janeiro de 2020 obtidas pelo modelo de simulação do ProModel.

Tabela 19: Número de dispensação de Seroquel e Lyrica no mês de Janeiro de 2020

Replicações	Seroquel	Lyrica
1	295	101
2	294	100
3	271	110
4	284	99
5	275	97
6	261	98
7	254	88
8	263	87
9	284	96
10	283	93

A média dos dez valores é 276,08 para o Seroquel e 96,70 para a Lyrica, e o desvio padrão da amostra é 14,00 e 6,64 para o Seroquel e Lyrica, respectivamente. Os valores obtidos de média para os dois medicamentos é bastante aproximado da dispensação real do hospital em Janeiro de 2020. Neste período, 275 Seroquel e 87 Lyricas foram dispensados para UTI no mês. Esses valores estatísticos são então utilizados para calcular o erro padrão (*Standard Error*) dos dados usando a seguinte fórmula:

$$StandardError = t_{1-\alpha/2, n-1} * s / \sqrt{n} \quad (5.1)$$

Onde:

- t = distribuição t para $1 - \alpha/2$ e $n - 1$ graus de liberdade
- s = desvio padrão da média das replicações
- n = número de replicações da amostra

O erro padrão é essencialmente a quantidade de dispersão em torno do valor médio que os dados podem exibir.

Tabela 20: Cálculo das replicações

	Seroquel	Lyrical
Média	276,08	96,70
Desvio Padrão	14,00	6,64
t para $\alpha = 0,025$ e 9 graus de liberdade	2,26	2,26
\sqrt{n}	3,16	3,16
<i>Standard Error</i>	10,02	4,75

Após o cálculo do erro padrão, esta informação é utilizada para calcular quantas replicações precisamos executar. No entanto, para fazer isso, devemos selecionar um nível de precisão ou erro que seja adequado para o estudo. A abordagem a ser utilizada é baseada em um valor relativo do erro padrão em comparação com a média da amostra. A abordagem de precisão relativa cria uma proporção ao dividir o erro padrão dos dados pela média da amostra dos dados. Para uma análise estatística robusta, o erro padrão deve ser relativamente pequeno em comparação com a média da amostra. Um valor comumente utilizado para a precisão relativa desejada é 0,10. Isso significa que o erro padrão seja apenas 10% da média da amostra para os dados obtidos. Para os cálculos da abordagem do trabalho, o valor de 0,09 em vez de 0,10 é utilizado para uma precisão relativa desejada de 0,10. A razão para isso é uma prova matemática envolvendo cálculos de precisão relativa (Law e Kelton, 2000).

Para calcular a precisão relativa, usamos a seguinte fórmula:

$$PrecisãoRelativa = \frac{t_{1-\alpha/2, n-1} * s / \sqrt{n}}{\bar{x}} \quad (5.2)$$

Onde:

- t = distribuição t para $1 - \alpha/2$ e $n - 1$ graus de liberdade
- s = desvio padrão da média das replicações
- n = número de replicações da amostra
- \bar{x} = média das execuções da amostra

A fórmula anterior para descobrir o número necessário de replicações para atingir um determinado nível de precisão relativa é reorganizada de forma que i representa o número de replicações necessárias para atingir a precisão relativa.

$$i = \left[\frac{t_{1-\alpha/2, n-1} * s}{PrecisãoRelativa * \bar{x}} \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

Tabela 21: Resultado da precisão relativa

	Seroquel	Lyrica
Precisão relativa	0,04	0,05

Como a Tabela 21 indica, a precisão relativa com as replicações é de 0,04 e 0,05 para o Seroquel e Lyrica, respectivamente. Como esse valor é menor que 0,09, já tem-se um número suficiente de replicações com o número mínimo de 10.

5.1 Análise estatística dos resultados da simulação

Em um projeto de simulação simples, a análise estatística terá apenas dois modelos diferentes para comparar. Normalmente, eles serão o modelo básico e o modelo com o recurso alternativo ou política operacional. Em um projeto de simulação mais complexo, a análise poderia envolver mais de dois modelos para comparação. Com vários modelos, é possível usar o mesmo tipo geral de abordagens de análise estatística que com apenas dois modelos (Chung, 2004). No entanto, métodos estatísticos mais robustos são geralmente necessários. Para o trabalho em questão, a abordagem de análise de variância (ANOVA) é utilizado para comparação de mais de dois modelos.

A análise de variância (ANOVA) pode ser usada para determinar se o desempenho médio de uma ou mais alternativas é, do ponto de vista estatístico, significativamente diferente dos outros em um determinado nível α . Uma ou mais das médias podem ser, do ponto de vista estatístico, significativamente melhores ou piores do que o resto das alternativas. A análise de variância é baseada em uma razão da variância entre diferentes alternativas dividida pela variância dentro das diferentes alternativas. Se a variação entre as alternativas for grande e a variância dentro das diferentes alternativas for pequena, a razão assume um valor comparativamente grande. Por outro lado, se a variação entre as alternativas for pequena e a variância dentro das diferentes alternativas for grande, a proporção é pequena. Quando a proporção é grande, então é mais provável que uma ou mais das alternativas sejam, do ponto de vista estatístico, significativamente diferentes das outras.

Existem várias implementações diferentes de ANOVA. A implementação mais simples, ANOVA unilateral, examina apenas fatores individuais. Implementações mais complexas,

como ANOVA bidirecional, também examinam as possíveis interações entre fatores individuais. Implementações estatísticas de ANOVA estão disponíveis em Excel, bem como na maioria dos pacotes de *software* de simulação.

Para realizar a análise de variância, foi utilizado o Excel para auxiliar e otimizar o processo de análise dos resultados. A análise de variância realizada levou em conta 27 alternativas de cenários nos quais o número de recursos foi variado. A análise teve como foco o número de dispensações de Seroquel e Lyrica no mês de Janeiro de 2020. Para o pior cenário de disponibilidade de recursos, somente 4 farmacêuticos centrais, 1 farmacêutico satélite da UTI e 1 farmacêutico satélite do Centro Cirúrgico trabalhavam na operação. Para o melhor cenário, 6 farmacêuticos centrais, 3 farmacêuticos satélite da UTI e 3 farmacêuticos satélite do Centro Cirúrgico estavam disponíveis para a operação.

Tabela 22: Análise de variância de 27 cenários para dispensação de Seroquel

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Cenário 1	10	770	77	108,67
Cenário 2	10	739	73,9	93,88
Cenário 3	10	785	78,5	82,28
Cenário 4	10	781	78,1	69,88
Cenário 5	10	828	82,8	53,29
Cenário 6	10	814	81,4	63,38
Cenário 7	10	794	79,4	36,27
Cenário 8	10	773	77,3	111,12
Cenário 9	10	809	80,9	49,43
Cenário 10	10	820	82	66,67
Cenário 11	10	739	73,9	93,88
Cenário 12	10	816	81,6	115,60
Cenário 13	10	776	77,6	93,38
Cenário 14	10	781	78,1	69,88
Cenário 15	10	828	82,8	53,29
Cenário 16	10	814	81,4	63,38
Cenário 17	10	793	79,3	38,90
Cenário 18	10	773	77,3	111,12
Cenário 19	10	809	80,9	49,43
Cenário 20	10	835	83,5	90,72
Cenário 21	10	755	75,5	145,83
Cenário 22	10	749	74,9	37,66
Cenário 23	10	796	79,6	48,93
Cenário 24	10	797	79,7	20,46
Cenário 25	10	744	74,4	213,16
Cenário 26	10	775	77,5	70,72
Cenário 27	10	851	85,1	64,54

Tabela 23: Resultados ANOVA para dispensação de Seroquel

Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2.399,67	26	92,30	1,18	0,26	1,54
Dentro grupos	19.041,60	243	78,36			
Total	21.441,27	269				

Tabela 24: Análise de variância de 27 cenários para dispensação de Lyrica

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Cenário 1	10	2432	243,2	48,84
Cenário 2	10	2450	245	115,78
Cenário 3	10	2424	242,4	193,82
Cenário 4	10	2423	242,3	220,68
Cenário 5	10	2388	238,8	197,29
Cenário 6	10	2397	239,7	82,90
Cenário 7	10	2494	249,4	192,71
Cenário 8	10	2462	246,2	138,18
Cenário 9	10	2458	245,8	254,84
Cenário 10	10	2462	246,2	100,40
Cenário 11	10	2450	245	115,78
Cenário 12	10	2425	242,5	57,61
Cenário 13	10	2432	243,2	204,84
Cenário 14	10	2423	242,3	220,68
Cenário 15	10	2388	238,8	197,29
Cenário 16	10	2397	239,7	82,90
Cenário 17	10	2529	252,9	118,54
Cenário 18	10	2462	246,2	138,18
Cenário 19	10	2458	245,8	254,84
Cenário 20	10	2392	239,2	200,84
Cenário 21	10	2422	242,2	101,51
Cenário 22	10	2488	248,8	293,07
Cenário 23	10	2382	238,2	176,40
Cenário 24	10	2483	248,3	133,34
Cenário 25	10	2446	244,6	419,60
Cenário 26	10	2457	245,7	90,01
Cenário 27	10	2386	238,6	204,27

Tabela 25: Resultados ANOVA para dispensação de Lyrica

Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3.663,45	26	140,90	0,84	0,70	1,54
Dentro grupos	40.996,40	243	168,71			
Total	44.659,85	269				

Para um $\alpha = 5\%$, o resultado de ambas análises de variância para a dispensação de

Lyrice e Seroquel demonstra que a variação de recursos de farmacêuticos não afeta na questão de dispensação dos medicamentos. Dado que o valor de F obtido é menor que o F crítico nos dois casos, não há uma diferença significativa nos cenários de variação de farmacêuticos tanto na Farmácia Central quanto nas Farmácias Satélites.

Compreende-se que o modelo possui uma simplificação das funções dos farmacêuticos e os resultados obtidos das análises podem variar de acordo com o nível de complexidade das funções. No modelo, os farmacêuticos possuem atividades dedicadas somente aos medicamentos selecionados. Já no cotidiano de operação do hospital, os farmacêuticos podem ter diferentes atividades além das propostas pelo modelo e trabalham com uma quantidade diferente de medicamentos.

As análises realizadas são sugestões de abordagens na qual os gestores hospitalares podem realizar conforme necessidade. Dado que o modelo de simulação idealizado no *software* ProModel é ajustável, diferentes análises podem ser realizadas com os métodos estatísticos melhor apropriados para construção de melhorias e otimização dos processos.

6 CONCLUSÃO

Dentro do fluxo dos medicamentos controlados em um ambiente hospitalar modelado no estudo de caso do Hospital Israelita Albert Einstein, a simulação obtida obedece aos critérios de objetivos propostos. Neste estudo foi realizado um modelo de simulação através do programa ProModel que permite que os gestores hospitalares da farmácia do hospital façam diferentes análises alterando as variáveis do modelo.

A simulação permite verificar se o modelo está condizente com o esperado e possibilita a realização de ajustes para novas situações. Ademais, ele permite a previsão de demanda de diferentes recursos nos processos, a realização de estudo de alteração de *layout* dos locais e a análise de situações hipotéticas através da simulação e análise estatística.

Dentre as análises estatísticas, o estudo exemplifica a utilização da análise de variância (ANOVA) para sistemas terminais de simulação. A ANOVA permite comparar o desempenho médio de diferentes alternativas, sendo a variação de recursos ou de tempo dos processos.

Além da estatística, o processo de modelagem e os modelos do caso de estudo permitem que os profissionais envolvidos tenham uma compreensão do funcionamento do serviço e a implicação de uma ação sobre a outra, que nem sempre é evidente. O modelo, também, através da propriedade de animação do fluxo dos medicamentos e dos paciente num certo intervalo de interesse auxilia na tomada de decisão dos profissionais envolvidos. Ao contrário de estudos somente baseados em ferramentas de modelagem puramente estatísticas nas quais são baseadas em médias e desvios padrões, o modelo realizado através da simulação permite que os envolvidos não se limitem a quantidade de dados disponíveis e possibilita uma análise mais abrangente dos processos.

As recomendações para trabalhos futuros estão relacionadas a melhoria do modelo e início da construção de um Gêmeo Digital. De forma a avaliar a concepção de Gêmeos Digitais altamente inteligentes, propõe-se a utilização da simulação em conjunto com ferramentas de Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina, temas que são melhores

explorados no Apêndice A do trabalho. Dessa forma, os Gêmeos Digitais estarão aptos a aprender com suas próprias experiências, resultando em decisões mais eficientes e com um tempo de resposta mais curto. O caso de estudo da simulação do fluxo de medicamentos controlados com abordagem a eventos discretos realizado na farmácia do Hospital Israelita Albert Einstein, ao conectar os componentes virtuais com os componentes de sistemas físicos reais permitirá a implementação de um Gêmeo Digital na operação hospitalar e ser parte do movimento da quarta revolução industrial.

REFERÊNCIAS

Al Badi K. Discrete event simulation and pharmacy process re-engineering, *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 398-411, 32(2), 2019.

Alencar R, Santana C, Bastos-Filho C. Optimizing Routes for Medicine Distribution Using Team Ant Colony System, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020.

Banks J., Carson J.S., Nelson B.L., Nicol D.M. *Discrete-Event System Simulation*, 5th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 367-397, 2010.

Barnum D.T., Shields K.L., Walton S.M., Schumock G.T. Improving the Efficiency of Distributive and Clinical Services in Hospital Pharmacy, *Journal of Medical Systems*. 35 59–70. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9341-2>, 2011.

Barricelli B. R., Casiraghi E., Fogli, D. A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*, 7:167653–167671, 2019.

Bates DW, Saria S, Ohno-Machado L, Shah A, Escobar G. Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Aff (Millwood)*. 2014;33(7):1123–31.

Bonkenburg T. *Robotics in Logistics: A DPDHL Perspective on Implications and Use Cases for the Logistics Industry*. Bonn: DHL Trend Res, 2016.

Brailsford S.C., Hilton N.A. A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling health care systems, in Riley, J. (Ed.), *Planning for the Future: Health Service Quality and Emergency Accessibility*. Operational Research Applied to Health Services (ORAHs), Glasgow Caledonian University, 2001.

Chung, Christopher A. *Simulation modeling handbook : a practical approach*. 2004.

Dias J. 6 big benefits of applying automation to healthcare. *Healthcare News*. 2014. Available: <http://hitconsultant.net/2014/07/21/6-big-benefits-of-applying-automation-to-healthcare/>

Gabor T., Belzner L., Kiermeier M., Beck M.T., Neitz A. A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems. *Proceedings - 2016 IEEE international conference*

on autonomic computing, ICAC 2016; 374 p.,2016.

Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches*, pp85-113, 2016.

Harper P. Combining data mining tools with health care models for improved understanding of health processes and resource utilisation. *Clin Invest Med* 2005;28(6):338-41, 2005.

Hodach R. Population Health Management: A Roadmap for Provider-Based Automation in a New Era of Healthcare. New York: Inst. Health Tech. Trans., New York, 2012.

INFORMS. Johns hopkins hospital opens capacity command center. 2017.

Izquierdo JL, Morena D, Gonzalez Y, Paredero JM, Perez B, Graziani D, Gutierrez M, Rodriguez JM. Clinical management of COPD in a real-world setting. A big data analysis. *Arch Bronconeumol*, 2020.

Karakra A., Fontanili F., Lamine E., Lamothe J., Taweel A. Pervasive computing integrated discrete event simulation for a hospital digital twin. *Proceedings of IEEE/ACS international conference on computer systems and applications, AICCSA*, 2019.

Karakra A., Lamine E., Fontanili F., Lamothe J. HospiT'Win: A digital twin framework for patients' pathways real-time monitoring and hospital organizational resilience capacity enhancement. 2020.

Keers R.N., Williams S.D., Cooke J., Ashcroft D.M. Causes of Medication Administration Errors in Hospitals: a Systematic Review of Quantitative and Qualitative Evidence, *Drug Safety*. 36 1045– 1067, 2013. <https://doi.org/10.1007/s40264-013-0090-2>.

Kim Y, Schepers G. Pharmacist intervention documentation in US health care systems. *Hosp Pharm*. 2003;38(12):1141–7

Law, A.M. and Kelton, D.W. *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2000.

Liu W., Zhang W., Dutta B., Wu Z., Goh M. Digital Twinning for Productivity Improvement Opportunities with Robotic Process Automation: Case of Greenfield Hospital. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* Vol. 9, No. 2, 2020.

Luo Y, Thompson WK, Herr TM, Zeng Z, Berendsen MA, Jonnalagadda SR, Carson MB, Starren J. Natural language processing for EHR-based pharmacovigilance: a structured review. *Drug Saf.* 2017, 40(11):1075–89.

Madni A. M., Madni C. C., Lucero S. D. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*, 7(1):7, 2019.

Miasso, A.I et al. Erros de medicação: tipos, fatores causais e providências tomadas em quatro hospitais brasileiros. *Revista Escola de Enfermagem da USP*. São Paulo, v.40, n.4, p.524-532, 2006.

Miyagi PE. Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. Editora Edgard Blücher Lida, São Paulo, Sp, 1996.

Miyagi, P. E., Kagohara, M. Y., Junqueira, F., Martínez Riascos, L. A. Metodologia PFS/MFG para a automação balanceada de sistemas de produção enxuta. In *Anais*. São Paulo: SBA/EPUSP, 1999.

Miyagi, M.M., Miyagi, P.E. Kisil M. Modelagem e Análise de Sistemas de Saúde Baseados em Redes de Petri Interpretadas. 2002.

Murata. T. Petri net: properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, v. 77, n. 4, p. 541-579, 1989.

Murdoch TB, Detsky AS. The inevitable application of big data to health care. *JAMA*. 2013;309(13):1351–2.

Nachtmann H., Pohl E.A. The state of healthcare logistics: Cost and quality improvement opportunities, Center for Innovation in Healthcare Logistics, University of Arkansas, 2009.

Nurgat AA-JZA. Electronic documentation of clinical pharmacy interventions in hospitals. *Data Mining Applications in Engineering and Medicine*. 2012.

Pedersen CA, Schneider PJ, Ganio MC, Scheckelhoff DJ. ASHP national survey of pharmacy practice in hospital settings: monitoring and patient education - 2018. *Am J Health Syst Pharm*. 2019;76(14):1038–58.

Pegden, D.C., Shannon, R.E., and Sadowski, R.P. *Introduction to Simulation Using Siman*. 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1995.

Patrone C., Khodabakhsh A., Lattuada M., Revetria R. Internet of Things Application in the Healthcare Sector. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*:

Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science 2018, 23-25 October 2018, San Francisco, USA, pp449-452.

Rego N., Claro J., Pinho de Sousa J. A hybrid approach for integrated healthcare cooperative purchasing and supply chain configuration, *Health Care Management Science*, 2014. 17 303–320. <https://doi.org/10.1007/s10729-013-9262-y>.

Reynolds M., Vasilakis C., McLeod M., Barber N., Mounsey A., Newton S., Jacklin A., Franklin B. D. Using discrete event simulation to design a more efficient hospital pharmacy for outpatients. *Health Care Management Science*, 223-236, 14(3), 2011.

Robinson S. *Simulation: the practice of model development and use*. Wiley, Chichester, 2004.

Scharff S. From digital twin to improved patient experience - siemens healthineers global. 2018. <https://www.siemens-healthineers.com/news/mso-digital-twin-mater.html>.

Schroeder G.N., Steinmetz C., Pereira C.E., Espindola D.B. Digital twin data modeling with Automation ML and a communication methodology for data exchange. *IFAC-PapersOnLine* ;49(30):12-7, 2016.

Seila A.F., Ceric V., Tadikamalla R. *Applied Simulation Modeling*. Duxbury Press, 2003.

Silva, A. K. Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos. São Paulo: 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Stewart R. *Simulation – The practice of model development and use*. Wiley, 2004.

Stokes LB, Rogers JW, Hertig JB, Weber RJ. Big data: implications for health system pharmacy. *Hosp Pharm*. 2016;51(7):599–603.

Weber GM, Mandl KD, Kohane IS. Finding the missing link for big biomedical data. *JAMA*. 2014;311(24):2479–80.

Wittich C.M., Burkle C.M., Lanier W.L. Medication Errors: An Overview for Clinicians. *Mayo Clinic Proceedings*, 2014. 89 1116–1125.

Zanetti, A. C. G. et al. A medicação prescrita na internação hospitalar: o conhecimento do cliente. *Revista científica para profissionais da saúde*. São Paulo, v.12, n.135, p.20-27, 2003.

Zeigler B. P. *The role of modeling and simulation in coordination of health care*. 4th

International Conference On Simulation And Modeling Methodologies, Technologies And Applications (SIMULTECH), 2014, pages 1–5. IEEE.

APÊNDICE A – GÊMEO DIGITAL (*DIGITAL TWIN*)

Atualmente, existem diferentes pesquisas em andamento que ilustram a importância da aplicação do Gêmeo Digital na área da saúde. Um trabalho recente realizado pela empresa GE Healthcare implementou uma plataforma preditiva em tempo real em um novo departamento de “centro de comando” para o Hospital Johns Hopkins em Baltimore (INFORMS, 2017). Este trabalho tem como objetivo prever o fluxo do paciente conforme as atividades do hospital e realizar o planejamento da capacidade de acordo com a demanda com base em um Gêmeo Digital. As ferramentas de análises prescritiva e preditiva, aprendizado de máquinas, processamento de linguagem natural e visão computacional são utilizadas para realizar uma melhor tomada de decisão.

Um outro trabalho semelhante de um Gêmeo Digital de uma unidade médica foi realizado pela empresa Siemens Healthineers (Scharff, 2018). O trabalho se propõe a otimizar os cenários operacionais e *layouts* de uma unidade médica que pode sofrer com o aumento da demanda de pacientes, falta de espaço, ou infraestrutura interditada, avaliando instantaneamente vários cenários antes da implementação da solução certa para transformar a unidade de cuidados. Este Gêmeo Digital foi elaborado com base em simulação do fluxo de trabalho e um modelo de computador 3D, que permitem a construção de um modelo dinâmico que integra os caminhos do paciente, da equipe e dos recursos. Da mesma forma, (Augusto et al., 2018) propõem um *framework* de modelagem e simulação na forma de um Gêmeo Digital *offline* para avaliar o desempenho das unidades de emergência em caso de grandes crises como terremoto, *tsunami*, ou ataque terrorista.

Outros estudos utilizam diferentes *softwares* para a realização de um Gêmeo Digital. (Karakra et al., 2019), por exemplo, utilizam o FlexSim produzido pela FlexSim Software Products Inc. Este Gêmeo Digital proposto se baseia na coleta de dados em tempo real por meio de dispositivos de Internet das Coisas. O objetivo deste artigo é otimizar a eficiência de blocos hospitalares, como departamento de radiologia e departamento de laboratório, e permitir uma tomada de decisão mais eficiente e resolver problemas realtivos

ao planejamento de recursos, tais como quartos, agendamento de profissionais, tempo de espera ou tempo de permanência no hospital.

A.1 Gêmeo Digital - Definição

Gêmeo Digital pode ser definido como máquinas físicas ou virtuais, ou modelos computacionais que simulam, emulam, ou espelham a vida de uma entidade física, que pode ser um objeto, um processo, um ser humano ou um recurso relacionado ao ser humano. É mais do que um simples modelo ou simulação (Barricelli et al., 2019).

Gêmeo Digital foi introduzido em 2002 pelo Professor Michael Grieves na Universidade de Michigan como “um conjunto de construções de informações virtuais que descrevem totalmente um produto físico potencial ou real fabricado do nível micro atômico ao nível macro geométrico. No seu nível ideal, qualquer informação que possa ser obtida a partir da inspeção de um produto físico fabricado pode ser obtida de seu Gêmeo Digital” (Grieves et al., 2016).

Outra definição adotada por (Schroeder et al. 2016) é dado por “Cyber Physical Systems (CPS)” que foi proposto como um conceito chave da Indústria 4.0. Um CPS pode ser descrito como um conjunto de dispositivos físicos, objetos e equipamentos que interagem com um ciberespaço virtual por meio de uma rede de comunicação. Cada dispositivo físico terá sua parte cibernética como uma representação digital do dispositivo real, culminando no “Gêmeo Digital”. Assim, o Gêmeo Digital pode monitorar e controlar a entidade física, enquanto a entidade física pode enviar dados para atualizar seu modelo virtual”.

A definição de (Gabor et al. 2016) de Gêmeo Digital reflete em seu relacionamento com simulação: “aumentos mais recentes no poder computacional de fácil acesso e amplamente disponível permitiram simulações mais complexas que integram modelos previamente separados de vários aspectos do projeto estrutural, a fim de simular com precisão o comportamento do sistema como um todo. Essas simulações de alta fidelidade são comumente chamadas de gêmeos digitais em relação ao sistema que modelam”.

Os avanços de tecnologias e aumento do poder computacional são fundamentais para se obter uma simulação do espaço virtual mais rápida do que a realidade para prever eventos futuros. As tecnologias de Internet das Coisas e da Indústria 4.0 possibilitam o sensoramento de diversos recursos e a coleta de dados de forma contínua. Uma vasta revisão das aplicação de novas tecnologias de Internet das Coisas no setor da saúde é

tratada por (Patrone et al., 2017). Além da coleta de dados, é necessário compreender o comportamento para prever os eventos futuros. Para isso, as tecnologias de *Machine Learning* completam e reforçam aquelas analisadas pela simulação e pelo Gêmeo Digital.

Os hospitais são ambientes complexos nos quais o processo de tomada de decisão é vital e a variabilidade desempenha um papel fundamental. O conceito de Gêmeo Digital é uma tecnologia relevante para atender a essas necessidades, consistindo em representações virtuais de ativos e ou processos reais que são usados para entender, prever e otimizar seu funcionamento e eficiência.

A.2 Ferramentas para Implementação do Gêmeo Digital

Os hospitais são ambientes complexos nos quais o processo de tomada de decisão é vital e a variabilidade desempenha um papel fundamental, o conceito de Gêmeo Digital possibilita atender a essas necessidades, consistindo em representar ativos e processos virtualmente de forma a entender, prever e otimizar seu funcionamento e eficiência.

Para realizar a implementação do Gêmeo Digital em um ambiente hospitalar, pode-se utilizar diversas técnicas e ferramentas para se atingir tal objetivo como RFID, Inteligência Artificial, *Machine Learning* e entre outros.

A.2.1 RFID

Um sistema de RFID é composto, basicamente, de uma antena, um transceptor, que faz a leitura do sinal e transfere a informação para um dispositivo leitor, e também um transponder ou etiqueta de RF (rádio frequência), que deverá conter o circuito e a informação a ser transmitida.

Assim, a antena transmite a informação, emitindo o sinal do circuito integrado para transmitir suas informações para o leitor, que por sua vez converte as ondas de rádio do RFID para informações digitais. Agora, depois de convertidas, elas poderão ser lidas e compreendidas por um computador para então ter seus dados analisados.

O RFID traz uma série de vantagens distintas para a gestão de ativos de saúde e sistemas de estoque. Como o RFID não requer uma linha de visão para captura de dados, os dados são capturados assim que uma *tag* chega ao alcance de um leitor, geralmente cerca de 1,5 a 3 metros, dependendo do ambiente e do tipo de *tag*. No entanto, o alcance

pode ser ajustado e personalizado às necessidades do sistema, dependendo do ambiente específico. Vários ativos podem ser capturados de uma única vez, reduzindo drasticamente o tempo necessário para fazer o inventário. A varredura com sucesso de uma *tag* RFID não exige que os equipamentos sejam movidos ou que os pacientes sejam perturbados para adquirir uma linha de visão, como quando se usa códigos de barras.

Como várias *tags* podem ser lidas de uma só vez, mesmo através de materiais de embalagem, o RFID é uma ferramenta ideal para monitorar constantemente o estoque de medicamentos ou de suprimentos. Isso permite o usuário saber o que está em estoque e o que está acabando, possibilitando gerenciar melhor as compras e reduzir estoques excessivos.

Com leitores fixos, a captura de dados RFID pode ser totalmente automatizada. Simplesmente passar por um leitor montado em uma porta ou corredor atualiza os locais de inventário sem a necessidade de intervenção humana, diminuindo a possibilidade de erro humano. Unidades portáteis podem ser usadas para realizar a contagem de estoque, para localizar um item específico ou para uma confirmação de processo. E como a RFID pode ler centenas de etiquetas por segundo, salas de pacientes, laboratórios, áreas de procedimento e salas de estoque podem ser registradas em uma fração do tempo que leva com os métodos manuais tradicionais.

Diante disso é evidente os benefícios que a utilização da tecnologia RFID pode trazer para contribuir na implementação do Gêmeo Digital. As informações de diversos medicamentos que podem ser capturadas rapidamente e em larga escala de contribuem para o controle do estoque como descrito anteriormente.

Dessa forma, essas informações capturadas pela *tag* RFID conseguem ser transmitidas para uma base de dados, a qual posteriormente será utilizada para alimentar o modelo do Gêmeo Digital. Esses dados coletados necessitam ser interpretados para analisar o comportamento e prever eventos futuros. Para isso, vale utilizar as tecnologias de *Machine Learning* que completam e reforçam aquelas analisadas pela simulação e pelo Gêmeo Digital.

A.2.2 Inteligência Artificial e *Big Data*

No contexto da Farmácia hospitalar e do sistema de saúde, mais de 75% dos farmacêuticos hospitalares nos EUA usam funcionalidades de *data mining* para documentar e coletar regularmente dados centrados no paciente (Pedersen et Al., 2018). Esses dados

incluem informações-chave sobre segurança de medicamentos, histórico de medicamentos e desfechos terapêuticos (Nurgat, 2012) e (Kim et Al., 2003).

Devido à vasta e heterogênea natureza dos conjuntos de dados digitais gerados atualmente em ambientes de saúde, os métodos clássicos de computação e pesquisa não são mais adequados para lidar e analisar essas informações. Em resposta a essas limitações, os recentes avanços nos domínios da Inteligência Artificial (IA), mais notavelmente *Machine Learning* e Processamento de Linguagem Natural (PLN) melhoraram significativamente a extração, organização e análise de grandes quantidades de dados clínicos, independentemente de sua estrutura e complexidade linguística.

Big Data refere-se a conjuntos de dados muito grandes e heterogêneos para serem armazenados e analisados usando métodos tradicionais de pesquisa (Stokes et Al., 2016) e (Bates et Al., 2014). Como resultado direto dessas atividades, os registros eletrônicos de saúde (RES) dos pacientes contêm grandes quantidades de informações importantes como: histórico de medicamentos, reações adversas a medicamentos, interações, erros de medicação e entre outros. Tais registros eletrônicos de saúde são gerados e armazenados em praticamente todas as secretarias de saúde, incluindo atenção primária e ambientes especializados, prontos-socorros e farmácias hospitalares.

Os dados médicos adquiridos rotineiramente podem ser classificados em dados estruturados e não estruturados. Os dados estruturados referem-se a informações armazenadas de forma consistente e organizada e normalmente relatadas utilizando unidades e intervalos padrão (como resultados de laboratório, sinais vitais e diagnóstico categórico, por exemplo). Já os dados não estruturados são desprovidos de uma organização clara e precisa (por exemplo, resultados de imagem, notas clínicas, etc) (Weber et Al., 2014). A maioria dos dados clínicos disponíveis em RES são desestruturados (Murdoch et Al., 2013).

A extração de texto escrito de RES é alcançada através de uma combinação de técnicas de PLN e *Machine Learning*. O PLN é um campo que utiliza conceitos e técnicas da linguística, ciência da computação e engenharia para processar linguagem de ocorrência natural (ou seja, fala ou texto), enquanto modelos de *Machine Learning* permitem analisar os padrões em conjuntos de dados.

Diante disso, diversos métodos de classificação de aprendizagem profunda, que alimentam e aprendem com grandes quantidades de dados de RES, são usados para ensinar o sistema a descrever entidades médicas em termos de declarações clínicas negativas, especulativas ou afirmativas. As informações extraídas e processadas são estruturadas com

redes neurais artificiais. Por fim, ferramentas analíticas como *random forests*, árvores de decisão e regressão logística permitem a construção e visualização de modelos preditivos derivados de dados de RES.

Para avançar o desenvolvimento nessa área, acredita-se que os três aspectos a seguir devem ser considerados na pesquisa de PLN utilizando RES. Em primeiro lugar, esses estudos sempre se beneficiam de uma metodologia multicêntrica e multilinguagem, permitindo o acesso a conjuntos de dados ainda maiores (por sua vez gerando modelos preditivos mais precisos), inclusão de populações de estudos mais diversas e a possibilidade de comparar resultados entre centros e regiões. Em segundo lugar, a saída de um sistema clínico de PLN deve sempre ser validada por um corpo de notas clínicas revisadas por especialistas em termos de sensibilidade e recall de conceitos médicos extraídos (Izquierdo et Al., 2020). Por fim, as pesquisas devem sempre garantir a confidencialidade e a segurança dos dados, em conformidade com comitês de ética hospitalar, regulamentos nacionais e internacionais e políticas da indústria farmacêutica.

Embora existam algumas dificuldades para a utilização do método de PLN, como relações temporais, contexto, uso homônimo e siglas, a sua utilização é muito benéfica. Estima-se que 1h de desenvolvimento do sistema de PLN economiza pelo menos 20h de revisão manual de prontuários médicos, com ótima sensibilidade e especificidade.

Dito isso, são evidentes os benefícios que a utilização de PLN e *Machine Learning* pode trazer para contribuir com a implementação e melhor aplicação do Gêmeo Digital. As informações extraídas (através da utilização de PNL) e analisadas (através da utilização de *Machine Learning*) dos RES são valiosas para alimentar o modelo virtual do Gêmeo Digital (não sendo necessário revisão manual de documentos), onde ele poderá ser simulado de modo a otimizar a operação da farmácia hospitalar.

A utilização dessas técnicas em conjunto é muito benéfica para a farmácia do hospital, uma vez que a aplicação de PLN e *Machine Learning* fornece *insights* valiosos sobre a farmacovigilância, incluindo a identificação de eventos adversos relacionados a medicamentos que antes eram desconhecidos, identificação de discrepâncias nos medicamentos dos pacientes e erros nas prescrições baseadas em comorbidades e fatores de risco, e adesão ao monitoramento do tratamento (Luo et Al., 2017).

Os RES também contêm dados relevantes de custo medicamentoso que podem ser usados para avaliar opções de tratamento e mitigar a carga financeira dos pacientes (Stokes et Al., 2016). Com essas informações sobre RES, análises em larga escala podem ser realizadas para permitir que os prescritores ofereçam os medicamentos mais econômicos

aos seus pacientes.

Além disso, como os dados clínicos capturados nos RES fornecem evidências do mundo real, eles podem ser agregados em larga escala para descrever as populações de pacientes e oferecer *insights* preditivos sobre prognósticos de doenças, respostas ao tratamento e uso de recursos em ambientes de saúde.

Assim, extrair e analisar esses grandes conjuntos de dados são recursos importantes sobre o consumo de medicamentos dentro do hospital. Com base nisso, tais informações podem ser utilizadas no modelo de Gêmeo Digital de forma a controlar e prever o consumo de medicamentos nas farmácias do hospital.

Aliando isso à utilização de RFID (para monitoramento de medicamentos), tem-se um controle mais robusto do fluxo de medicamentos no hospital, uma vez que o usuário terá informações sobre a demanda e consumo de medicamentos hospitalares bem como o fluxo desses produtos dentro do hospital e entre as farmácias.

A.2.3 Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo e Algoritmo da Colônia de Formigas

A distribuição de medicamentos usando vários entregadores em grandes hospitais é considerada complexa e pode ser vista como um Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo (PCVM). Os problemas do PCVM visam minimizar o deslocamento total dos caixeiros viajantes, nos quais todos os nós intermediários devem ser visitados apenas uma vez (Alencar et Al., 2020).

Para resolver tal problema, pode-se utilizar o Algoritmo de Colônia de Formigas (ACF). O objetivo é encontrar várias rotas com comprimentos semelhantes para tornar o processo de entrega do medicamento mais eficiente. Assim, pode-se mapear esse objetivo em duas funções de aptidão diferentes: minimizar o trajeto mais longo, visando ser justo na alocação da carga horária a todos os caixeiros viajantes; e diminuir o custo total das rotas, buscando reduzir a carga de trabalho geral dos caixeiros viajantes.

Conforme consta na definição do PCVM, há $m > 1$ caixeiros viajantes localizados inicialmente na mesma cidade que define o depósito. As demais cidades da instância são definidas como nós intermediários. O PCVM tem como objetivo minimizar a soma dos comprimentos das rotas com uma restrição, que todas as rotas devem começar e terminar no nó do depósito, e todos os nós intermediários devem visitar apenas uma vez.

Uma equipe de formigas representa um Caixeiro Viajante na construção da solução

PCVM. Todas as formigas de cada equipe são colocadas no depósito no início da construção da rota. Para distribuir a carga de trabalho, uma formiga k com a rota parcial mais curta escolhe sua próxima cidade j , a qualquer momento do processo de construção, de acordo com a equação da Regra do Estado de Transição (RET).

Depois de escolher a próxima cidade, verifica-se se outra formiga l poderia adicionar a cidade escolhida à sua rota e acabar com melhor comprimento total da rota. Se assim for, a formiga k pode fazer seu movimento primeiro não escolhendo j . Este ponto de verificação evita que o algoritmo force soluções não ideais.

Esse problema do mundo real destaca um conjunto de objetivos, que podem ser otimizados. Um desses objetivos é reduzir a soma total das rotas sem se preocupar com o equilíbrio de trabalho entre os entregadores. Outro objetivo é ter rotas equilibradas no final da execução da ordem, o que também resulta em mais ordens sendo executadas no mesmo intervalo de tempo, ou seja, neste caso, o objetivo é evitar um Caixeiro Viajante parcialmente inoperante porque tem uma rota significativamente menor que as demais.

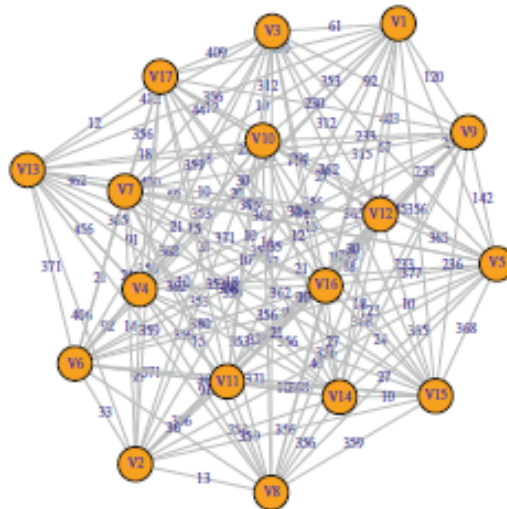


Figura 19: Grafo

A Figura 19 destaca 16 farmácias e um Centro de Distribuição de Medicamentos (CDM) representado como V1, de um verdadeiro ambiente hospitalar brasileiro representado como grafo com custos associados às distâncias para as entregas. O CDM é o depósito onde os entregadores começam e terminam suas rotas. Uma matriz (matriz de custos) contém os dados de cada farmácia como identificação (ID), latitude, longitude e sua distância. A matriz ajuda a calcular o custo da rota. É importante ressaltar que este gráfico mostra a topologia para chegar às farmácias, mas não representam explicitamente a posição geográfica.

Da mesma forma, outra matriz, chamada matriz de dados, contém os pedidos de entrega de cada nó no modelo construído. Cada pedido inclui IDs de entregador e farmácia, as distâncias iniciais e finais quando o entregador deixou o CDM e a duração do pedido. A matriz de dados ajuda a simular um dia de encomendas no depósito.

No primeiro cenário, os algoritmos são configurados para minimizar o custo total das soluções, sem considerar a distribuição da carga de trabalho entre as equipes, como na descrição geral do PCVM. No segundo cenário, os algoritmos minimizam o custo da maior rota individual das soluções, visando a construção de soluções formadas por rotas com custos iguais entre os entregadores, como no PCVM com equilíbrio de carga de trabalho.

O primeiro conjunto de experimentos foi realizado para minimizar o Custo Total das Rotas (CTR), ou seja, a soma da rota de cada equipe. Comparando os resultados, a solução que tem o menor custo total é considerada a melhor. Esse cenário pode ser aplicado à vida real quando pretendemos reduzir a quantidade total das rotas dos entregadores em vez de priorizar o equilíbrio do trabalho.

O segundo conjunto de experimentos teve como objetivo minimizar a Rota Mais Longa (LR) das soluções mantendo os mesmos valores dos parâmetros no primeiro cenário. Esse caso é adequado para situações reais quando priorizamos o equilíbrio entre as rotas individuais (balanço do trabalho) em vez da soma total das rotas.

O modelo proposto descrito foi eficiente na distribuição de ordens de serviço entre os entregadores e na criação de rotas otimizadas para a realização dos serviços.

Dessa forma, é evidente os benefícios da utilização das técnicas associadas à resolução do Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo e o Algoritmo da Colônia de Formigas para distribuição de medicamentos no hospital de forma mais eficiente.