



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO**



**LEANDRO VINÍCIUS SOARES PEIXOTO**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE  
ROTA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE COLETA E  
DESCARTE DO LIXO HOSPITALAR**

**MOSSORÓ - RN  
2016**

**LEANDRO VINÍCIUS SOARES PEIXOTO**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE  
ROTA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE COLETA E  
DESCARTE DO LIXO HOSPITALAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - associação ampla entre a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Cicília Raquel Maia Leite, D.Sc.

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa, D.Sc.

**MOSSORÓ - RN  
2016**

**Catálogo da Publicação na Fonte.  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Peixoto, Leandro Vinícius Soares

Sistema de monitoramento e otimização de rota para auxiliar o Processo de coleta e descarte do lixo hospitalar. / Leandro Vinícius Soares Peixoto – Mossoró, RN, 2016.

66 f.

Orientador(a): Prof. Dra. Cílicia Raquel Maia Leite

Dissertação (Mestrado) Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Programa de Pós-Graduação em  
Ciência da Computação.

1. Automação – Coleta. 2. Descarte - Lixo hospitalar. 3. Monitoramento - Rede de Petri. I. Leite, Cílicia Raquel Maia. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. IV. Título.

UERN/ BC

CDD 004.3

Bibliotecário: Sebastião Lopes Galvão Neto – CRB - 15/486

LEANDRO VINÍCIUS SOARES PEIXOTO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE  
ROTA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE COLETA E  
DESCARTE DO LIXO HOSPITALAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

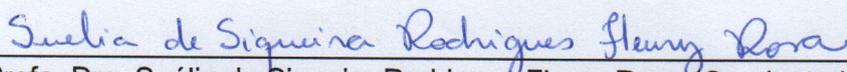
APROVADA EM: 31 / 05 / 2016.

BANCA EXAMINADORA



---

Profa. Dra. Cicilia Raquel Maia Leite (Presidente e Orientadora)



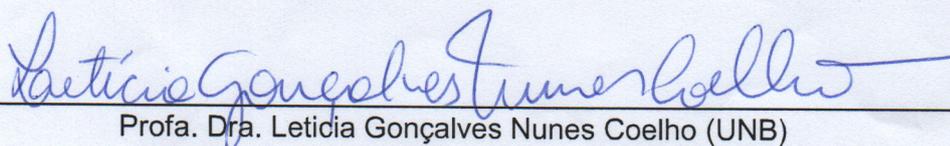
---

Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa (Coorientadora/UNB)



---

Prof. Dr. Carlos Heitor Pereira Liberalino (UERN)



---

Profa. Dra. Leticia Gonçalves Nunes Coelho (UNB)

*Às pessoas mais importantes da minha vida,  
minha filha: Kiara Beatriz, minha esposa:  
Georgiana Fernandes, meus pais: José Va-  
lentin e Maria de Lourdes, e a minha irmã:  
Lorena.*

## AGRADECIMENTOS

Tenho certeza que não cheguei até onde cheguei sozinho. Diante de todas as dificuldades e alegrias já passadas durante a vida, sempre tiveram pessoas ao meu lado. Portanto, não posso deixar de dedicar os meus mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, com essa etapa da minha vida.

Agradeço à minha família pelo apoio, pela ajuda, pelos conselhos, pelos sermões. Agradeço em especial aos meus pais e minha irmã, José Valentim e Maria de Lourdes, não teria conseguido nem metade das minhas conquistas se não fossem eles.

Agradeço à minha esposa Georgiana, por ter me acompanhado nessa longa caminhada e me ter me dado total apoio para manter meus objetivos voltados principalmente para os estudos. Aguentou-me até nos momentos em que eu estava sendo chato e estressado por causa de trabalhos da universidade. Me acalmou quando as preocupações tomavam conta de mim. Não poderia desejar esposa melhor na minha vida.

Agradeço à minha Orientadora Cícilia, que foi uma das principais responsáveis por ter chegado até aqui, teve paciência e atenção durante as orientações, os sermões que foram essenciais. Obrigado por ter me proporcionado a oportunidade de trabalhar com você em projetos de pesquisa e ter me orientado. Espero um dia me tornar um profissional assim como você, que conquistou o respeito e admiração na área acadêmica, tornando-se uma das mais conceituadas professoras de ciência da computação e ainda assim com a humildade de se tornar amiga do orientando.

Agradeço à minha Co-orientadora Suélia, que mesmo com a distância, nunca se negou a ajudar quando precisei de sua ajuda e conselhos com o trabalho desenvolvido.

Agradeço à professora Ceres, que me ajudou bastante no período do estágio docência, me deu vários conselhos e me auxiliou com a experiência em sala de aula, e além de tudo, agradeço pela amizade que ficou após a esta etapa.

Agradeço aos meus amigos que estão comigo desde o início, em especial a Kayo, Hitalo, Monteiro, Thiago Jobson, Gilberto, Kennedy, Marlon, Totin e Suellem. Durante toda a graduação e pós-graduação foram os que mais estiveram presentes tanto nos momentos bons como ruins.

Aos amigos do Grupo de Engenharia de Software (GES), por ter acompanhado, presenciado e ajudado nos momentos mais difíceis desse percurso. Além do lado profissional, posso dizer que esse grupo é uma família.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da UERN e UFERSA, que foram fundamentais para minha formação. E também às equipes das secretarias do Mestrado, em especial à Rosita, agradeço por todo apoio prestado.

Agradeço aos professores do departamento de informática, do curso de Ciência da Computação da UERN, que sempre estiveram presente, ajudando com materiais, conselhos, ensinamentos, e principalmente a amizade.

Por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que me auxiliou no decorrer do desenvolvimento desta pesquisa.

*“Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com os nossos méritos.”*  
*(Albert Einstein)*

## RESUMO

A evolução da automação proporcionou diversos benefícios às mais diversas áreas, inclusive à área médica. Com os avanços de hardware e software, a modernização das tecnologias e a diversificação de sensores, é possível desenvolver múltiplas ferramentas para automatizar diversos setores de hospitais, através de rastreamento, monitoramento e até mesmo otimizando processos feitos manualmente. Um dos processos que têm ocasionado muito problema devido ao fato de ainda ser realizado de forma manual e, muitas vezes, sem organização, é a coleta e o descarte de lixo hospitalar. É possível identificar o aumento de infecções hospitalares, onde milhões de pacientes em hospitais e clínicas contraem algum tipo de infecção por falta de higiene. Essas infecções levam ao sofrimento físico, psicológico e até mesmo à morte. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento e otimização de rota para auxiliar o processo de coleta e descarte do lixo hospitalar. Para isso, foi tomado como modelo de estudo de caso um hospital da cidade de Mossoró-RN. Utilizando um sensor de distância para capturar a distância entre a tampa e o fundo da lixeira, juntamente com uma Rede de Petri, foi possível simular e validar o processo de monitoramento da quantidade de lixo. Para a geração da rota de coleta, foi criado um grafo que representa as salas do hospital que possuem lixo infectante; e um algoritmo de otimização que visa percorrer o menor caminho evitando salas de alto risco. Os testes comprovaram a eficiência da ideia geral proposta, destacando as melhorias que o sistema proporciona em comparação com o modelo tradicional utilizado atualmente no hospital.

**Palavras-chaves:** Automação; Coleta; Descarte; Lixo hospitalar; Monitoramento; Rede de Petri; Otimização de rota.

## ABSTRACT

The evolution of automation provides many benefits to various fields, including the medical one. With advances in hardware and software, the modernization of technologies and diversification of sensors, it is possible to develop multiple tools to automate various sectors of hospitals, through tracking, monitoring and even optimizing processes done manually. One of the processes known to cause difficulty in hospitals due to its manual execution, is the collection and disposal of hospital waste. It is possible to identify the increase in hospital infections, where millions of patients in hospitals and clinics contracted some sort of infection by poor hygiene. These infections lead to physical and psychological distress and even death. The objective of this work is to develop a monitoring system and route optimization to assist the process of collection and disposal of hospital waste. For this, was taken as a case study model of a hospital in Mossoró-RN. Using a distance sensor for capturing the distance between the lid and the bottom of trash together with a Petri net, it was possible to simulate and validate the process of monitoring the amount of waste. For the generation of collection route, was created a graph representing the hospital rooms that have garbage hazardous and an optimization algorithm that aims to travel the shortest path avoiding high-risk rooms. The tests proved the effectiveness of the general idea proposed, highlighting the improvements that the system provides compared to the traditional model currently used in the hospital.

**Keywords:** Automation, collection, disposal, medical waste, monitoring, Petri Net, route optimization.

## LISTA DE ALGORITMOS

1	Caminho mais curto: Dijkstra. . . . .	29
---	---------------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação/Simbologia do lixo hospitalar. . . . .	18
Figura 2 – Recipientes de acondicionamento dos resíduos hospitalares . . . . .	19
Figura 3 – Carrinhos de transporte interno do hospital . . . . .	20
Figura 4 – Local reservado para abrigar o lixo hospitalar . . . . .	21
Figura 5 – Tabela de componentes de um sistema RFID . . . . .	24
Figura 6 – Exemplo de execução de algoritmo guloso . . . . .	28
Figura 7 – Agente interagindo com o ambiente através de sensores e atuadores	30
Figura 8 – Agente reativo simples . . . . .	32
Figura 9 – Agente baseado em modelos . . . . .	32
Figura 10 – Agente baseado em objetivos . . . . .	33
Figura 11 – Agente baseado na utilidade . . . . .	33
Figura 12 – Agente com aprendizagem . . . . .	34
Figura 13 – Rede de Petri Lugar/Transição . . . . .	36
Figura 14 – Rede de Petri Lugar/Transição . . . . .	36
Figura 15 – (a) Rede de Petri Lugar/Transição; (b) Rede de Petri Colorida correspondente. . . . .	38
Figura 16 – Solução proposta para o processo de monitoramento de roupas e coberturas de camas . . . . .	40
Figura 17 – Sistema de monitoramento do lixo hospitalar. . . . .	41
Figura 18 – (a) Quatro estados de volume de lixo (b) Calculo da quantidade de lixo sólido através de processamento de imagens. . . . .	42
Figura 19 – Modelo do sistema de monitoramento de caminhões. . . . .	43
Figura 20 – Visão geral do sistema . . . . .	46
Figura 21 – (a) Simulação de lixeira vazia/(b) Simulação de lixeira com resíduos .	47
Figura 22 – Rede de Petri colorida da simulação do processo de monitoramento	48
Figura 23 – Tela de cadastros de funcionários/usuários . . . . .	49
Figura 24 – Tela de busca de cadastros . . . . .	49
Figura 25 – Tela de cadastro selecionado . . . . .	50
Figura 26 – Tela de alteração de cadastro . . . . .	50
Figura 27 – Tela principal/monitoramento das lixeiras das salas . . . . .	51
Figura 28 – Análise de desempenho e confiabilidade dos dados adquiridos a partir da leitura capturada pelo sensor de distância. . . . .	53
Figura 29 – Rota otimizada do primeiro andar . . . . .	54
Figura 30 – Rota otimizada do térreo . . . . .	54
Figura 31 – Exemplo do passo a passo de execução do algoritmo de geração de rota de coleta . . . . .	55

Figura 32 – Exemplo de execução do algoritmo de geração de rota de coleta . . .	56
Figura 33 – Grafo referente ao primeiro andar do hospital . . . . .	65
Figura 34 – Grafo referente ao terreo do hospital . . . . .	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de testes realizados. . . . .	43
Tabela 2 – Comparativo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto nesse documento. . . . .	44
Tabela 3 – Comparativo entre o modelo tradicional de monitoramento e o apresentado neste trabalho . . . . .	51
Tabela 4 – Comparativo entre o modelo tradicional de rota de coleta e o apresentado neste trabalho . . . . .	56

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANVISA</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>BRATS</b>	Boletim Brasileiro de Avaliação de Tecnologias em Saúde
<b>CONAMA</b>	Controle Nacional do Meio Ambiente
<b>CNEN</b>	Comissão Nacional de Energia Nuclear
<b>EPI</b>	Equipamento de Proteção Individual
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSM</b>	Groupe Special Mobile
<b>HIV</b>	Human Immunodeficiency Virus
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>IFF</b>	Identification Friend or Foe
<b>IDI</b>	Interaction Design Institute
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>PGRSS</b>	Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços da Saúde
<b>PRV</b>	Problema de Roteamento de Veículos
<b>PRVJT</b>	Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>RSS</b>	Resíduos dos Serviços de Saúde
<b>RSSF</b>	Rede de Sensores Sem Fio
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>UML</b>	Unified Modeling Language
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>UTI</b>	Unidade de Tratamento Intensivo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	13
1.1	Motivação . . . . .	13
1.2	Problemática . . . . .	14
1.3	Objetivo . . . . .	15
1.4	Organização do Documento . . . . .	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	16
2.1	Gestão de Resíduos Hospitalares e Automação Hospitalar . . .	16
2.1.1	Gestão de Resíduos Hospitalares . . . . .	16
2.1.2	Automação Hospitalar . . . . .	22
2.1.3	Arduino . . . . .	22
2.1.4	RFID . . . . .	23
2.2	Otimização combinatória . . . . .	24
2.2.1	Heurísticas . . . . .	26
2.2.2	Algoritmos Gulosos . . . . .	27
2.2.3	Algoritmo de Dijkstra . . . . .	27
2.3	Agentes Inteligentes . . . . .	29
2.4	Redes de Petri . . . . .	34
3	TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	39
4	SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE ROTA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE COLETA E DES- CARTE DO LIXO HOSPITALAR . . . . .	45
4.1	Visão Geral . . . . .	45
4.2	Ferramentas Utilizadas no Desenvolvimento do Sistema . . . .	46
4.3	Processo de monitoramento através de Rede de Petri . . . . .	47
4.4	Funcionalidades do Sistema . . . . .	48
4.5	Monitoramento . . . . .	50
4.6	Otimização da rota . . . . .	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	58
	REFERÊNCIAS . . . . .	60

**APÊNDICES** **63**

**APÊNDICE A – GRAFO DO TERREO E PRIMEIRO AN-  
DAR DO HOSPITAL DO ESTUDO DE CASO 65**

## 1 INTRODUÇÃO

Um setor da área da saúde que tem ganhado a atenção pela sua importância de tratamento é a gestão de resíduo hospitalar, também conhecido como lixo hospitalar, lixo médico ou lixo infectante. Os resíduos hospitalares referem-se ao lixo de todos os tipos de instituição médica que realizam tratamentos, prevenção, cuidados de saúde, atividades de ensino, pesquisas e outras atividades afins que têm probabilidade de infecção direta ou indireta. Nesses resíduos, podem existir bactérias infecciosas, vírus, poluentes químicos, radioativos e outras substâncias perigosas (CHANGPING; YING; JIHONG, 2012).

A evolução da tecnologia na área da saúde, nos últimos anos, tem proporcionado inúmeras melhorias. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), juntamente com outras entidades, na busca de difundir as informações sobre as tecnologias em saúde, baseadas nas melhores evidências científicas existentes, desenvolveram o Boletim Brasileiro de Avaliação de Tecnologias em Saúde (BRATS). Esse boletim visa contribuir para a melhoria da gestão de tecnologias em saúde no país. Existem diversos BRATS, cada um contém informações sobre uma determinada área da saúde e detalha as tecnologias atualmente utilizadas para aquele contexto. Todo ano é lançada uma ou mais versões do boletim de contextos diferentes, ou dos mesmos contextos em versões atualizadas (ANVISA, 2014).

### 1.1 MOTIVAÇÃO

No âmbito hospitalar, é possível identificar muitos problemas de nível organizacional, que vão desde o escalonamento de horário de trabalho de enfermeiros e médicos, até a alocação de salas de cirurgia. Esses problemas, muitas vezes, levam a problemas de tomada de decisão que podem ser resolvidos por meio de técnicas de pesquisa operacional (KERGOSIEN, 2010).

Dentre os problemas hospitalares já citados, ainda é possível identificar o aumento de infecções hospitalares, em que milhões de pacientes em hospitais e clínicas contraem algum tipo de infecção por falta de higiene todos os anos. Essas infecções levam ao sofrimento físico, psicológico e até mesmo, em alguns casos, à morte dos pacientes. Grande parte dessas infecções tem origem no mau manuseio do lixo hospitalar e no descarte incorreto do mesmo. Cerca de 10% de todos os pacientes hospitalizados nos países em desenvolvimento acabam contraindo algum tipo de infecção; nos países industrializados o índice é um pouco mais baixo. A preocupação é maior entre as pessoas internadas nas Unidades de Tratamento Intensivo (UTI), nesses casos, as infecções sobem para 30%. De acordo a Organização Mundial de Saúde (OMS), as infecções hospitalares

atingem aproximadamente 14% dos pacientes internados no Brasil, podendo chegar a 100 mil mortes por ano (OMS, 2011).

Diante do problema abordado, pode-se perceber a necessidade de elaboração de meios para auxiliar esse setor de gestão de resíduos hospitalares para amenizar os casos de infecção no hospital. Como solução viável tem-se o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e auxílio à equipe responsável no processo de coleta e transporte de lixo hospitalar. Portanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento e otimização de rota para auxiliar o processo de coleta e descarte do lixo hospitalar.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Os resíduos hospitalares são 100 vezes mais infectantes do que o lixo comum em relação a infecções latentes e agudas causadas por microrganismos patógenos, entre outros fatores. O mau transporte e o descarte incorreto do mesmo podem causar sérios danos ao meio ambiente e aos humanos. Portanto, é necessário maior atenção com esse tipo de lixo, principalmente por envolver ambientes hospitalares, onde há muitas pessoas debilitadas (CHANGPING; YING; JIHONG, 2012).

Após a realização de uma análise dos danos causados por resíduos médicos e gerenciamento de lixo em hospitais, citados em Changping, Ying e Jihong (2012), foram apontados alguns problemas, tais como, gestões hospitalares que não possuem conhecimento suficiente dos danos que o lixo pode causar e não possuem classificação correta dos tipos de resíduos, além de misturar lixo comum com o hospitalar. Todos esses problemas ocorrem por falta de supervisão interna e externa.

O descarte incorreto dessas substâncias infectantes causa grandes prejuízos para o meio ambiente e seres humanos como, por exemplo, os metais pesados se infiltram no solo e chegam até os lençóis freáticos; além disso, deixa o solo infértil e, para evitar esse descarte no solo, algumas substâncias precisam ser incineradas, contudo, deve-se seguir regras e utilizar materiais corretos. A incineração de resíduos, se manuseada de forma incorreta, pode produzir grandes quantidades de dioxinas, as quais são listadas como um dos principais agentes cancerígenos (ZHANG; HAI; CHENG, 2012). Ademais, é importante que as pessoas que façam o transporte do lixo estejam bem protegidas e orientadas no processo correto de coleta, como já dito anteriormente, o risco de contrair uma infecção por patógenos dos resíduos contaminados é muito alta, tanto pelo contato direto com a substância infectante, ou por animais que tiveram contato com as mesmas como, por exemplo, insetos e ratos.

Muitos hospitais não valorizam o processo de coleta e descarte do lixo contaminado, pois não recebem benefícios econômicos com tal processo, o investimento é voltado, principalmente, para contratações de equipes médicas de qualidade. Porém, quando as entidades de saúde são fiscalizadas corretamente, as punições podem ser

severas dependendo das irregularidades identificadas. De acordo com leis ambientais propostas pela ANVISA e Controle Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as entidades podem ser multadas em até R\$25.000 se forem constatadas irregularidades graves (TCE, 2011).

Diante dos diversos problemas que os resíduos hospitalares causam ao ambiente e ao homem, juntamente com a baixa fiscalização de entidades externas e desinteresse por parte dos próprios hospitais, é notória a necessidade de um sistema automatizado que monitore o processo de coleta e descarte do lixo.

### 1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento e otimização de rota para auxiliar o processo de coleta e descarte do lixo hospitalar. O sistema proporcionará rotas otimizadas de transportes do lixo hospitalar visando ajudar na prevenção contra infecções perigosas ocasionadas por contato impróprio com o resíduo hospitalar no próprio estabelecimento.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre gestão de resíduos hospitalares, automação hospitalar, otimização, agentes inteligentes, redes de Petri e tecnologias emergentes; o Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados; o Capítulo 4 é abordada toda a especificação deste trabalho; o Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e perspectivas futuras.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas pesquisas, conceitos e tecnologias relacionados ao objeto de estudo desta dissertação. Assim, para melhor entendimento, este capítulo está subdividido em:

- 2.1 Gestão de Resíduos Hospitalares e Automação Hospitalar: apresenta conceitos do processo de coleta e descarte de lixo hospitalar, detalhando cada etapa dos resíduos, desde sua segregação até o descarte. E além disso, apresenta a definição da automação hospitalar, destacando suas características, perspectivas futuras e algumas tecnologias que estão sendo utilizadas nessa área;
- 2.2 Otimização Combinatória: apresenta alguns dos conceitos sobre otimização de forma geral, os problemas de roteamento e os algoritmos que podem solucionar esses problemas, destacando suas principais características;
- 2.3 Agentes Inteligentes: apresenta as principais características de agentes inteligentes e suas diferentes categorias, desde os agentes mais simples até os mais complexos;
- 2.4 Redes de Petri: apresenta os conceitos e características dos diversos tipos de redes de Petri, suas funções e aplicações.

### 2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES E AUTOMAÇÃO HOSPITALAR

#### 2.1.1 GESTÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES

O gerenciamento de resíduos hospitalares, desde a geração do lixo até o descarte final, é realizado através de uma cartilha chamada Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços da Saúde (PGRSS). Esse documento deve seguir algumas orientações de acordo com leis estabelecidas pela ANVISA e pela CONAMA.

De acordo com a norma (ANVISA, 2004) e a Resolução (CONAMA, 2005), são definidos como geradores de Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, como exemplo: hospitais, clínicas e laboratórios, funerárias e necrotérios, drogarias e farmácias, estabelecimentos de ensino e pesquisa na área da saúde, centro de controle de zoonoses, unidades móveis de atendimento à saúde, serviços de acupuntura e tatuagem, dentre outros similares.

Os resíduos são classificados em 5 grupos pela ANVISA. Esta classificação tem por objetivo destacar a composição desses resíduos segundo as suas características biológicas, físicas, químicas, estado de matéria e origem, para o seu manejo seguro. Dessa forma, os resíduos são divididos nos seguintes grupos: (TCE, 2011):

- GRUPO A - Potencialmente Infectantes - São resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção;
- GRUPO B - Químicos - Resíduos contendo substâncias químicas que apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente, independente de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade;
- GRUPO C - Radioativos - Materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificada na norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista (CNEN-NE, 2014);
- GRUPO D - Comuns - Resíduos gerados nos serviços abrangidos pela Resolução (CONAMA, 2005), que não necessitam de processos diferenciados relacionados ao acondicionamento, identificação e tratamento, devendo ser considerados resíduos sólidos urbanos;
- GRUPO E - Perfurocortantes - Objetos e instrumentos contendo cantos, bordas, pontos ou protuberâncias rígidas e agudas, capazes de cortar ou perfurar.

Essa classificação por grupos é importante e obrigatória para a identificação e o manuseio correto dos resíduos hospitalares (ANVISA, 2004). Os recipientes devem ser separados e com símbolos referentes a cada um dos tipos de lixo, e o profissional responsável pela coleta deve armazenar em diferentes recipientes separados pela tipologia. Os resíduos devem ser tratados e despejados de forma diferenciada, a mistura de dois ou mais tipos de lixo ocasionará problemas nos processos finais de disposição. A Figura 1 exibe a simbologia de identificação de cada tipo de lixo.

O manejo desses resíduos geralmente é dividido por etapas, desde sua segregação até disposição final, em seus aspectos internos e externos ao estabelecimento, tais etapas devem seguir procedimentos baseados nas normas padrões definidas pela ANVISA, CONAMA e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A seguir, será descrito cada processo do ciclo de vida dos resíduos hospitalares.

- Segregação: É a separação dos resíduos no momento e no local de sua geração, de acordo com o seu estado físico e riscos envolvidos, bem como as características físicas, químicas e biológicas;
- Acondicionamento: Consiste em embalar os resíduos segregados, em sacos ou recipientes. A capacidade dos recipientes de acondicionamento deve ser compatível com a geração diária de cada tipo de resíduo e estes devem ser constituídos de material resistente a ruptura e a vazamento, impermeável, respeitando os limites

<p>Grupo A</p> 	<p>Grupo D</p>  <p>VIDRO </p> <p>PLÁSTICO </p> <p>PAPEL </p> <p>METAL </p> <p>ORGÂNICO </p>
<p>Grupo B</p> 	
<p>Grupo C</p> 	<p>Grupo E</p> 

Figura 1 – Classificação/Simbologia do lixo hospitalar.

Fonte: adaptada de TCE (2011)

de peso de cada saco, sendo proibido o seu esvaziamento ou reaproveitamento. Os recipientes devem ser de material lavável, com tampa provida de sistema de abertura sem contato manual, com cantos arredondados e resistentes ao tombamento. Com relação aos recipientes existentes nas salas de cirurgia e nas salas de parto, tais recipientes não necessitam de tampa para vedação, já que envolve situações críticas e a ação de retirada da tampa para despejo do lixo é considerada imprópria, devendo os resíduos serem recolhidos imediatamente após o término dos procedimentos. Tratando-se de resíduos líquidos, os mesmos devem ser acondicionados em recipientes constituídos de material compatível com o líquido armazenado, resistentes, rígidos e estanques, com tampa rosqueada e vedante. Os resíduos perfurocortantes (grupo E) devem ser acondicionados separadamente, no local de sua geração, imediatamente após o uso, em recipiente rígido, com tampa, contendo a simbologia, esse tipo de resíduo recebe atenção especial, pois é um dos tipos classificados que causam mais contaminação, podendo

transmitir o vírus do *Human Immunodeficiency Virus* (HIV), entre outros patógenos. A Figura 2 ilustra uma representação das embalagens;



Figura 2 – Recipientes de acondicionamento dos resíduos hospitalares

Fonte: TCE (2011)

- **Coleta Interna:** A coleta e o transporte interno dos RSS consistem no traslado dos resíduos dos pontos de geração até o local destinado ao armazenamento temporário ou armazenamento externo, com a finalidade de disponibilização para a coleta. É nesta fase que o processo se torna visível para o usuário e o público em geral, pois os resíduos são transportados nos equipamentos de coleta em áreas comuns. A coleta e o transporte devem seguir normas da (ABNT, 1993) e devem ser realizados em horários não coincidentes com a distribuição de roupas, alimentos e medicamentos, períodos de visita ou de maior fluxo de pessoas ou de atividades. O processo deve ser realizado separadamente, de acordo com o grupo de resíduos e em recipientes específicos a cada grupo; com relação aos equipamentos para transporte interno (carros de coleta), devem ser constituídos de material rígido, lavável, impermeável e providos de tampa articulada ao próprio corpo do equipamento, cantos e bordas arredondados, rodas revestidas de material que reduza o ruído. A Figura 3 exibe uma representação dos carrinhos de coleta;
- **Armazenamento temporário:** Antes de ser levado ao armazenamento externo, onde será recolhido pelos caminhões, o lixo pode ser alocado em armazenamentos internos temporários. Porém, alguns hospitais não possuem esse ambiente de armazenamento, levando o lixo diretamente para o armazenamento externo. Essa sala, quando existente nos hospitais, deve ser estrategicamente próxima aos pontos de geração, visando agilizar a coleta dentro do estabelecimento e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à coleta externa. Não

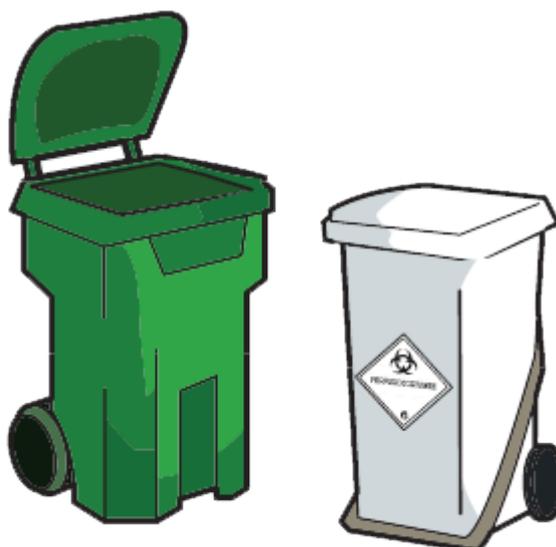


Figura 3 – Carrinhos de transporte interno do hospital

Fonte: TCE (2011)

é feito o armazenamento temporário com disposição direta dos sacos sobre o piso, sendo obrigatória a conservação dos sacos em recipientes de acondicionamento. Nessas ocasiões, dependendo da distância entre os pontos de geração de resíduos e do armazenamento externo, poderá ser dispensado o armazenamento temporário, sendo encaminhado direto ao armazenamento para coleta externa;

- **Armazenamento externo:** O armazenamento temporário externo consiste no acondicionamento dos resíduos em abrigo, em recipientes coletores adequados, em sala própria para a função e com acesso facilitado para os veículos coletores, no aguardo da realização da etapa de coleta externa. O abrigo de resíduos não pode ser uma sala qualquer do hospital, deve ser construída em ambiente exclusivo e a uma distância estratégica do estabelecimento, além disso, precisa ser dimensionado de acordo com o volume de resíduos gerados. O abrigo externo ainda deve possuir, no mínimo, um ambiente separado para atender o armazenamento de recipientes de resíduos do grupo A juntamente com o grupo E, e um ambiente para o grupo D. A Figura 4 exhibe a ilustração de como deve ser o ambiente de armazenamento externo;
- **Transporte externo:** O transporte externo é o processo de coleta pelos caminhões de transporte até a unidade de tratamento ou disposição final, através de utilização de técnicas que garantam a preservação das condições de acondicionamento e a integridade da população, do meio ambiente e dos próprios trabalhadores que devem utilizar rigorosamente os Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Com



Figura 4 – Local reservado para abrigar o lixo hospitalar

Fonte: TCE (2011)

relação ao veículo de transporte dos RSS, podem ser utilizados diferentes tipos de veículos, de pequeno até grande porte desde que sejam próprios para tal serviço;

- **Tratamento:** Diferentemente do lixo convencional, o lixo hospitalar não pode ser descartado em qualquer ambiente, devido ao seu elevado nível de contaminação. É necessária aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos inerentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando a probabilidade de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de danos ao meio ambiente. Os sistemas para tratamento de RSS devem ser objeto de licenciamento ambiental, de acordo com a Resolução (CONAMA, 1997) e são passíveis de fiscalização e de controle pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente. Há várias formas de se proceder o tratamento: desinfecção química ou térmica (autoclavagem, micro-ondas);
- **Destinação final:** É o processo da disposição definitiva de resíduos no solo ou em locais previamente preparados para recebê-los, devendo obedecer a critérios técnicos de construção e operação, de acordo com a Resolução (CONAMA, 1997), além de seguir as normas da ABNT. As formas de disposição final dos RSS mais utilizadas atualmente são através de métodos de incineração ou em aterros de resíduos perigosos classe I. Porém, existem outros locais de destinação final, são eles: aterro sanitário, aterro controlado, lixão ou vazadouro e valas.

### 2.1.2 AUTOMAÇÃO HOSPITALAR

A automação hospitalar é uma subárea da automação que visa promover a automatização dos processos oriundos do ambiente hospitalar, buscando eficiência e produtividade (BROOKS; BROOKS, 1998). Além disso, a automação é uma área multidisciplinar que envolve: linguagens de programação (*software*), plataformas eletrônicas (*hardware*), atuação (mecânica) e fluidos fármacos. Este fator implica que estudos na área da automação são abrangentes e, portanto, envolvem uma vasta gama de conhecimentos.

Vários processos encontrados no ambiente hospitalar ainda são realizados de forma manual (leitura de medidores cardíacos, medição de glicose, preenchimento de prontuário médico, envio de alertas, dentre outros). A necessidade de aumentar a eficiência dos processos hospitalares levou vários pesquisadores a estudarem a implantação de sistema de automação (bem difundidos na área industrial) em ambientes hospitalares (LEITE et al., 2010).

Algumas tecnologias estão crescendo quando se refere à automação hospitalar, são os casos de RFID e Arduino.

### 2.1.3 ARDUINO

O Arduino foi criado em 2005 para fins educacionais pelo professor Massimo Banzi, do Interaction Design Institute (IDI) da Itália. Juntamente com o professor David Guartielles, Banzi, desenvolveu a tecnologia Arduino para seus estudantes de design trabalharem com tecnologia, pois as que existiam no mercado eram de custo muito elevado (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

O Arduino, segundo Banzi (2011), é uma plataforma embarcada voltada para prototipagem eletrônica com código fonte de uso livre, baseada em hardware flexível e software aberto. Seu objetivo é servir a designers, artistas ou qualquer pessoa interessada em criar ferramentas acessíveis de baixo custo, fáceis de usar.

A partir dessa tecnologia, é possível perceber o ambiente com o uso de sensores, como também afetar os seus arredores por meio do controle de luzes, motores e outros atuadores. Em sua placa, reside um microcontrolador que suporta programação em linguagem C/C++. Além disso, tal programação pode ser apoiada por um *Integrated Development Environment* (IDE). Em seu site oficial, (ARDUINO, 2014), encontram-se disponíveis um IDE próprio para sua programação e exemplos de códigos de vários projetos sob licença open-source, que podem servir como referência ou ser adaptados conforme necessidades do desenvolvedor. Os projetos feitos para Arduino são capazes de executar independente de outros dispositivos, ou se comunicarem com softwares rodando em um computador ou outros sistemas computacionais.

Uma das grandes vantagens dessa tecnologia é que, além de poder ser adquirido pré-montado a baixo custo, pode ser facilmente construído devido à simplicidade de

seu circuito e por haver sua documentação disponível também no site oficial.

Existem em torno de 13 tipos de Arduino que se distinguem em dimensão, capacidade de processamento, memória, quantidade de portas digitais e analógicas para entrada e saída de dados, tensão de operação (3,3 ou 5 volts, dependendo de seu microcontrolador), além de outros recursos. Há também placas adicionais denominadas *shields*, que agregam funções específicas como conexão *bluetooth*, *ethernet*, *wifi*, *displays*, botões, sensores entre outros.

Arduino cresceu tanto nos últimos anos que ganhou espaço na área de comunicação, jogos, sensoriamento de movimento, entre outros. Além dessas áreas, o Arduino destacou-se no ambiente de detecção de objetos através de comunicação com sensores ultrassônicos (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013). Eles funcionam emitindo uma onda sonora e recebem um eco como resposta. Através disso, é possível definir se existe algo a determinada distância, esse processo é chamado de ecolocalização, semelhante ao sonar dos morcegos e golfinhos. Por meio dessa união do Arduino com sensores ultrassônicos, é possível mensurar a quantidade de lixo no interior das lixeiras, levando em consideração a distância do resíduo até a tampa da lixeira, supondo que o sensor seja posicionado na parte interna da tampa (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

#### 2.1.4 RFID

O termo RFID, do inglês *Radio-Frequency Identification*, ou identificação por radiofrequência, é uma tecnologia para identificação automática de objeto ou pessoas através de ondas de rádio (GRAAFSTRA, 2006).

Essa tecnologia surgiu durante a segunda guerra mundial. Inicialmente chamada de *Identification Friend or Foe* (IFF), foi criada por britânicos e desenvolvida para trabalhar em conjunto com os radares para identificação de aviões aliados durante a guerra. Seus elementos principais são a *tag* e o leitor RFID. (GRAAFSTRA, 2006).

De acordo com Barbosa (2012), um sistema RFID é composto por 4 componentes principais, são eles: *Software/Infraestrutura*; Leitores; Antenas e Etiquetas. A Figura 5 a seguir exibe os detalhes de cada componente.

Originalmente, a tecnologia RFID foi desenvolvida apenas para identificação de objetos e não cresceu tanto no período da sua criação devido ao seu grande concorrente no mercado, que se mantém até hoje, o código de barras, uma tecnologia mais simples e de baixo custo. Porém, atualmente, devido aos avanços nas pesquisas e investimentos, RFID não está restrita apenas à identificação de objetos e está se expandindo para outras áreas, podendo ser aplicada na área de segurança: com identificações e rastreamentos de pessoas e animais; na área do comércio: ainda com identificação de objetos, mas com melhorias, como armazenamento de informações na própria *tag* e campo de comunicação entre leitor e *tag* maior, o que lhe proporciona vantagens em relação ao código de barras.

Software/ Infra-estrutura	Leitores	Antenas	Etiquetas
<p><b>Middleware:</b> disponibiliza os dados coletados de forma tratada e controlada.</p> <p><b>Broker:</b> conjunto de funções para ligar as regras de negócio ao tratamento dos dados coletados.</p> <p><b>Monitoring:</b> permite acompanhar o histórico das transações realizadas.</p> <p><b>Programas de Gestão:</b> aplicativo dedicado aos processos de interesse da empresa.</p>	<p><b>Portáteis:</b> acoplados a coletores portáteis de dados.</p> <p><b>Móveis:</b> embarcados em veículos ou empilhadeiras.</p> <p><b>Portais:</b> típicos quando se deseja controlar, por exemplo, o recebimento de produtos em docas, num centro de distribuição ou na retaguarda de uma loja, ou em áreas de passagem, por exemplo, entre a área de produção e o estoque de uma fábrica.</p>	<p><b>Direcional:</b> polarização circular – lóbulo de irradiação é direcionado circularmente para um objeto.</p> <p><b>Yági:</b> polarização linear – lóbulo de irradiação é centrado num determinado ponto geralmente de maior alcance.</p>	<p><b>Passiva:</b> é o tipo mais comum de etiqueta e permite somente a leitura. A informação só pode ser gravada uma única vez pelo usuário.</p> <p><b>Semi-passiva:</b> maior alcance e capacidade (memória, senha, criptografia). Além disso, possui uma bateria somente para manter as funções de memória.</p> <p><b>Ativa:</b> além das funções anteriormente descritas, existe a função de poder se comunicar com as outras etiquetas da mesma classe.</p>

Figura 5 – Tabela de componentes de um sistema RFID

Fonte: Adaptada de (BARBOSA, 2012)

## 2.2 OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Otimização combinatória é um ramo da Ciência da Computação e da Matemática Aplicada, que estuda problemas de otimização em conjuntos. Em um problema de otimização, tem-se a função objetivo e as funções restrições, ambos relacionados a variáveis de decisão. O problema pode ser de minimização ou de maximização da função objetivo. A resposta para o problema, ou seja, Ótimo Global, será o menor (ou maior) valor possível para a função objetivo para o qual o valor atribuído às variáveis não viole nenhuma restrição. Em alguns casos, chega-se a valores cujas soluções são chamadas Ótimos Locais, que não são as melhores soluções possíveis (Ótimo Global), mas serão as soluções ideais para determinados problemas, em que a busca pelo Ótimo Global não apresente um bom custo benefício. Os modelos baseados em grafos são imensamente utilizados em muitos problemas de otimização combinatória. Grafo é uma forma de representar um conjunto de elementos e suas relações. Esse recurso é muito utilizado para modelar os problemas por ser uma forma bastante intuitiva de representá-los. Além disso, na literatura, podem ser encontrados algoritmos para resolver diversos problemas em grafos (MALAQUIAS, 2006).

Estruturas que podem ser representadas por grafos estão em toda parte e muitos problemas de interesse prático podem ser formulados como questões sobre tais grafos, que variam de acordo com cada problema. Por exemplo, o problema de roteamento de

veículos (rota ótima) surge no problema do caixeiro viajante.

Problemas de Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problems*, VRP), envolvem o atendimento, em um dado período de tempo, de um conjunto de consumidores por um conjunto de veículos, que estão localizados em um ou mais depósitos, são operados por um conjunto de tripulantes e se movem através de uma malha rodoviária. A solução do VRP exige a determinação de um conjunto de rotas, cada uma utilizada por um único veículo, que começa e termina em seu depósito, de modo que todos os requisitos dos consumidores sejam atendidos, todas as restrições operacionais sejam satisfeitas e o custo de transporte global seja minimizado. A utilização de processos informatizados para a resolução de problemas onde se encaixa o VRP produz uma redução substancial (geralmente de 5% a 20%) em termos de custos de transporte global (TOTH; VIGO, 2002). Geralmente, na literatura, dois objetivos são explorados para este problema: redução da distância total e/ou redução do número de veículos utilizados.

A malha rodoviária usada para o transporte dos bens é geralmente representada por um grafo, no qual os arcos representam estradas e os vértices correspondem a junções de estradas, depósitos ou consumidores. O grafo pode ser direcionado ou não direcionado, dependendo se os arcos podem ser atravessados em uma (mão única, típico de vias urbanas) ou nas duas direções. Cada arco possui um custo e um tempo de tráfego, que possivelmente é dependente do veículo ou período em que o arco é atravessado. Considerando problemas envolvendo apenas a entrega de bens, de acordo com Toth e Vigo (2002), têm-se os seguintes VRP's básicos:

- VRP Capacitado (*Capacitated VRP*, CVRP): Todos os consumidores correspondem a entregas e as demandas são determinísticas, conhecidas a priori e não podem ser divididas. Os veículos são idênticos e existe apenas um depósito, são impostas apenas as restrições de capacidade dos veículos;
- VRP com Restrição de Distância (*Distance-Constrained VRP*, DVRP): As restrições de capacidade são substituídas por restrições de comprimento máximo, ou seja, o comprimento de cada rota não pode exceder um valor T (valor determinado como máximo no problema);
- VRP com Janelas de Tempo (*VRP with Time Windows*, VRPTW): Têm-se as restrições de capacidade e, além disso, cada consumidor possui associado um intervalo de tempo (Janela de Tempo). O veículo deve iniciar o serviço no consumidor dentro da janela de tempo e deve permanecer por um dado tempo de atendimento naquele consumidor. Geralmente, se o veículo chega antes do início da janela de tempo, ele deve esperar até a abertura da janela. Se não for possível que o veículo chegue ou conclua seu serviço dentro da janela de tempo, o consumidor não será atendido ou o atraso será penalizado.

Para cada um destes problemas existem diversas variantes e extensões abordadas na literatura. Como, por exemplo, em relação ao último problema (Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo) segundo Taillard et al. (1997), do ponto de vista da teoria dos grafos, o PRVTJ pode ser definido como segue: seja  $G=(V,A)$  um grafo não direcionado com o conjunto de vértices  $V=v_0, v_1...v_n$ , e um conjunto de arcos  $A=(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i < j$ . Nesse grafo o vértice  $v_0$  é o depósito e os outros vértices são os outros clientes a serem servidos. Cada vértice é associado com:

- Uma quantidade fixa  $q_i$  do item a ser entregue (com  $q_0$  igual a 0);
- A janela de tempo  $[e_i, l_i]$ , onde  $e_i, l_i$  são respectivamente o início e o fim da janela de tempo, dentro do qual o serviço pode ser iniciado (com  $e_0$  sendo o instante mais cedo para se iniciar uma rota e  $l_0$  é o prazo máximo para o retorno do veículo ao depósito ao concluir sua rota);
- Um serviço com duração de tempo  $s_i$  para o descarregamento dos produtos nos respectivos clientes (com  $s_0$  igual a 0).

Dando uma frota fixa com  $M$  veículos idênticos, cada qual com capacidade  $Q$ , o objetivo é encontrar o conjunto de rotas de custo mínimo, originando e terminando no depósito  $v_0$ , tal que:

- Cada veículo sirva somente uma rota;
- Cada vértice  $v_0, v_1...v_n$  seja visitado exatamente uma única vez;
- A quantidade de mercadoria total entregue não exceda a capacidade  $Q$  do veículo;
- O momento de início de cada rota seja maior que  $e_0$ ;
- A conclusão de cada rota ocorra no máximo no instante  $l_0$ ;
- O início do serviço (de entrega) em cada vértice  $v_i$  ocorra no intervalo definido por  $[e_i, l_i]$ . Se a chegada ocorrer no instante  $t_i$  menor do que  $e_i$ , o tempo entre  $t_i$  e  $e_i$  é considerado tempo de espera.

### 2.2.1 HEURÍSTICAS

Os problemas de roteirização de veículos, vistos sob a ótica de otimização, possuem ordem de complexidade exponencial, ou seja, a demanda de esforço computacional para a sua solução cresce exponencialmente, na medida em que a dimensão do problema aumenta.

Alguns métodos de solução de softwares e aplicativos comerciais para os problemas de roteirização encontrados no mercado são heurísticos, isto é, não asseguram a

obtenção ótima do ponto de vista matemático. As estratégias de solução heurísticas, geralmente, apoiam-se em uma abordagem intuitiva, na qual a estrutura particular do problema precisa ser considerada e explorada de forma inteligente para a obtenção de uma solução adequada. Na maioria dos casos, as heurísticas propostas são bastante específicas e particulares, e carecem de robustez, ou seja, não conseguem obter boas soluções para problemas com características condicionantes ou restrições, às vezes, um pouco diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidas anteriormente (CUNHA, 2000).

Nos métodos heurísticos é difícil saber se a solução obtida está “perto” ou “longe” da melhor solução possível em termos de qualidade. Por exemplo, pode-se estar interessado em uma solução que não precisa ser a melhor esperada, mas que seja uma solução relativamente boa, logo, esse resultado pode já ser suficiente para a aplicação que se tem em mãos (MALAQUIAS, 2006).

### 2.2.2 ALGORITMOS GULOSOS

A construção de uma solução gulosa consiste em selecionar sequencialmente elementos de  $F$ , digamos  $S_i$ , de modo que se  $S_i + 1$  é “melhor” que  $S_i$ , essa passa a ser a solução para todo  $i$ , caso contrário  $S_i + 1$  será descartada. Daqui em diante, sem perda de generalidade, “melhor” significa menor (valor mínimo), considerando um problema de minimização (ZIVIANE, 2007).

Um algoritmo guloso também é chamado de míope, pois somente enxerga em sua busca o vizinho que está mais próximo. Em geral, um algoritmo guloso encontra sempre a mesma solução para uma dada instância de um problema, exceto no caso de eventuais empates. O efeito da obtenção de uma solução gulosa é chamado de intensificação, no sentido que a tendência é encontrar um mínimo ou máximo local na “vizinhança” pesquisada (VIANA, 2013).

Na Figura 6, pode ser observado um exemplo visual de como um algoritmo guloso se comporta, partindo do ponto de origem “0” para o ponto de destino “6”, buscando o menor vizinho adjacente do início até o final.

### 2.2.3 ALGORITMO DE DIJKSTRA

Existem vários algoritmos eficientes para resolver problemas de caminho mais curto com um só objetivo, sendo os mais conhecidos os algoritmos de Dijkstra, de Ford e de Floyd. Os dois primeiros aplicam-se a problemas de caminho mais curto de um nó inicial,  $s$ , para um nó final,  $t$  (ou para todos os outros), e baseiam-se num processo de rotulação dos nós. O último aplica-se a problemas de caminho mais curto entre todos os pares de nós.

Este algoritmo, que foi apresentado por Dijkstra em 1959, só pode ser aplicado a redes a cujos arcos estão associados apenas valores não negativos que é justamente o

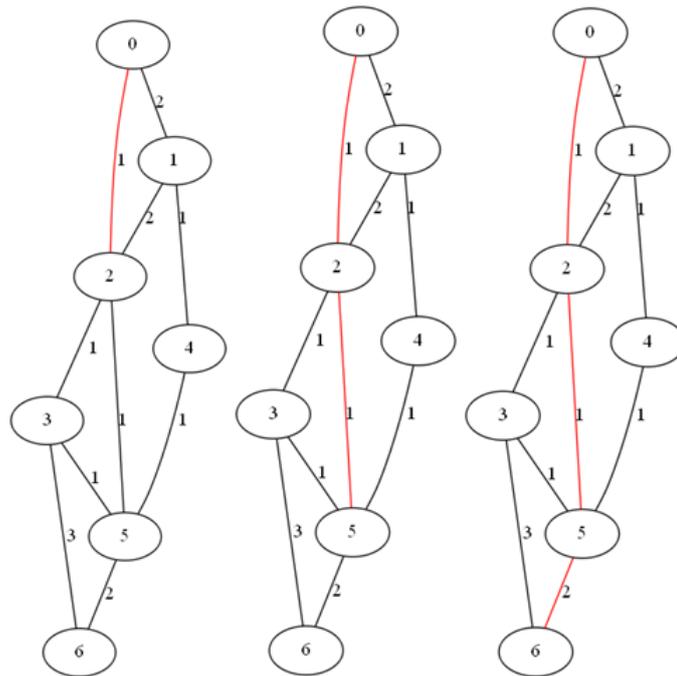


Figura 6 – Exemplo de execução de algoritmo guloso

diferencial em relação ao algoritmo de Ford (é permitido utilização de valores negativos). Neste algoritmo, é suposto existir pelo menos um caminho entre  $s$  e qualquer outro nó (CAMPOS, 2006).

De acordo com (BARRICO, 1998), o algoritmo baseia-se num processo de rotulação dos nós da rede e classificação dos respectivos rótulos. A cada nó  $i$  é atribuído um rótulo  $[\varepsilon_i, \pi_i]$  que pode ser permanente (fixo) ou temporário. Isto é:

- $[\varepsilon_i, \pi_i]$  permanente (o caminho mais curto de  $s$  para  $i$ )
- $\varepsilon_i \leftarrow$  nó que antecede  $i$  no caminho mais curto de  $s$  para  $i$
- $\pi_i \leftarrow$  comprimento do caminho mais curto de  $s$  para  $i$
- $[\varepsilon_i, \pi_i]$  temporário (um caminho mais curto de  $s$  para  $i$ )
- $\varepsilon_i \leftarrow$  nó que antecede  $i$  no melhor caminho, até ao momento, de  $s$  para  $i$
- $\pi_i \leftarrow$  comprimento do melhor caminho, até ao momento, de  $s$  para  $i$
- $[\varepsilon_i, \pi_i] = [-, \infty]$  indica que ainda não foi encontrada qualquer caminho de  $s$  para  $i$ .

O rótulo temporário de um nó representa um limite superior da distância mais curta de  $s$  para esse nó, uma vez que o caminho que lhe está associado pode ser ou não o mais curto. O algoritmo consiste num processo de fixação dos rótulos dos nós da rede, começando pelo  $s$ , de uma forma ordenada segundo as distâncias de cada nó a  $s$ . Em

cada iteração é escolhido o nó  $i$  com rótulo temporário com menor valor de  $\pi$ , que se torna permanente, para depois se percorrer todos os nós adjacentes a  $i$  (que tenham rótulos temporários), para que os seus rótulos sejam atualizados. O algoritmo termina quando não existirem nós com rótulos temporários (caminho mais curto do nó  $s$  para todos os outros) ou quando o rótulo do nó  $t$  passar a permanente (caminho mais curto do nó  $s$  para o nó  $t$ ) (BARRICO, 1998). Quando o algoritmo terminar, o comprimento do caminho mais curto entre  $s$  e  $j$  é  $\pi_j$  e o caminho determina-se percorrendo (em sentido inverso) a primeira parte dos rótulos ( $\varepsilon$ ) de  $j$  até  $s$ , da seguinte forma:

---

```

Caminho  $\leftarrow j$ 
 $i \leftarrow j$ 
enquanto  $i \neq s$  faça
     $i \leftarrow \varepsilon_i$ 
    Caminho  $\leftarrow$  Caminho  $\cup i$ 
fim enquanto

```

---

A versão do algoritmo de Dijkstra que se descreve no algoritmo 1 é a original e foi adaptada a partir de Ahuda, Magnanti e Orlin (1993).

---

#### Algoritmo 1 Caminho mais curto: Dijkstra.

---

```

 $[\varepsilon_s, \pi_s] \leftarrow [s, 0]$  (caminho mais curto de  $s$  para  $s$  tem comprimento 0 e  $s$  é o nó que antecede  $s$ )
 $[\varepsilon_i, \pi_i] \leftarrow [-, \infty], \forall i \in N - s$  (o caminho mais curto de  $s$  para  $i$  é desconhecido)
 $R \leftarrow N$  ( $R =$  conjunto de nós com rótulo temporário)
 $\bar{R} \leftarrow \emptyset$  ( $\bar{R} =$  conjunto de nós com rótulo permanente)
enquanto  $R \neq \emptyset$  (ou  $R \neq N$ ) faça
     $k \leftarrow$  nó de  $R$  tal que  $\pi_k$  é mínimo ( $k : \pi_k = \min \pi_x, x \in R$ )
     $R \leftarrow \bar{R} - k$  ( $k$  deixou de ter rótulo temporário)
     $R \leftarrow R \cup k$  ( $k$  passou a ter rótulo permanente)
    Para todo o  $j \in N$  tal que  $(k, j) \in A$  Fazer
        se  $\pi_k + ckj < \pi_j$  então
             $\pi_j \leftarrow \pi_k + ckj$ 
             $\varepsilon_j \leftarrow k$ 
        fim se
    fim enquanto

```

---

### 2.3 AGENTES INTELIGENTES

A Inteligência Artificial (IA) surgiu em meados de 1950 e tomou proporções após a Guerra Mundial, quando diversos avanços na Lógica Matemática e na Psicologia Cognitiva davam seus primeiros passos na representação do cérebro humano. O sucesso inicial se deu com o desenvolvimento do programa Solucionador de Problemas Gerais (SPG), construído por Newell e Simon. Projetado para copiar e reproduzir

protocolos humanos, o SPG solucionava problemas dentro de uma classe limitada de quebra-cabeças e foi considerado o primeiro programa a incorporar a abordagem do pensamento humano (COPPIN, 2010).

Uma linha de pesquisa da área de IA, são os agentes inteligentes. Segundo Russell e Norvig (2014), um agente é tudo aquilo que pode perceber o ambiente em que se encontra, através de sensores, e agir sobre este ambiente por meio de atuadores. Assim como um agente humano dispõe de sensores, como olhos, ouvidos, tato e atuadores, como mãos e pernas, um agente robô poderia ter sensores, como câmeras, sensores infravermelhos e atuadores, como diversos tipos de motores. A Figura 7 apresenta o agente percebendo e atuando no ambiente.

Ao projetar um agente, a primeira etapa deve ser sempre especificar o ambiente de tarefa: *Performance* = Medida de Desempenho, *Environment* = Ambiente, *Actuators* = Atuadores e *Sensors* = Sensores (PEAS) (RUSSELL; NORVIG, 2014). Para melhor entendimento do PEAS, tem-se o exemplo do Motorista de Táxi Automatizado:

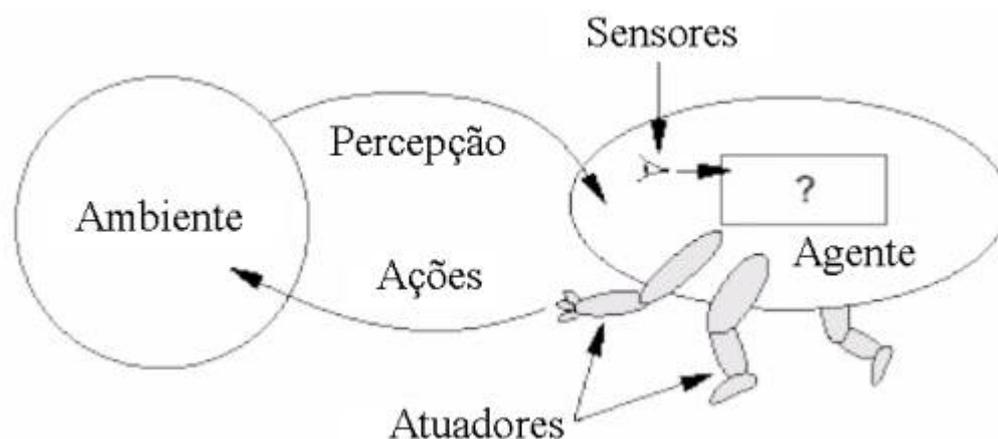


Figura 7 – Agente interagindo com o ambiente através de sensores e atuadores

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

- *Performance*: viagem segura, rápida, sem violações às leis de trânsito, confortável para os passageiros, maximizando os lucros;
- *Environment*: ruas, estradas, outros veículos, pedestres, clientes;
- *Actuators*: direção, acelerador, freio, embreagem, marcha, seta, buzina;
- *Sensors*: câmera, sonar, velocímetro, GPS, hodômetro, acelerômetro, sensores do motor, teclado ou microfone.

As características dos agentes também dependem do tipo de ambiente em que ele está situado. Suas ações e conhecimentos estão relacionados diretamente com o ambiente em que se encontram. Os ambientes podem ser classificados como (RUSSELL; NORVIG, 2014):

- Acessível e não acessível - Um ambiente acessível é aquele no qual o agente consegue retirar informações atualizadas e precisas sobre o estado do ambiente;
- Determinístico e não-determinístico - Ambientes determinísticos são aqueles em que cada ação executada pelo agente é a melhor maneira de agir. O mundo real, por ser um lugar onde cada ação repetida pode resultar em diferentes situações, pode ser chamado de não-determinístico;
- Episódico e não-episódico - As ações executadas pelos agentes são baseadas em um número de episódios discretos, sem nenhuma ligação entre as ações dos agentes em diferentes cenários. As ações executadas pelos agentes não irão interferir nas ações que acontecerão futuramente. Cada ação feita em um cenário é independente de todas as outras ações.
- Estático e dinâmico - Um ambiente estático é aquele que tem a tendência de permanecer estático, a não ser pela intervenção de um agente. Já os dinâmicos são aqueles que possuem outros processos sendo executados. Isto faz com que eles se alterem, mesmo sem a intervenção de um agente, fazendo com que mudanças no ambiente fiquem além do controle dos agentes.
- Discreto e contínuo - Um ambiente discreto possui um número finito de ações que podem ser executadas por um agente. As ações que um agente pode desempenhar podem ser pré-definidas pelo programador. Já em um ambiente contínuo, uma ação pode ser executada de várias formas, de modo que nunca se repitam e que cheguem sempre a um mesmo objetivo.

De acordo com Artero (2008) e Russell e Norvig (2014), os agentes podem se classificar nos seguintes tipos: reativo simples, reativo baseado em modelos, baseado em objetivos, baseado em utilidade e agente com aprendizagem. O agente reativo simples seleciona suas ações baseado na necessidade percebida atualmente e ignora o histórico de percepções, fazendo com que escolha a mais adequada para o momento. Esse tipo de agente utiliza um conjunto de regras de condição-ação, porém, por não possuírem memória, são incapazes de planejar ações futuras. A Figura 8 ilustra o exemplo de comportamento do agente reativo simples.

O agente reativo baseado em modelos controla o estado atual do mundo, utilizando um modelo interno do ambiente e mantém o histórico de suas ações e percepções, combinando essas informações para gerar a descrição atualizada do estado atual. Com essas informações, o agente então escolhe a ação mais adequada, da mesma forma que o reativo simples. O agente baseado em modelos pode ser observado na Figura 9.

Os agentes baseados em objetivos são aqueles que avaliam constantemente suas ações e verificam se tais ações o aproximam de seus objetivos, ou seja, esses agentes

## Agente Reativo Simples

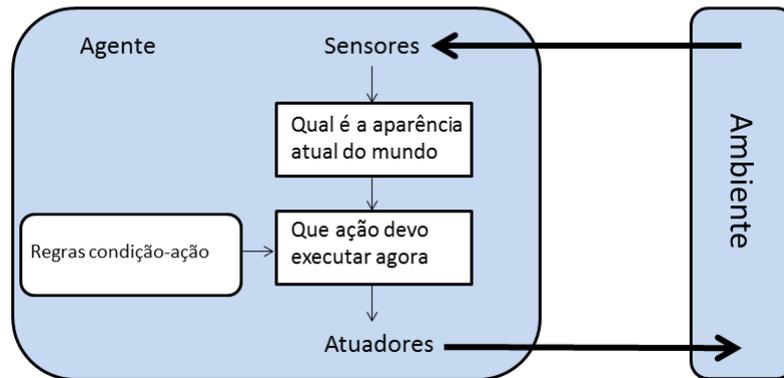


Figura 8 – Agente reativo simples

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

## Agente Reativo Baseado em Modelos

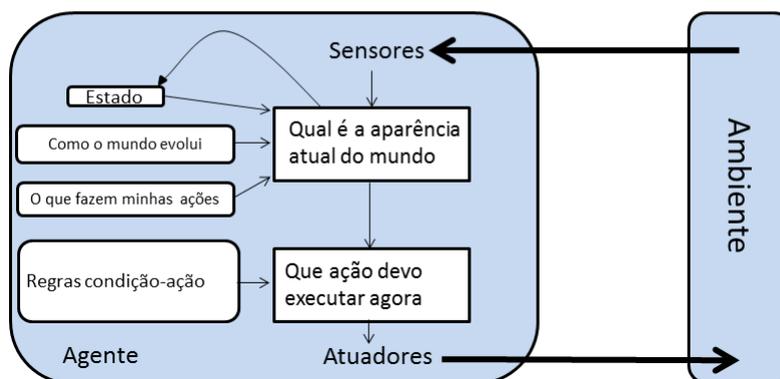


Figura 9 – Agente baseado em modelos

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

ponderam suas ações de acordo com a descrição do estado atual e dos objetivos, os quais se deseja atingir. É possível observar que a tomada de decisão desse tipo de agente é distinta das regras de condição-ação devido envolverem considerações futuras. Pode ser observado o agente baseado em objetivos na Figura 10.

O agente baseado em utilidade assemelha-se ao baseado em objetivo. Este faz a escolha de suas ações também visando aproximar-se de um objetivo, todavia, com o diferencial de buscar maximizar o valor obtido pela função de utilidade. Tal função mensura o grau de “felicidade” do agente ao realizar determinada ação, ou seja, faz um mapeamento de um estado ou sequência de estados e guarda em uma variável com

## Agente Reativo Baseado em Objetivos

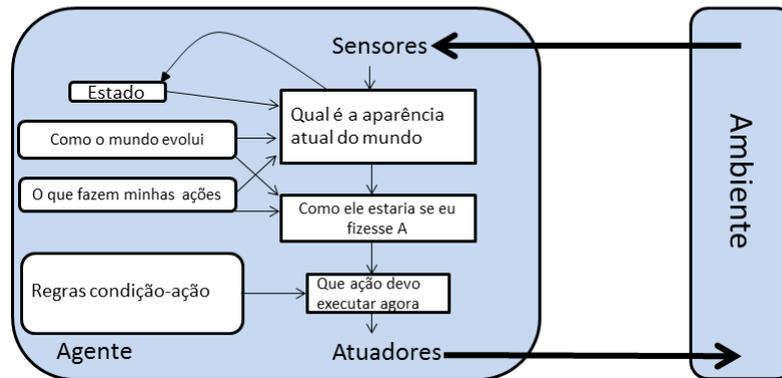


Figura 10 – Agente baseado em objetivos

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

## Agente Reativo Baseado na Utilidade

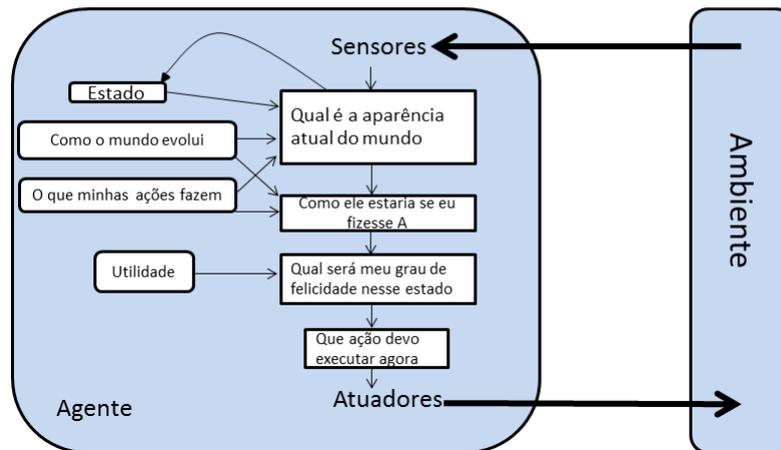


Figura 11 – Agente baseado na utilidade

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

número real. Assim, quanto maior o valor obtido pela função, maior será a eficiência de execução daquela ação. A Figura 11 demonstra o agente baseado em utilidades.

Os agentes com aprendizagem são considerados os mais complexos de todos os agentes, por possuírem o maior grau de autonomia e os mais difíceis de serem implementados, pois são capazes de atuar plenamente em um ambiente inicialmente desconhecido, adaptando-se às mudanças ocorridas no mesmo. Para isto, são utilizados algoritmos de aprendizagem que usam elementos de geração de problemas, aprendizagem e desempenho. Na Figura 12 é possível visualizar o comportamento desse

agente.

## Agente com aprendizagem

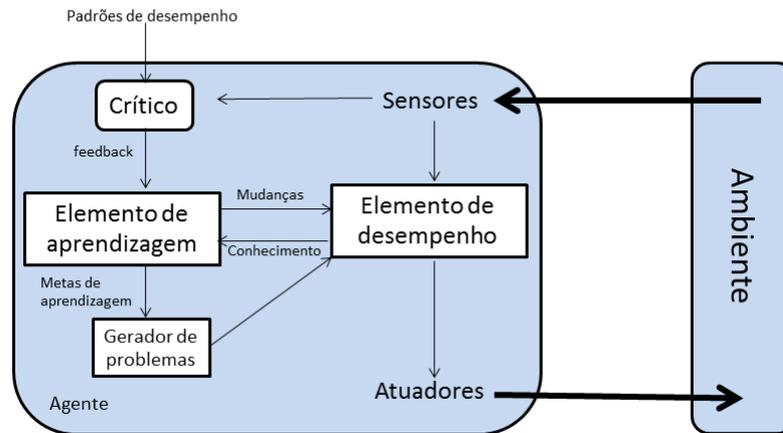


Figura 12 – Agente com aprendizagem

Fonte:(RUSSELL; NORVIG, 2014)

### 2.4 REDES DE PETRI

Um modelo é uma representação, geralmente em termos matemáticos, das principais características de um objeto ou sistema. Através da análise do modelo, um sistema real pode ser estudado sem o perigo, custo ou inconveniência da manipulação de seus elementos. Dentre as técnicas formais para modelar e analisar sistemas, podemos citar, por exemplo, as redes de Petri (NETO, 2001).

As redes de Petri devem seu nome ao trabalho de Carl Adam Petri, que, em sua tese de doutorado, apresentou um grafo bipartido com os estados associados, com o objetivo de estudar a comunicação entre os autômatos (MURATA, 1989b). O desenvolvimento das redes se deu pelas suas numerosas potencialidades de modelagem, dentre elas: sincronização de processos, concorrência, conflitos e compartilhamento de recursos.

Como ferramenta matemática e gráfica, as redes de Petri oferecem um ambiente uniforme para modelagem, análise formal e simulação de eventos discretos, permitindo uma visualização simultânea de sua estrutura e comportamento. Mais especificamente, as redes de Petri modelam dois aspectos desses sistemas, eventos e condições, bem como as relações entre eles. Segundo essa caracterização, em cada estado do sistema, verificam-se determinadas condições. Estas podem possibilitar a ocorrência de eventos que, por sua vez, podem ocasionar a mudança de estado do sistema. É possível relacionar, de forma intuitiva, condições e eventos com os dois tipos de nós da rede, respectivamente, *lugares* e *transições* (NETO, 2001).

Uma rede de Petri é composta de uma estrutura de rede, inscrições associadas a essa estrutura e uma marcação. A estrutura de rede e a marcação definem a sintaxe de uma rede de Petri. A evolução de suas marcações, segundo uma regra de ocorrência, estabelece a sua semântica. A estrutura de uma rede de Petri pode ser representada por um grafo bipartido direcionado, cujos elementos são dois tipos distintos: lugares e transições. Os lugares são graficamente representados por círculos ou elipses e as transições por retângulos. Uma estrutura de rede de Petri é uma tripla  $N = (P, T, F)$ , na qual:

- $P$  é um conjunto finito de lugares;
- $T$  é um conjunto finito de transições;
- $F \subseteq P \times T \cup T \times P$ ;
- $P \cap T = \emptyset$ .

Na figura 13, apresenta-se uma rede de Petri Lugar/Transição. Nela podem-se observar dois tipos de inscrições: o peso dos arcos e a marcação. O peso dos arcos equivale a um inteiro associado a cada arco direcionado. Na figura, o peso do arco direcionado entre o lugar  $P_3$  e a transição  $T_3$  é 3. Já a marcação equivale ao estado da rede e é representada por elementos associados aos lugares, denominados fichas. As fichas (pequenos círculos pretos), estabelecem a marcação da rede. A formalização para essas inscrições é definida a seguir:

Uma rede de Petri Lugar/Transição é uma tripla  $PN = (N, W, M_0)$ , na qual

- $N$  é uma estrutura de rede de Petri;
- $W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  é uma função de peso;
- $M_0 : P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$  é a marcação inicial.

A função de transições é remover e/ou adicionar fichas e é através de sua ação, denominada ocorrência, que a marcação da rede pode ser alterada.

Um arco orientado de um lugar para uma transição é chamado de arco de entrada e indica que essa transição pode remover, fichas desse lugar. De forma simétrica, um arco orientado de uma transição para um lugar é chamado de arco de saída e indica que essa transição pode adicionar fichas a esse lugar.

Uma transição só pode ocorrer se em cada lugar de entrada, para essa transição, há a quantidade de fichas, pelo menos igual ao peso do arco. Quando isso ocorre, diz-se que a transição está habilitada. Ao ocorrer, uma quantidade de fichas, igual ao peso do arco de entrada, é removida e uma quantidade de fichas, igual ao peso dos arcos de saída, é acrescentada a cada lugar de saída. Para exemplificar o que foi dito, na Figura 14,

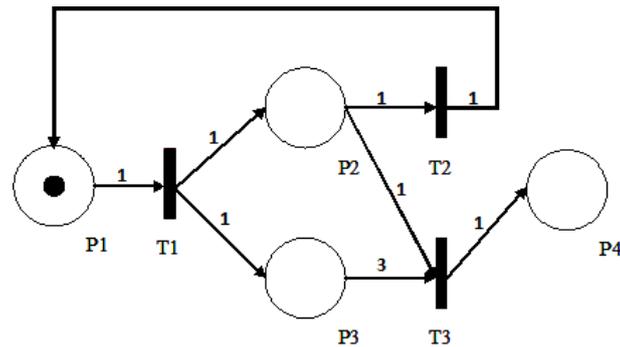


Figura 13 – Rede de Petri Lugar/Transição

Fonte: Adaptado de LEITE et al. (2010)

pode-se observar que é um estado seguinte ao estado da rede da Figura 13, devido a ocorrência da transição T1.

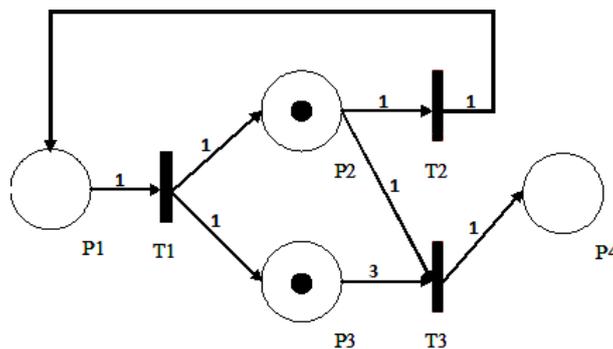


Figura 14 – Rede de Petri Lugar/Transição

Fonte: Adaptado de LEITE et al. (2010)

As redes de Petri permitem a modelagem e a visualização de diversos conceitos e relações, tais como: paralelismo, concorrência, compartilhamento de recursos e sincronização (MURATA, 1989b).

Diversas variantes ao modelo de redes de Petri surgiram devido à necessidade de adaptação destas à especialidade de aplicação, conforme seu funcionamento. A aplicação de redes de Petri para descrever sistemas reais tende a ser complexa e extremamente grande. Além do mais, o modelo básico de redes de Petri não é completo o bastante para estudar o desempenho de certos sistemas, uma vez que nenhuma suposição é feita sobre a duração de suas atividades, isto é, a definição original do modelo não leva em consideração noções quantitativas dos seus aspectos temporais. Para atender essas necessidades, algumas extensões ao modelo original foram propostas.

Quanto à modelagem de sistemas que se constituem de muitos componentes idênticos que interagem de alguma forma, o modelo de redes de Petri lugar/transição

exibe grande redundância. Isso ocorre porque a única maneira de diferenciar dois componentes idênticos é especificar uma estrutura idêntica de sub-rede para cada componente. A principal causa desse problema é que todas as fichas são idênticas, não existindo nenhuma maneira de diferenciá-las entre diversas entidades. Nas extensões às redes de Petri relacionadas com a capacidade de modelagem funcional, as fichas podem ter associadas a elas diferentes tipos de informação.

Com essa extensão, pode-se modelar o componente comum apenas uma vez e associar diferentes fichas para cada componente idêntico. As extensões relacionadas com a capacidade de modelagem funcional conduzem a uma classe de redes de Petri, chamadas de Redes de Petri de Alto Nível. Uma abordagem desse tipo de rede que se destaca são as redes de Petri Coloridas (JENSEN, 1998).

As Redes de Petri Coloridas (CPN) são, provavelmente, as redes de Petri de alto nível que têm despertado o maior interesse. Nas CPN, é possível representar tipos e manipulações de dados complexos. A cada ficha, é associado um valor de dado denominado **cor da ficha**, que pode representar tipos arbitrários de dados complexos como, por exemplo: inteiros, reais, registros, etc.

Uma CPN é composta por três partes distintas: estrutura, declaração e inscrições. A estrutura é formada por lugares, transições e arcos direcionados. As declarações definem conjunto de cores (domínios), variáveis e operações (funções) usadas nas inscrições. As inscrições, por sua vez, podem ser de quatro tipos:

1. Cores dos lugares: determinam a cor associada ao lugar. Um lugar só pode comportar fichas cujos valores sejam do tipo dessa cor;
2. Guardas: são expressões booleanas que restringem a ocorrência das transições;
3. Expressões dos Arcos: servem para manipular as informações contidas nas fichas;
4. Inicializações: associadas aos lugares estabelecem a marcação inicial da rede.

Na Figura 15 ilustra-se uma CPN, tendo como exemplo o jantar dos filósofos. O jantar dos filósofos é um problema clássico de comunicação entre processos, que consiste em três ou cinco filósofos e apenas um garfo posicionado ao lado de cada indivíduo. Cada filósofo deve, alternadamente, comer ou pensar. Para a tarefa de comer, são necessários 2 garfos. Quando o filósofo que estava comendo terminar a tarefa, deve liberar os garfos para seus respectivos locais de origem para que outro possa comer. Como pode ser observado Figura, as declarações estão expressas no retângulo na parte superior da Figura 15b. Os textos próximos aos lugares, em itálico, indicam suas cores e as expressões; do lado esquerdo dos lugares, suas inicializações. As expressões dos arcos são os textos localizados próximo aos arcos direcionados.

Uma rede de Petri Lugar/Transição pode ser transformada em uma CPN, isso consiste fundamentalmente na substituição de conjuntos de lugares idênticos por um

só lugar, contendo o tipo da cor associado. Esses tipos são representados por fichas que permitem a representação de cada um desses lugares através de valores distintos. Essa fusão de lugares obriga necessariamente uma fusão de respectivos arcos. Esta é conseguida através das expressões dos arcos que permitem determinar quais fichas remover ou adicionar aos lugares. Isso pode ser visto na Figura 15b, através da função  $ant()$ , onde essa função determina qual número inteiro deve ser removido do lugar Garfo. É importante salientar que a redução de complexidade resultante através da utilização da CPN será tanto mais significativa, quanto maior for a quantidade de lugares idênticos.

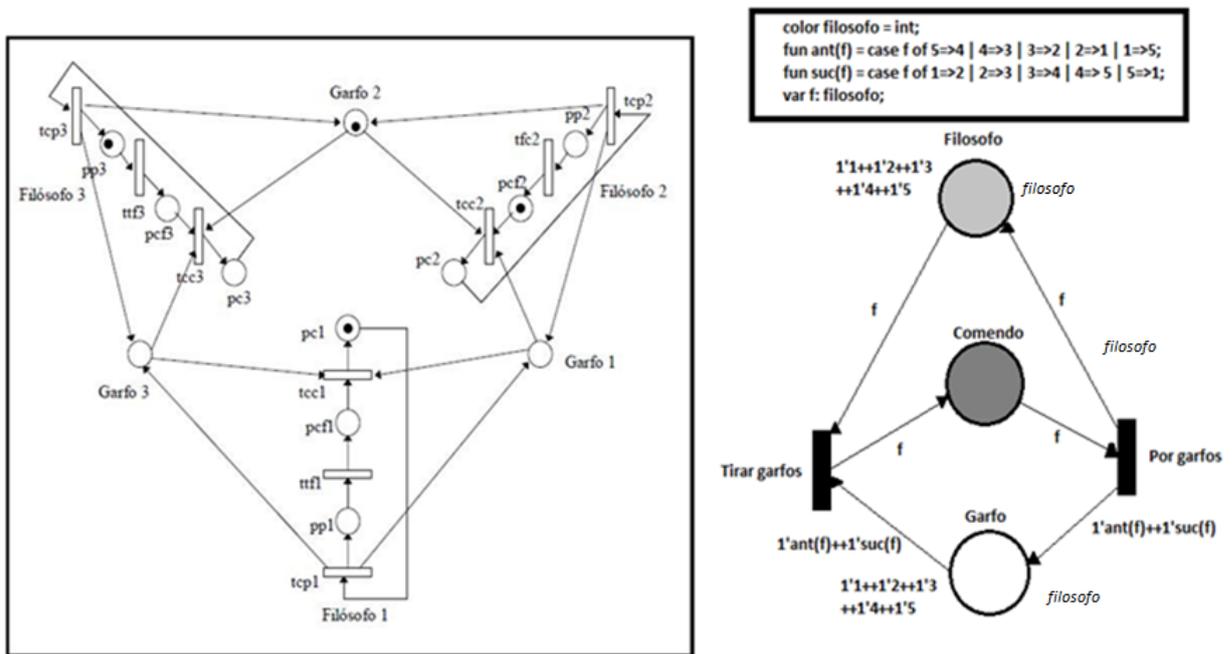


Figura 15 – (a) Rede de Petri Lugar/Transição; (b) Rede de Petri Colorida correspondente.

Fonte: Adaptado de Neto (2001)

Em muitas aplicações, as redes de Petri são utilizadas para investigar apenas aspectos relacionados às restrições lógicas. Isso devido à caracterização das propriedades temporais de um sistema não serem possíveis de haver representação, isto é, podem-se representar apenas as propriedades qualitativas. Para isso, algumas extensões de redes de Petri foram desenvolvidas possibilitando investigar aspectos relacionados à representação de propriedades quantitativas com relação ao tempo. Tais aspectos podem ser relacionados às medidas de natureza determinística como, por exemplo, a investigação do tempo máximo utilizado para a execução de certas atividades. Essas extensões utilizam basicamente dois tipos de abordagem: determinística (BESTUZHEVA; RUDNEV, 1990),(MURATA, 1989a) e estocástica (HAAS; SHELDER, 1986).

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo é apresentado o estado da arte sobre pesquisas atuais relacionadas ao objeto de estudo. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas no contexto de diminuição de problemas, tanto com resíduos hospitalares como resíduos comuns. Os trabalhos apresentados a seguir apresentam soluções no contexto de monitoramento automatizado na área da saúde, segurança, gestão de resíduos e otimização de rotas.

Em Jiao, Zhen e Jiao (2008) foi proposto um sistema automatizado de monitoramento de roupas e coberturas de camas hospitalares para o processo de limpeza e reutilização para os pacientes. A ideia aborda a instalação de etiquetas de controle nas roupas, com isso, o material passaria a ser monitorado quando encaminhado para a lavagem, desde o transporte interno através dos carrinhos hospitalares, até o transporte externo da terceirizada responsável pela lavagem. Após o processo de limpeza, as roupas retornam ao hospital e são encaminhadas novamente para utilização dos pacientes. A Figura 16 ilustra a visão geral do processo com a automação. O trabalho proporcionaria uma melhora no processo de forma geral, além de diminuir o encargo humano com supervisões e garantir a segurança do material e dos pacientes que passariam a ter garantia de que estariam utilizando material limpo. Para validar o trabalho, foi realizada a simulação através do software Arena e o resultado apontou uma melhora significativa do processo com automação.

Em Lakshmi, Refonaa e Vivek (2015), é abordado um problema semelhante ao tratado neste trabalho, os autores destacam os riscos e as consequências que lixo hospitalar pode causar se descartado de maneira incorreta no ambiente externo ao hospital. Para isso, é proposto o desenvolvimento de um sistema que monitora, por meio de GPS, o percurso do lixo quando é coletado do hospital e transportado para a instalação de reciclagem. Todo o processo pode ser acompanhado por meio de um aplicativo de dispositivo móvel. O trabalho se dividiu em algumas etapas, que se inicia através da realização do login de acesso ao sistema; logo em seguida, é feita a obtenção das informações do lixo durante a coleta, ou seja, nessa etapa os funcionários responsáveis pela limpeza do hospital, através do aplicativo, realizam a obtenção de informações do lixo, tais como: o nome da sala do hospital no qual aquele determinado lixo foi coletado; o id da embalagem do lixo; a classificação do lixo infectante e quantidade de quilo de lixo produzido. Após a etapa de obtenção de dados, é feito o transporte do lixo para a sala de despacho, onde será colocado o material nos caminhões, nesse momento, são salvas as informações do id do caminhão, o id da embalagem do lixo e o peso da embalagem. E a última etapa: a fase de transporte e monitoramento através do GPS.

Foram apresentados alguns trabalhos futuros, entre eles, foi destacado a futura implementação do algoritmo de Dijkstra para geração de rota, visando otimizar o



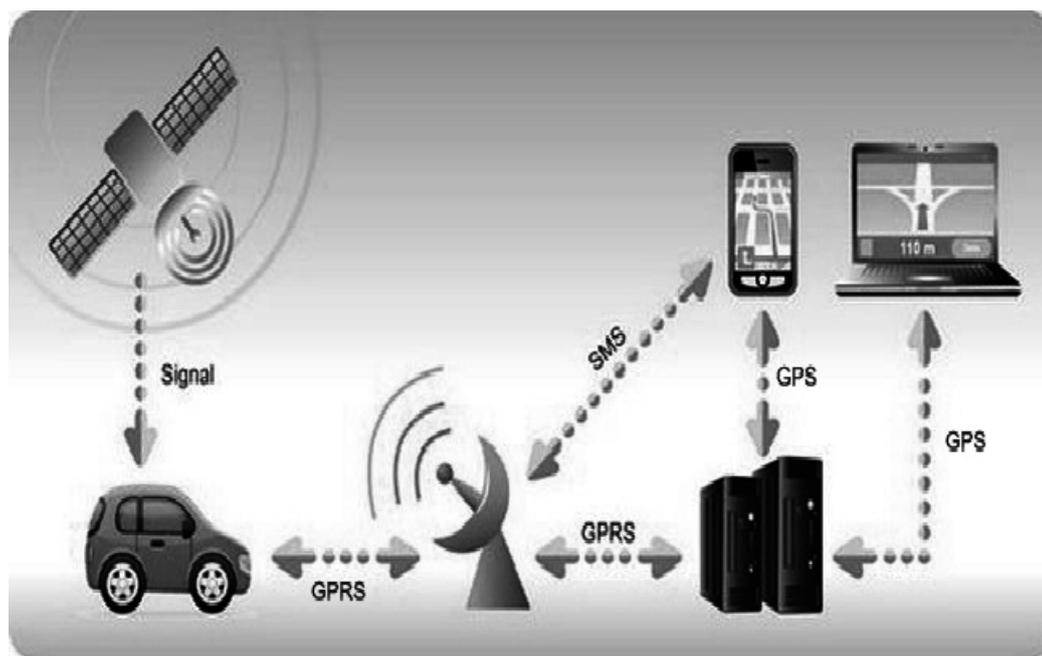


Figura 17 – Sistema de monitoramento do lixo hospitalar.

Fonte: (LAKSHMI; REFONAA; VIVEK, 2015)

Sem Fio (RSSF) como equipamento de monitoração, na sala de armazenamento. Os testes apontaram uma confiabilidade de 99,5%, destacando a relevância de um sistema automatizado para monitorar um ambiente de alto risco.

Arebey, Hannan e A. (2010) apresenta uma solução para o problema da falta de coleta de lixo nas ruas, dentre as diversas dificuldades o autor destacou: falta de informação sobre o tempo de coleta e área; falta de sistema adequado para monitorar os caminhões e lixeiras que foram coletadas; não há estimativa para a quantidade de resíduos sólidos no interior da lixeira e da área circundante devido à dispersão dos resíduos; não há nenhuma resposta rápida a casos urgentes como acidente de caminhão, falha, etc; não há nenhuma maneira rápida de resposta às reclamações do cliente sobre resíduos não coletados. Dessa maneira, foi desenvolvido um sistema de monitoramento com RFID, GPS e uma câmera de baixo custo, o RFID para identificação das lixeiras, o GPS para monitoramento e a câmera para verificação da quantidade de lixo antes da coleta e depois da coleta, para garantir que o lixo foi coletado. Além desses fatores, o sistema proporciona informações como tempo gasto de ir para um local a outro de coleta, acompanhamento em tempo real através do número de série e localização da lata de lixo. E como possui uma plataforma web, o software fornece suporte aos clientes para acompanhamento do trabalho e, em casos de reclamações, rápida resolução do problema. A função de verificar a quantidade de lixo se dá a partir da obtenção de duas fotos, uma antes da coleta e uma depois da coleta, e então é realizado o processamento digital das imagens e verificado se realmente houve a coleta. O sistema toma como base 4 estados de capacidade são eles: vazio; com lixo; cheio; transbordado.

O sistema melhorou o desempenho do processo, como serviço de localização em tempo real, a estimativa da quantidade de resíduos sólidos, e resposta rápida a reclamações de clientes, além de que, a implementação do sistema com interface gráfica do usuário pode contribuir para fornecer dados sobre os caminhões e o lixo, possibilitando uma criação de logística, com base nos locais onde apontam ter maior demanda do que outros. A Figura 18 (a) apresenta os quatro estados do volume do lixo e (b) o sistema em funcionamento realizando o processamento digital de imagem para verificar a quantidade de lixo da lixeira.

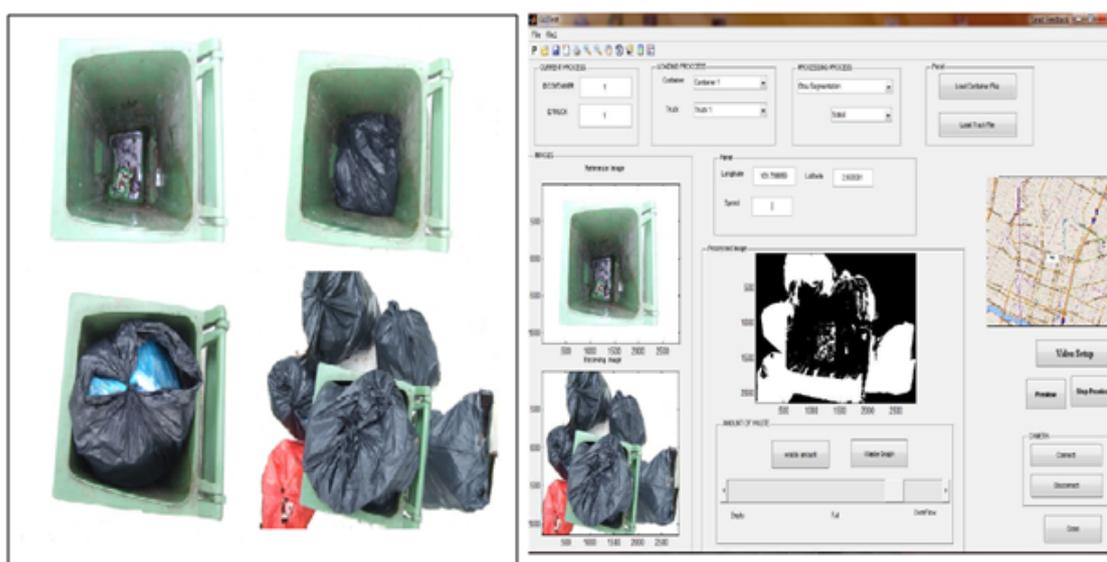


Figura 18 – (a) Quatro estados de volume de lixo (b) Cálculo da quantidade de lixo sólido através de processamento de imagens.

Fonte: (AREBEY; HANNAN; A., 2010)

Em Purohit e Bothale (2011) foi apresentado um sistema de monitoramento de coleta de lixo comum das ruas. O modelo proposto, conforme mostrado na Figura 19, consiste de cada caminhão do lixo equipado com um leitor de RFID, GPS e cada recipiente equipado com etiqueta RFID tendo o código de identificação único. Quando o recipiente é carregado para o caminhão, o leitor lê número de série da etiqueta no recipiente e, ao mesmo tempo, um receptor GPS no caminhão calcula a localização a partir dos dados de satélite. O número de série, a marca, local, data e hora, são transmitidos em tempo real através da rede GSM para o *gateway* de comunicação do servidor de controle. A informação em tempo real pode ser acompanhada pelos clientes através de uma solução baseada na web. O sistema é uma solução robusta para os problemas existentes no atual sistema de coleta de lixo, fornecendo os seguintes resultados: 100% de mapeamento de localização de lixeiras nos mapas; estatísticas sobre o peso dos resíduos produzidos; relatórios sobre a quantidade diária, semanal ou anual de resíduos produzidos para cada ponto geográfico de interesse e desempenho de

veículos; mapas digitais atualizados de localização de caixotes de lixo e capacidade; horários indicados nas rotas e os tempos de coleta de resíduos.

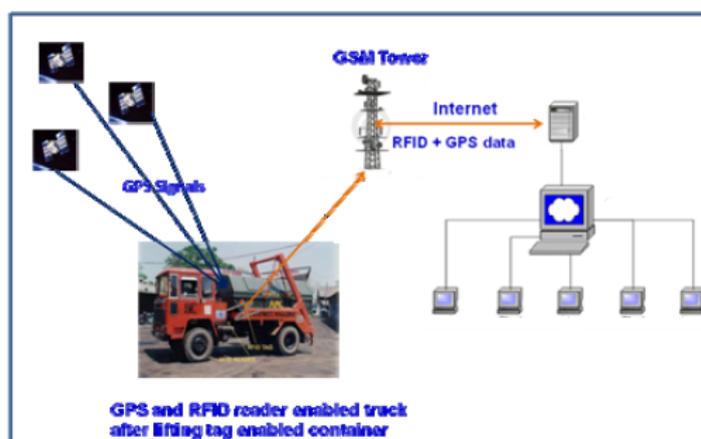


Figura 19 – Modelo do sistema de monitoramento de caminhões.

Fonte: (PUROHIT; BOTHALE, 2011)

O problema de coleta de lixo tornou-se cada vez mais abordado. Recentemente, em Ali, Alam e Rahaman (2012), foi apresentado um trabalho basicamente com as mesmas características do trabalho citado anteriormente de Purohit e Bothale (2011), com a utilização de RFID para identificação das lixeiras nas ruas, GPS para rastreamento do veículo e acompanhamento em tempo real, sistema web para os clientes acompanharem o trabalho e notificações das coletas realizadas através de mensagens Short Message Service (SMS). Na tabela 1 é apresentado um quadro de testes do sistema, com as informações de número de identificação da lixeira (Waste Bin), número da tag (Tag No), data de coleta (Collection Date and Time), status e a mensagem SMS.

Tabela 1 – Tabela de testes realizados.

Sl. No.	Waste Bin	Tag No.	Collec. Date and time	Status	SMS Rcv. Time
1	B-1	0007C2AB4E	4/2/2012-11:45AM	OK	4/2/2012-11:45AM
2	B-2	0008231DF6	4/4/2012-1:32PM	OK	4/4/2012-1:32PM
3	B-3	0008AC002E	4/6/2012-2:47PM	OK	4/6/2012-2:47PM
4	B-4	0008ACF840	4/7/2012-3:55PM	OK	4/7/2012-3:55PM
5	B-5	0008ACF014	4/7/2012-3:20PM	OK	4/7/2012-3:20PM

Em Jorge e Vicente (2009) é apresentada uma solução para o roteamento de carrinhos de transporte de lixo dentro do hospital, desde sua coleta até a disposição no armazenamento externo, que também foi um dos problemas que este trabalho abordou. Para atingir seu objetivo, o autor levou em consideração quantidade de locais de coleta e volume gerados em cada um destes pontos, a quantidade de veículos disponíveis para solucionar o problema e a capacidade de cada transporte, além disso, a definição do tempo gasto em cada ponto de coleta também foi fundamental. Diante

disso, foi desenvolvido o software ROUTER para simular as rotas diárias de transporte e apresentar um percurso otimizado.

Jingwei e Zujun (2010) desenvolveu um sistema para roteamento da coleta e descarte do lixo hospitalar, o trabalho aborda o problema da falta de tratamento e descarte inadequado desses resíduos nas ruas, gerando inúmeras consequências, como poluição e doenças. Dessa forma, o autor utilizou lógica fuzzy e algoritmos de roteamento para controlar o transporte de veículos de lixo partindo do ponto de coleta até o ponto de descarte do lixo. Os resultados mostram que a otimização integrada é útil para melhorar a eficiência de gestão e reduzir o risco de contaminações durante o processo de transporte e reciclagem de resíduos hospitalares infectantes.

A tabela 2 representa um comparativo entre as principais características abordadas por este trabalho e os demais trabalhos apresentados neste capítulo.

Tabela 2 – Comparativo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto nesse documento.

	Automação Hospitalar	Otimização de rota	Inteligência	Monitoramento
Jiao, Zhen e Jiao (2008)	★			★
Lakshmi, Refonaa e Vivek (2015)	★			★
Ng et al. (2014)	★			★
Arebey, Hannan e A. (2010)			★	★
Purohit e Bothale (2011)		★		★
Ali, Alam e Rahaman (2012)		★		★
Jorge e Vicente (2009)		★		
Jingwei e Zujun (2010)		★		
Este trabalho	★	★	★	★

## 4 SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE ROTA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE COLETA E DESCARTE DO LIXO HOSPITALAR

### 4.1 VISÃO GERAL

Diante da problemática apresentada anteriormente, sobre dificuldades envolvendo resíduos dos serviços de saúde e a carência de tecnologia nesse contexto, é visível a necessidade de um sistema automatizado para minimizar os danos causados pela falta de fiscalização no controle de lixo hospitalar. Assim, o objetivo geral deste trabalho, como já citado anteriormente, é desenvolver um sistema de roteamento e monitoramento dos resíduos hospitalares para o processo de coleta e transporte, prevenindo possíveis infecções através de contatos indesejados com lixo infectado. É importante enfatizar que o sistema desenvolvido pode ser aplicado com as devidas adaptações a qualquer ambiente semelhante ao abordado neste trabalho como, por exemplo, indústrias químicas, empresas que trabalham com produtos radioativos, entre outros.

O sistema utiliza um sensor que monitora a quantidade de resíduos dentro da lixeira que, ao perceber que o recipiente está próximo da sua capacidade máxima, envia uma notificação para um servidor que será utilizado por um profissional do hospital responsável pelo setor. Essa ação é realizada através de um agente reativo simples, no qual seu PEAS se dá:

- Desempenho: Minimizar riscos de transbordar resíduos infectantes, segurança para os pacientes e minimização de trabalho;
- Ambiente: Hospital, salas de lixo e lixeiras;
- Atuadores: Exibir na tela alerta de volume crítico;
- Sensores: Sensores de distância.

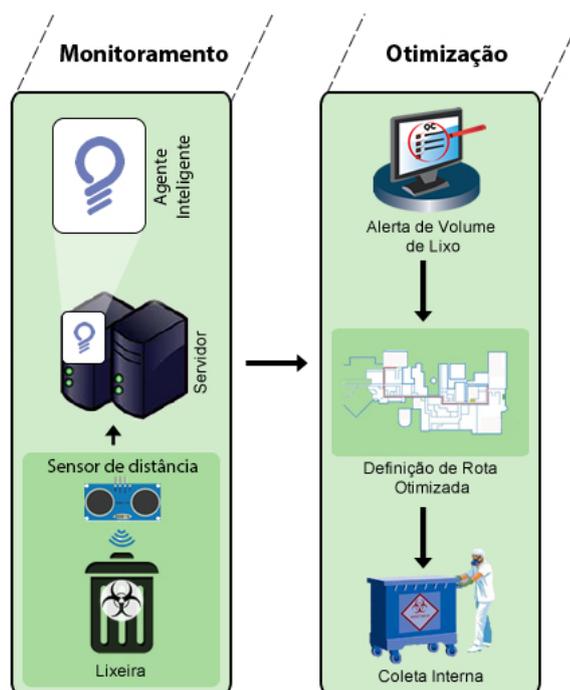


Figura 20 – Visão geral do sistema

A figura 20 apresenta a abstração da visão geral do sistema. Como já explicado, através do agente interno do sistema que atuará por meio do sensor de distância, o sistema fica monitorando a quantidade de resíduos no interior das lixeiras. No momento em se inicia o horário de coleta, o software seleciona as lixeiras que estão com capacidade acima de 50% e adiciona na lista de salas para serem percorridas, e então a rota de coleta é gerada e exibida ao usuário. Caso a quantidade de lixo atinja um determinado limite de risco antes do horário de coleta diária, o agente imediatamente percebe a situação e notifica o profissional do hospital responsável, para o mesmo orientar outro funcionário para realizar a coleta do lixo e transportar para a sala de armazenamento externo. Vale salientar que a rota de transporte interno é otimizada, visando percorrer o menor caminho entre o ponto inicial e o depósito, evitando passar próximo a locais em que se encontram pessoas mais debilitadas como, por exemplo, UTIs, salas de internações, entre outros, para prevenir qualquer tipo de contato e possível infecção.

#### 4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Como hardware foi utilizada a placa Arduino Uno. A placa conta com o microcontrolador programado ATmega8U2 como um conversor *Universal Serial Bus* (USB) para Serial. A grande vantagem do ATmega8U2 é que ele pode ser reprogramado para fazer o Arduino se parecer com outro dispositivo USB (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013). Juntamente com a placa Arduino, foi integrado um sensor infravermelho na parte interna da tampa para capturar a distância entra a cobertura e o fundo da lixeira, e,

dessa forma, determinar a porcentagem de resíduos dentro daquele recipiente. Para isso, foi definido um intervalo de leitura de 3 segundos para o sensor não permanecer com leitura contínua e registrando dados desnecessários. Para ser validada a informação do percentual de lixo, o sensor necessita realizar a análise 5 vezes consecutivas da distância para evitar que sejam registrados dados equivocados como, por exemplo, no momento em que o funcionário deposita ou coleta o lixo, a tampa e o sensor ficam posicionados para cima e capturam dados que não condizem com a leitura da quantidade de resíduos.

A lixeira utilizada é do mesmo modelo utilizado na maioria dos hospitais, uma Polietileno de alta densidade com as dimensões de comprimento, largura e altura: 40x50x70cm. A Figura 21 ilustra o modelo integrado do sensor com a lixeira que foi utilizado para o desenvolvimento do trabalho.



Figura 21 – (a) Simulação de lixeira vazia/(b) Simulação de lixeira com resíduos

Para o desenvolvimento da rede foi utilizada a ferramenta CPNTools, que é um software para edição, simulação e análise de redes de Petri coloridas. A ferramenta possui verificação de sintaxe incrementais e geração de código, que acontecem enquanto uma rede está sendo construída. Espaços de estado integrais e parciais podem ser gerados e analisados, e um relatório de espaço de estados padrão contém informações (CPNGROUP, 2015).

#### 4.3 PROCESSO DE MONITORAMENTO ATRAVÉS DE REDE DE PETRI

Como o sistema não pode ser testado na prática, foi desenvolvida uma rede de Petri referente ao processo de monitoramento de resíduos nas lixeiras, com a finalidade

de validar o desempenho do sistema, como foi descrita na seção 2.4.

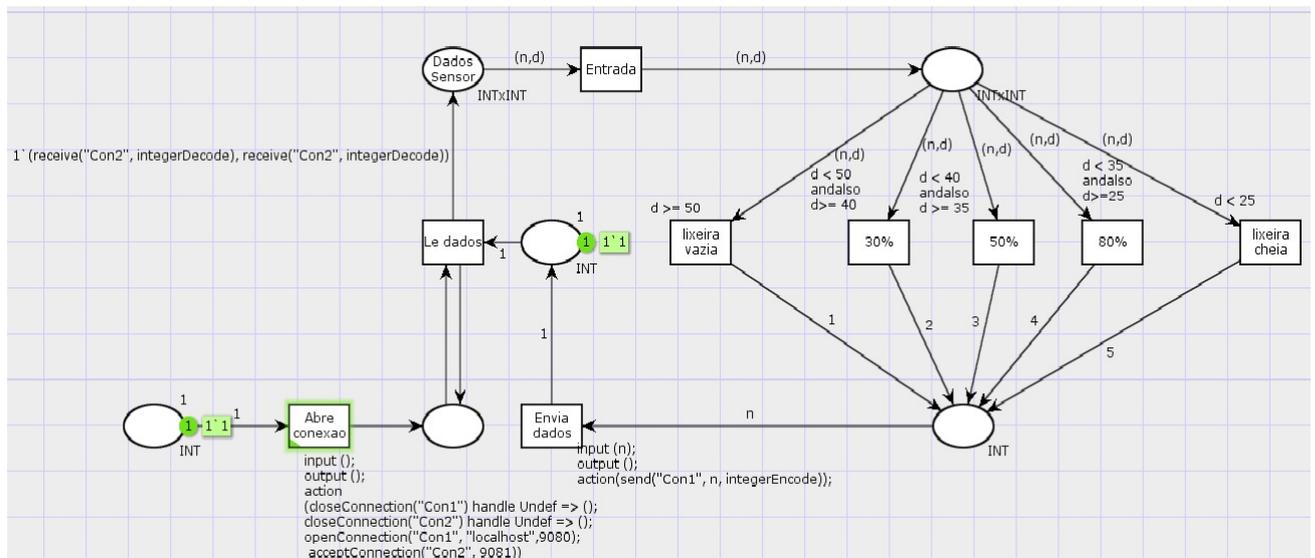


Figura 22 – Rede de Petri colorida da simulação do processo de monitoramento

Como é possível ser observado na Figura 22, a rede de Petri se inicia com uma ficha, onde a mesma é consumida na transição **Abre conexão**, estabelecendo a comunicação da rede com aplicação; em seguida, a própria aplicação coleta a informação proveniente do sensor e transmite para a rede através da transição **Le dados**. A ficha de entrada é consumida a partir do dado de distância recebida na transição **Entrada** e, posteriormente, com base no valor da ficha e do peso do arco (distância em cm), a rede consumirá a ficha e ativará a transição correspondente com o intervalo dos cinco estados de porcentagens. Por fim, a rede realiza uma nova leitura dos dados do sensor, realimentando, assim, sua entrada de dados e iniciando mais um ciclo na rede.

#### 4.4 FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

Foi desenvolvido o sistema para testes, utilizando como modelo um hospital da cidade de Mossoró. Ao iniciar o software, o profissional deve fazer login para poder acessar as funções do sistema. Se confirmado o acesso, é garantido ao funcionário o menu principal com as seguintes opções: Monitoramento do volume de lixo e Cadastros, conforme ilustrado na Figura 27.

Com a opção “Cadastrar” o administrador pode fazer o registro dos funcionários responsáveis pelo setor de CCIH. As informações coletadas nesta etapa, voltadas para identificação do profissional, são: Nome, CPF, Senha, Confirme a senha. Ao final da tela de cadastro, há um botão para “Salvar”, que, ao ser pressionado, envia as informações e redireciona o profissional à tela principal (27) e outro botão “Buscar” caso seja necessário buscar alguém já cadastrado. A tela de cadastro está ilustrada na Figura 23.

Após o botão “Buscar” ser pressionado, é exibida uma tela com todos os cadastrados, com seus nomes e CPFs, e um botão com um símbolo de uma lupa, para selecionar o cadastro desejado, conforme visualizado na Figura 24.

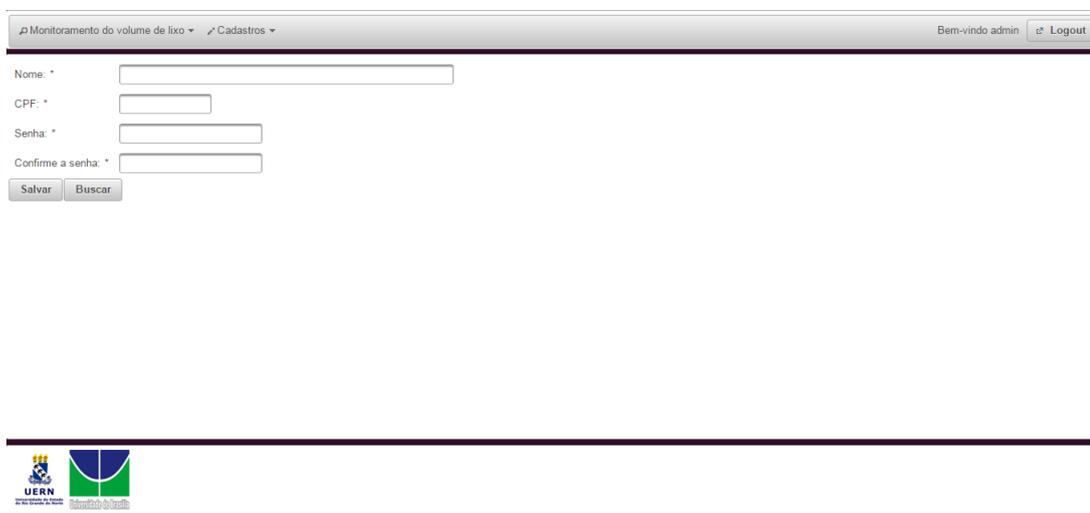


Figura 23 – Tela de cadastros de funcionários/usuários

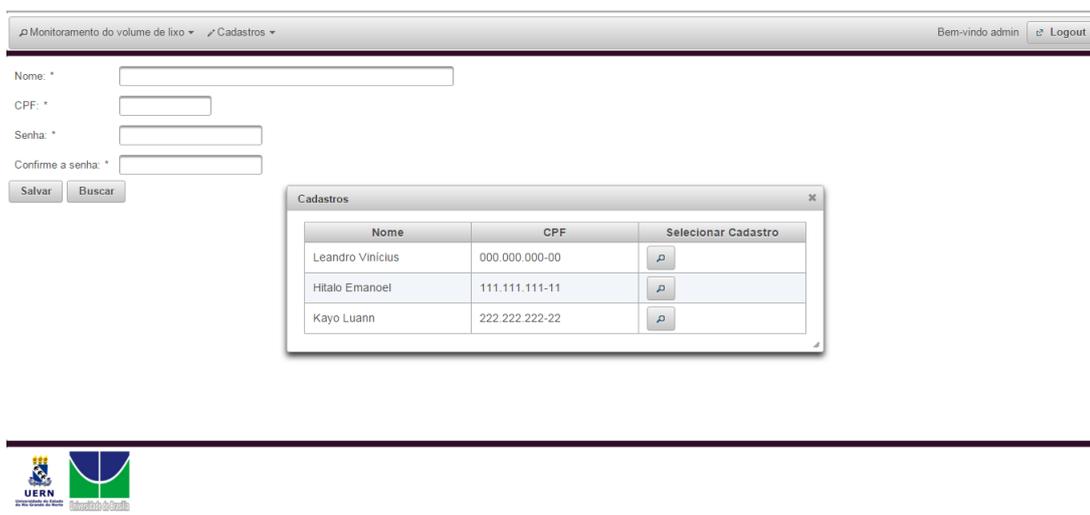


Figura 24 – Tela de busca de cadastros

Ao selecionar um cadastro, o sistema redireciona para a tela de visualização onde o usuário pode ter acesso ao cadastro escolhido, conforme exibido na Figura 25. Ao final dessa tela, há três botões, são eles: “Alterar”, “Deletar” e “Sair”. Como o próprio nome descreve, o botão “Alterar” permite que o usuário altere o cadastro que foi selecionado. O sistema redireciona para uma tela com as informações preenchidas de acordo com os antigos dados, mas com possibilidade de alterações, como pode ser observado na Figura 26. Os demais botões como os nomes sugerem (“Deletar” e “Sair”), realizam, respectivamente, a exclusão do cadastro e a saída para a tela principal.

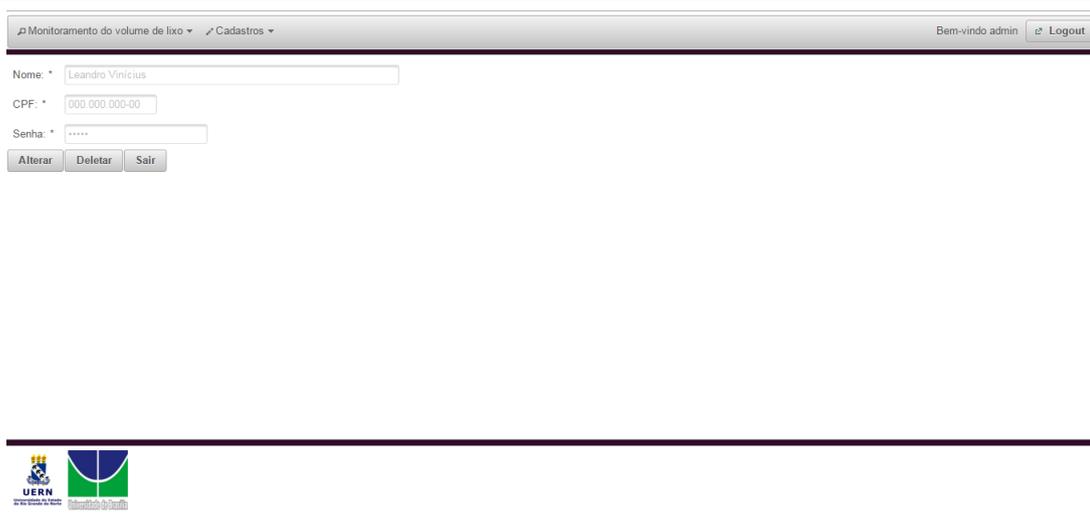


Figura 25 – Tela de cadastro selecionado

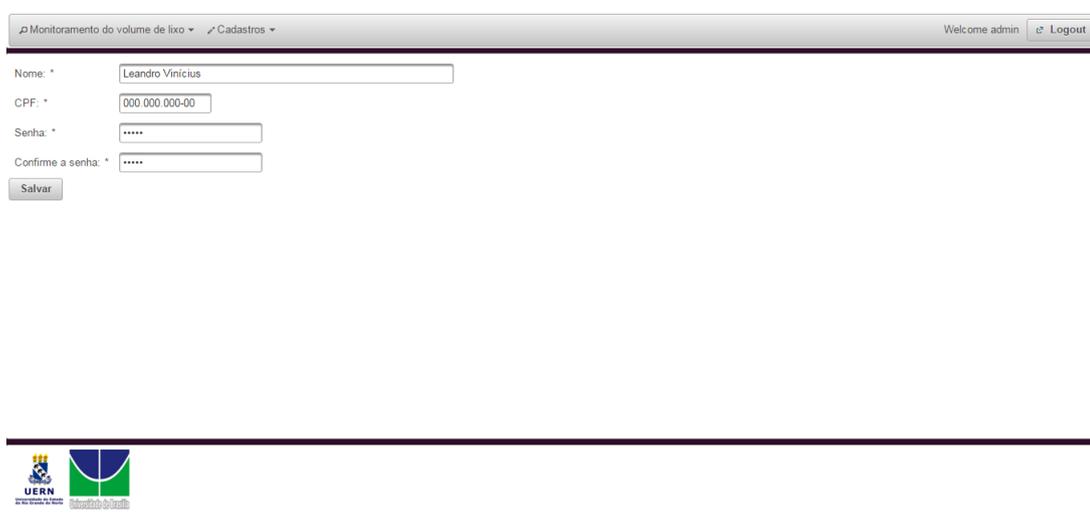


Figura 26 – Tela de alteração de cadastro

#### 4.5 MONITORAMENTO

A tela de monitoramento (Figura 27) é a tela principal do sistema e onde se encontra a maior contribuição deste trabalho, juntamente com as telas de otimização de rotas que serão abordadas na subseção 4.6.

É possível observar na tela a existência de três abas, em que se encontra selecionada a aba de “Monitoramento da quantidade de lixo”, que, por sua vez, possui um submenu de visualização em forma de grade, expondo uma lista de todas as lixeiras referentes a cada sala do hospital, que contêm resíduos infectantes. Através das imagens de percentual de volume das lixeiras, o usuário consegue acompanhar em tempo real a quantidade de lixo das mesmas. Se alguma lixeira alcançar o volume igual ou superior a 80%, o agente inteligente entra em ação e notifica através de uma mensagem de alerta a existência de lixeiras que se encontram em situação de volume crítico, tal

mensagem é representada por uma frase na cor vermelha, localizada na parte superior do submenu (se não houver nenhuma lixeira com percentual de volume considerado crítico, a mensagem de alerta não é exibida).

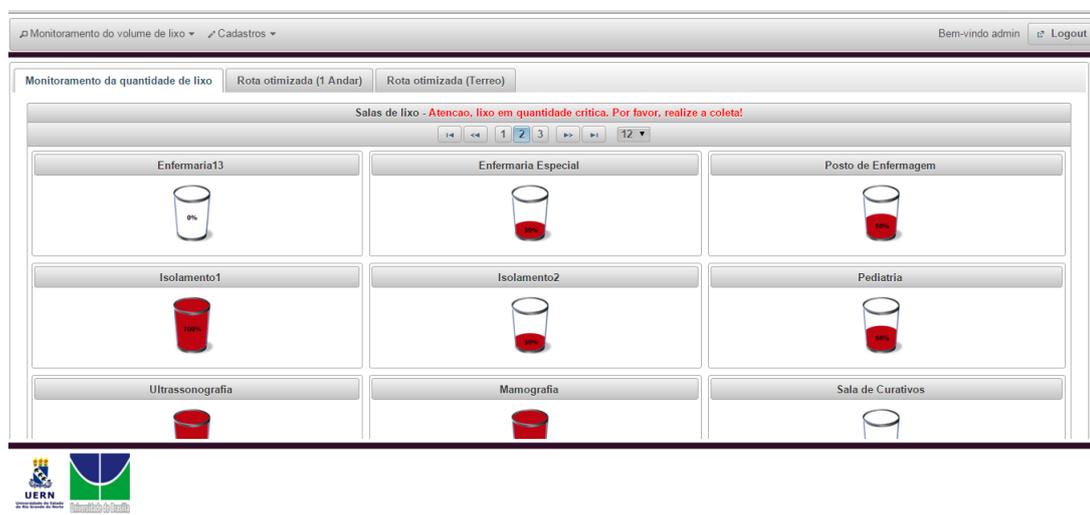


Figura 27 – Tela principal/monitoramento das lixeiras das salas

A tabela 3 representa um comparativo entre o modelo atual monitoramento e o modelo apresentado neste trabalho, destacando as principais melhorias que o sistema proporciona. Dentre os pontos comparados estão: Precisão, Custo, Tempo e percepção, Minimização de riscos, Visualização remota de todas as lixeiras e Automação.

Tabela 3 – Comparativo entre o modelo tradicional de monitoramento e o apresentado neste trabalho

VARIÁVEIS	MODELO TRADICIONAL	ESTE TRABALHO
Precisão	Vazia/metade/cheia	0%/30%/50%/80%/100%
Custo	Horas de trabalho para cada funcionário	Aquisição do equipamento
Tempo e Percepção	Tempo de deslocamento do funcionário para cada sala	2 segundos
Minimização de riscos	Não	Sim
Visualização remota de todas as lixeiras	Não	Sim
Automação	Não	Sim

São notórias as vantagens que o sistema possui se comparado com o modelo tradicional. A **precisão** da quantidade de lixo dentro da lixeira do modelo atual é determinada pela intuição do funcionário, que não possui nenhum equipamento de medição, ficando limitado a deduzir se o volume está vazio, na metade ou cheio. Em contrapartida, o sistema possui uma percepção precisa que, dependendo da informação analisada pelo sensor, a resposta pode ser de 0%, 30%, 50%, 80% e 100%. O **custo**, como o próprio nome sugere, está relacionado com o valor de investimento em cada caso. No modelo atual, o custo se dá pela quantidade de funcionários, consequentemente, seus encargos trabalhistas e horas de trabalho. Tomando como base a equipe de funcionários de limpeza do hospital utilizado como estudo de caso, que são 4 profissionais, cada um ganhando um salário mínimo de 880 reais, ou seja, tem-se 3.520 mensais e 42.240 reais

anuais somente com salários. Já no modelo deste trabalho, ainda continuará a ter funcionários, mas com as novas funções possibilitadas pelo sistema, o número de funcionários poderia ser reduzido ou redirecionado para outros setores. Os valores investidos para compra de equipamento e instalação em cada lixeira podem ser considerados altos, porém, só seria necessário um investimento inicial e manutenções básicas. Por exemplo, considerando um sensor de 60 reais para cada lixeira de cada sala do hospital, tomando como base o mesmo modelo de estudo de caso com 34 salas, tem-se 2.040 reais mensal de custo inicial; e, levando em consideração que o tempo de vida de cada aparelho é de em média 3 anos, ou seja, a máximo de gastos seriam com manutenções quando necessárias e renovação do equipamento a cada 3 anos. **Tempo e percepção** do primeiro modelo é dado pelo deslocamento do funcionário para cada sala e verificação de cada lixeira respectivamente, o modelo proposto monitora e atualiza o volume de cada lixeira a cada 2 segundos, economizando tempo e trabalho. Diante das funcionalidades do sistema proposto, consequentemente, há uma **minimização de riscos** em comparação ao modelo atual. Em razão do monitoramento constante e avisos de alertas, é evidente a redução dos riscos de a lixeira transbordar e a ocorrência de contato indevido com o lixo infectante, uma vez que, no modelo tradicional, o funcionário não tem como perceber que uma lixeira irá transbordar até que a situação ocorra. Através da tela de monitoramento do sistema, é possível obter a **visualização remota de todas as lixeiras**, diferentemente do outro modelo, que é inevitável o deslocamento para cada sala. E diante de todos esses fatores, é notório que o modelo proposto é uma **automação** para o método atual de monitoramento e roteamento do processo de descarte do lixo infectante.

A Figura 28 representa um teste de desempenho e confiabilidade dos dados adquiridos a partir da leitura do sensor de distância, realizado com a execução em paralela da rede de Petri apresentada anteriormente (22). A simulação colocou em prova os limites de distância entre cada categoria de volume (0%/30%/50%/80%/100%). A marcação da distância e o estado referente àquela marcação seguiu fielmente o modelo proposto, com as primeiras iterações marcando acima de 50 cm e marcando o primeiro estado corretamente (0%/lixreira vazia) e assim sucessivamente para os estados posteriores com marcações: menor que 50 e maior ou igual a 40 cm (30%); menor que 40 e maior ou igual a 35 cm (50%); menor que 35 e maior ou igual a 25 cm (80%) e menor que 25 (100%/lixreira cheia). Nenhum estado foi marcado de forma errônea com base nas leituras apresentadas pelo sensor, validando, assim, a confiabilidade do equipamento e, consequentemente, do modelo proposto em geral.

<b>Iterações</b>	<b>Distância (cm)</b>	<b>Estado</b>
<b>1</b>	<b>52,78</b>	<b>0% (lixeira vazia)</b>
<b>2</b>	<b>50,35</b>	<b>0% (lixeira vazia)</b>
<b>3</b>	<b>49,43</b>	<b>30%</b>
<b>4</b>	<b>49,21</b>	<b>30%</b>
<b>5</b>	<b>47,69</b>	<b>30%</b>
<b>6</b>	<b>44,17</b>	<b>30%</b>
<b>7</b>	<b>41,75</b>	<b>30%</b>
<b>8</b>	<b>41,43</b>	<b>30%</b>
<b>9</b>	<b>38,14</b>	<b>50%</b>
<b>10</b>	<b>36,81</b>	<b>50%</b>
<b>11</b>	<b>36,75</b>	<b>50%</b>
<b>12</b>	<b>35,68</b>	<b>50%</b>
<b>13</b>	<b>33,61</b>	<b>80%</b>
<b>14</b>	<b>30,17</b>	<b>80%</b>
<b>15</b>	<b>29,14</b>	<b>80%</b>
<b>16</b>	<b>28,02</b>	<b>80%</b>
<b>17</b>	<b>27,63</b>	<b>80%</b>
<b>18</b>	<b>23,39</b>	<b>100% (lixeira cheia)</b>
<b>19</b>	<b>22,85</b>	<b>100% (lixeira cheia)</b>
<b>20</b>	<b>22,84</b>	<b>100% (lixeira cheia)</b>

Figura 28 – Análise de desempenho e confiabilidade dos dados adquiridos a partir da leitura capturada pelo sensor de distância.

#### 4.6 OTIMIZAÇÃO DA ROTA

Na tela principal do sistema, as duas abas de otimização são referentes ao modelo de estudo de caso do hospital mencionado. “Rota otimizada (1 andar)” e “Rota otimizada (Terreo)”, como os próprios nomes sugerem, são referentes às rotas de coleta do primeiro andar e do térreo do hospital, respectivamente. Para realizar a execução do algoritmo, foi necessário “transformar” o caminho real do hospital para uma forma de interpretação computacional, nesse caso, o grafo. No qual os vértices representam as salas e as arestas representam as distâncias entre cada sala.

Nas Figuras 29 e 30, o usuário consegue visualizar o grafo do hospital, onde as salas são representadas por números e, na parte superior, encontra-se uma legenda descrevendo o significado de cada número. Através dos botões “Gerar Rota” e “Visualizar Rota”, localizados no final da tela, o mesmo consegue observar um novo grafo gerado com a rota de coleta em destaque na cor vermelha. A lista com as lixeiras que precisam

ser coletadas e a sequência dessa coleta é gerada, podendo ser observada no canto direito da tela em destaque “Lixeiras a serem coletadas” e “Rota de coleta”, de modo respectivo. Não foi possível expor os grafos por completo nas telas do sistema, devido às grandes dimensões das mesmas, por essa razão, as imagens estão disponíveis no Apêndice deste documento.

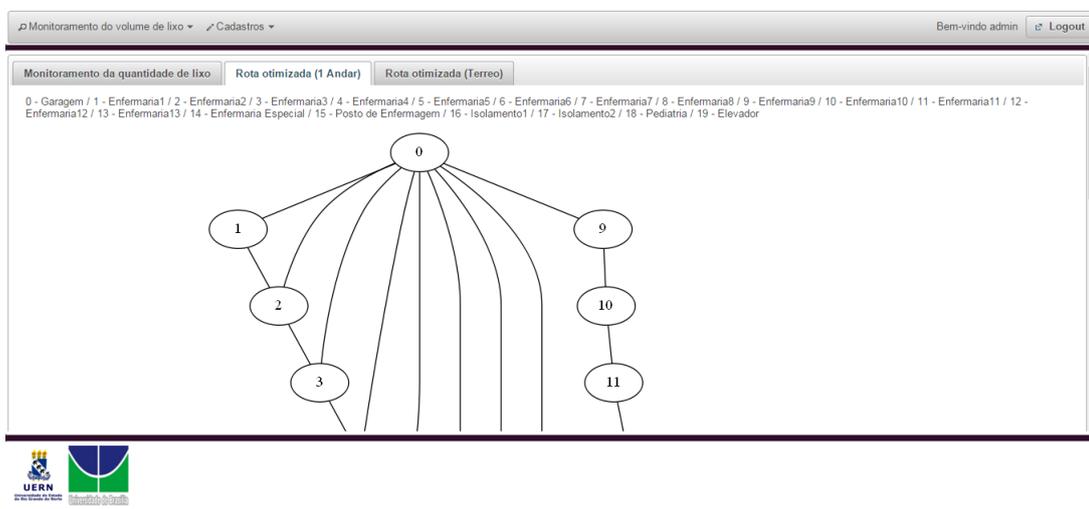


Figura 29 – Rota otimizada do primeiro andar

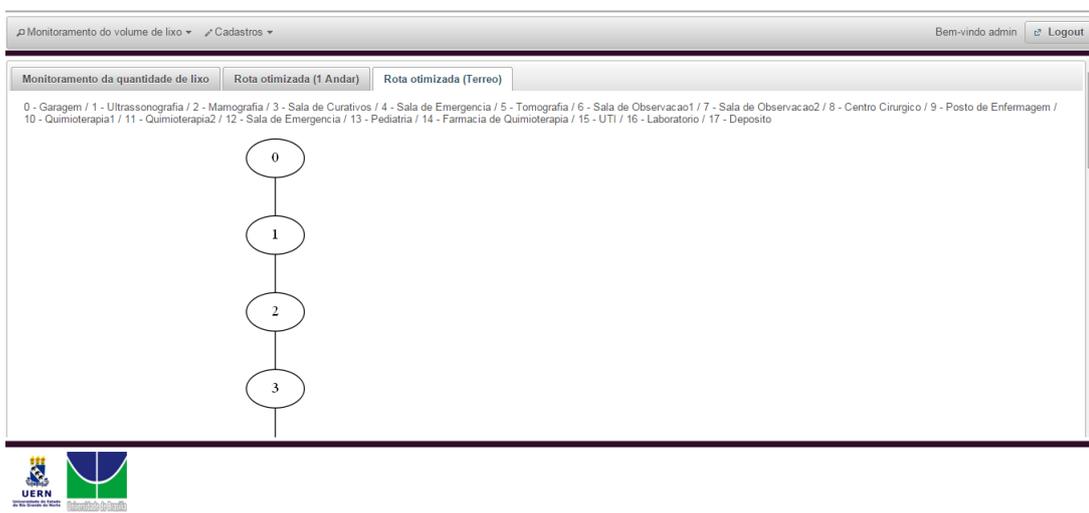


Figura 30 – Rota otimizada do térreo

O algoritmo que é responsável por gerar as rotas é um algoritmo guloso baseado no algoritmo de Dijkstra. O sistema busca gerar uma rota que encontre o menor caminho entre o local inicial do carrinho e o depósito final, passando por todas as salas que precisam ser coletadas, mas tentando evitar passar por locais onde se encontram pessoas mais debilitadas. As salas marcadas para serem coletados os lixos são inseridas automaticamente no percurso a partir das percepções adquiridas na fase de monitoramento. Como o software monitora todas as salas, as lixeiras que estiverem

acima de 50% são automaticamente inseridas na rota para evitar que, após o tempo destinado a coleta de resíduos, alguma lixeira venha a atingir sua capacidade máxima.

Vale ressaltar que o algoritmo desenvolvido para este trabalho é um algoritmo guloso, mas não é idêntico ao modelo tradicional apresentado na seção anterior (2.3.2), no algoritmo proposto, ao contrário de observar o vizinho mais próximo, é realizada a busca da lixeira mais próxima a ser coletada com base no menor caminho até as mesmas. A Figura 31 exemplifica melhor a execução em detalhes, como pode ser observado no grafo, a origem é o ponto 0 e o destino, o 7, com duas salas com lixeiras cheias para serem coletadas (3,4), diferentemente do algoritmo guloso tradicional que iria diretamente para o vizinho com menor peso, o sistema realiza a comparação dos pesos entre todos os percursos da origem até a primeira lixeira mais próxima; logo em seguida, a primeira sala percorrida passa a ser o novo ponto de origem e, partir dela, é refeita a comparação entre a origem e a sala de coleta mais próxima, e assim sucessivamente até o destino final.

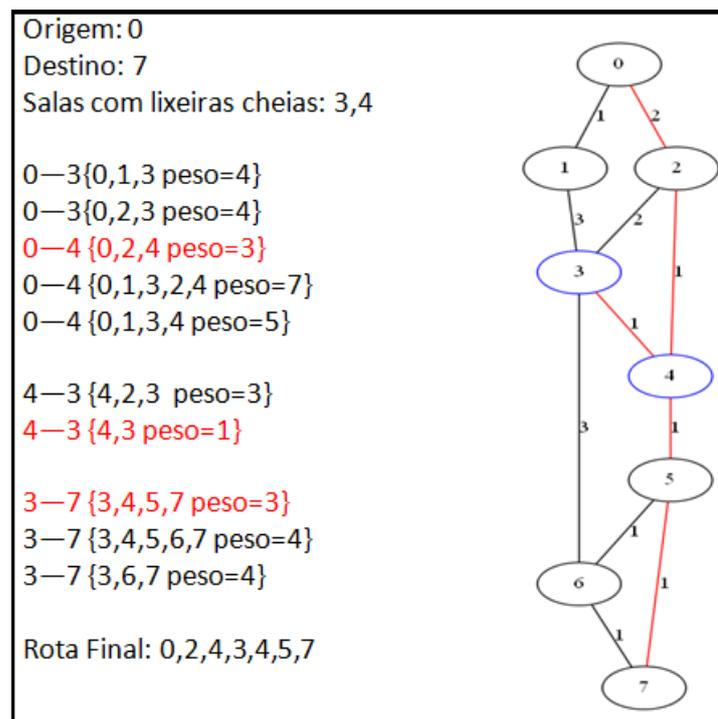


Figura 31 – Exemplo do passo a passo de execução do algoritmo de geração de rota de coleta

A Figura 32, ilustra mais um exemplo da execução do algoritmo, partindo da origem 0 para o destino 8, nas quais as salas 1, 3 e 5 estão com lixeiras que precisam ser coletadas. Como é possível notar na imagem, a sequência da rota de percurso é 0-1-0-2-4-5-6-3-6-5-8, no entanto, se for analisar o custo da rota de coleta, originando da sala 2, tomando como base o custo total entre as rotas A (2-3-6-5-8, peso 10) e B (2-4-5-6-3-6-5-8, peso 11) pode-se analisar que o sistema não é tão eficaz, mas é exatamente nesse ponto que se encaixa a principal contribuição da parte deste documento referente à otimização,

pois a perda de desempenho foi mínima em comparação com a prevenção de trajeto das arestas com pesos elevados (que são as arestas que representam caminhos que devem ser evitados).

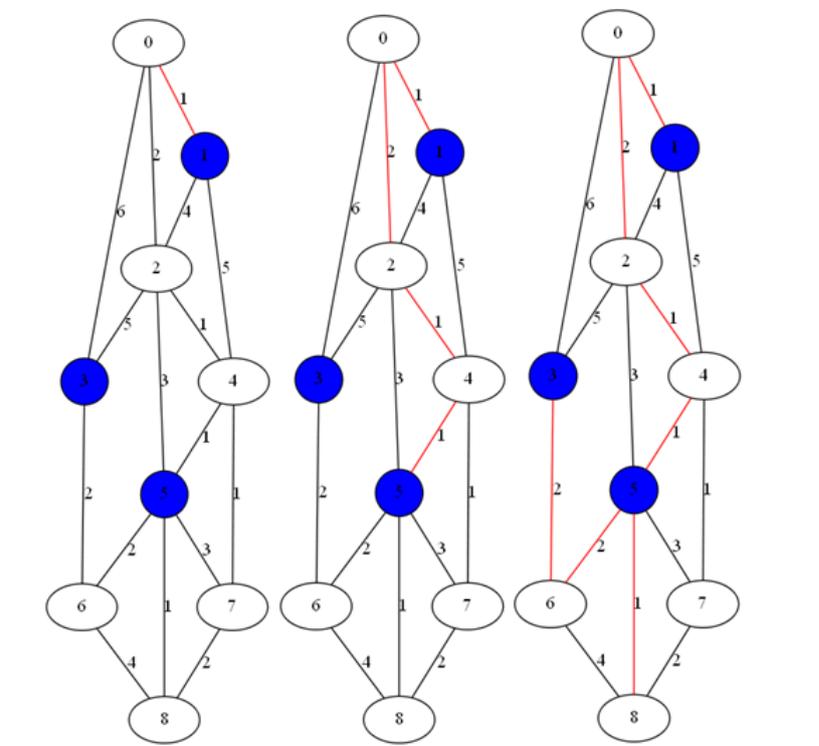


Figura 32 – Exemplo de execução do algoritmo de geração de rota de coleta

A tabela 4, representa um comparativo entre o modelo atual rota de coleta e o modelo apresentado neste trabalho, destacando as principais melhorias que o sistema proporciona. Dentre os pontos comparados estão: Tempo, Custo, Trabalho, Distância percorrida e Minimização de riscos.

Tabela 4 – Comparativo entre o modelo tradicional de rota de coleta e o apresentado neste trabalho

VARIÁVEIS	MODELO TRADICIONAL	MODELO DESTA TRABALHO
Tempo	Tempo de deslocamento do funcionário para cada sala	Tempo gasto de coleta para as salas definidas
Custo	Horas de trabalho para cada funcionário	Custo inicial de aquisição do equipamento
Trabalho	Percorrer todas as salas	Percorrer somente as salas definidas
Distância percorrida	Percorrer todas as salas	Percorrer somente as salas definidas
Minimização de riscos	Não	Sim

Assim como na tabela de comparações dos modelos de monitoramento, na tabela 4, ficam claras as vantagens do modelo proposto neste trabalho. O **Tempo** de coleta atual é dado pelo tempo que o funcionário ou os funcionários têm para percorrer todas as salas, já no outro modelo, com a definição das salas que precisam ser coletadas, a economia de tempo é evidente. Além disso, o modelo deste trabalho concede uma redução de **trabalho** e **distância percorrida**, uma vez que, com a determinação somente das salas que precisam ser percorridas, obviamente os dois itens levantados serão bem

mais úteis em relação ao modelo tradicional, no qual o funcionário inevitavelmente precisa percorrer todos os pontos de coleta do hospital. Além desses pontos levantados, o modelo apresentado propicia uma **minimização de riscos**, correspondente à característica do algoritmo de evitar rota de ambientes em que se encontram pacientes mais debilitados ou refeitórios, objetivando prevenir de possíveis contágios decorrentes do lixo infectante.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando com outras áreas e setores, o hospital ainda é um local em evolução no tocante à automação, têm-se realizado muitas pesquisas nesse aspecto, objetivando alcançar alguma melhoria em um determinado setor ou função de hospitais de maneira geral. Este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e otimização de rota que auxilia o processo de coleta e descarte do lixo hospitalar.

Foi desenvolvida uma rede de Petri para testar e validar o desempenho das funções de monitoramento. Além disso, foram simuladas situações e analisado o desempenho diante das demonstrações de possíveis estados da vida real.

O sistema atendeu a todas as expectativas de suas funções, marcando corretamente a quantidade de lixo, notificando quando necessário, além de gerar a rota otimizada em todas as vezes que foi requerido. Foi realizada a comparação entre o modelo proposto neste trabalho e o modelo tradicional utilizado na maioria dos hospitais. As comparações foram realizadas entre: precisão de medidas, custo, tempo, minimização de riscos, visualização remota, distância percorrida e processo automatizado. O resultado dos testes através das simulações demonstrou além da vantagem de minimização de riscos, que foi o principal foco desde trabalho, apresentou também melhorias em todas as variáveis comparadas.

Além de todas as vantagens que esse modelo apresenta para o modelo atual do hospital, a proposta não fica restrita apenas para este ambiente. A ideia foi validada através do estudo de caso, mas pode ser aplicada em ambientes de alto risco semelhantes como, por exemplo, indústrias químicas, indústrias nucleares, laboratórios de criação de vacinas, entre outros.

Como perspectivas futuras deste trabalho têm-se:

- Desenvolver uma versão *mobile* do sistema;
- Enviar notificação de volume crítico para dispositivo móvel do funcionário;
- Utilizar outros sensores para realizar o rastreamento do lixo hospitalar no momento de descarte;
- Melhorar algoritmo de otimização e aplicar conceitos de VRPTW;
- Realizar o registro das atividades (quantidade de quilo diário de lixo infectante produzido, horário de coleta e descarte, etc.), para facilitar quando for exigido pela fiscalização sanitária;
- Melhorar a interface gráfica;

- Concepção e integração de outros agentes inteligentes ao sistema;
- Gerar rotas automáticas sem a solicitação do usuário.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Lei abnt-nbr12810. In: . [s.n.], 1993. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3592>>.
- AHUDA, R. K.; MAGNANTI, T. L.; ORLIN, J. B. *“Network Flows Theory, Algorithms, and Applications”*. [S.l.]: PrenticeHall, 1993.
- ALI, M. L.; ALAM, M.; RAHAMAN, M. A. N. R. Rfid based e-monitoring system for municipal solid waste management. In: *7th International Conference on Electrical and Computer Engineering*. [S.l.: s.n.], 2012.
- ANVISA. Lei anvisa306/04. In: . [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/10d6dd00474597439fb6df3fbc4c6735/RDC+N%C2%BA+306,+DE+7+DE+DEZEMBRO+DE+2004.pdf?MOD=AJPERES>>.
- ANVISA. *Boletim Brasileiro de Avaliacao de Tecnologias em Saude*. 2014. Disponível em: <<http://200.214.130.94/rebrats/brats.php>>.
- ARDUINO. 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/>>.
- AREBEY, M.; HANNAN, M. A.; A., H. B. R. A. B. H. Solid waste monitoring system integration based on rfid, gps and camera. In: 1. [S.l.: s.n.], 2010.
- ARTERO, A. O. *Inteligencia artificial teorica e pratica*. [S.l.]: 2008, 2008.
- BANZI, M. *Getting Started with Arduino*. [S.l.]: 2011, 2011.
- BARBOSA, D. H. *Desenvolvimento de um modelo de referencia para a aplicacao da tecnologia RFID na logística ambulatórios de ensino*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo(USP), 2012.
- BARRICO, C. M. C. S. Uma abordagem ao problema de caminho mais curto multiobjectivo aplicação ao problema de encaminhamento em redes integradas de comunicações. In: . [S.l.: s.n.], 1998.
- BESTUZHEVA, I. I.; RUDNEV, V. V. Timed petri nets: Classification and comparative analysis. automation and remote control. In: . [S.l.: s.n.], 1990.
- BROOKS, J.; BROOKS, L. Automation in the medical field. *IEEE*, 1998.
- CAMPOS, V. B. G. Algoritmos para resolução de problemas em redes. instituto militar de engenharia (ime). In: . [S.l.: s.n.], 2006.
- CHANGPING, S.; YING, D.; JIHONG, W. Study on the current situation of medical waste management. In: *World Automation Congress (WAC)*. [S.l.: s.n.], 2012.
- CNEN-NE. Lei cnenne6.02. In: . [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=602>>.
- CONAMA. Lei conama237/97. In: . [s.n.], 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>.

- CONAMA. Lei conama358/05. In: . [s.n.], 2005. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2005\\_358.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2005_358.pdf)>.
- COPPIN, B. *Inteligencia Artificial*. [S.l.]: 2010, 2010.
- CPNGROUP. 2015. Disponível em: <<http://cpntools.org/>>.
- CUNHA, C. B. da. Aspectos praticos da aplicacao de modelos de roteirizacao de veiculos a problemas reais. *Revista Transportes-ANPET(Associacao Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes)*, 2000.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. *Arduino em acao*. [S.l.]: 2013, 2013.
- GRAAFSTRA, A. *RFID Toys cool project for home, office, and entertainment*. [S.l.]: Wiley Publishing, 2006.
- HAAS, P. J.; SHELDER, G. S. Regenerative stochastic petri nets. performance evaluation. In: . [S.l.: s.n.], 1986.
- JENSEN, K. An introduction to the practical use of coloured petri nets. In: . [S.l.: s.n.], 1998.
- JIAO, Y.-Y.; ZHEN, Y.-W.; JIAO, R. J. Hospital linens inventory control re-engineering based on rfid. *IEEE*, 2008.
- JINGWEI, Z.; ZUJUN, M. Fuzzy multi-objective location-routing-inventory problem in recycling infectious medical waste. In: *International Conference on E-Business and E-Government*. [S.l.: s.n.], 2010.
- JORGE, G. A.; VICENTE, S. A. da S. O uso da simulacao na gestao de residuos hospitalares. *XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO*, 2009.
- KERGOSIEN, Y. *Algorithmes de tournées de vehicules pour loptimisation des flux de produits et de patients dans un complexe hospitalier*. Tese (Doutorado) — UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS DE TOURS, 2010.
- LAKSHMI; REFONAA, J.; VIVEK, J. Tracking of bio medical waste using global positioning system. *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies*, 2015.
- LEITE, C. R. M. et al. Modelagem e simulaÇÃo do monitoramento mÉdico em uti utilizando rede de petri estocÁstica. In: . [S.l.: s.n.], 2010.
- MALAQUIAS, N. G. L. Uso de algoritmos genéticos para otimização de rotas de distribuição. In: . [S.l.: s.n.], 2006.
- MURATA, T. A general way to put time in petri nets. *5th International Workshop on Software Specifications and Design*, 1989.
- MURATA, T. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 1989.
- NETO, P. F. R. *Análise de controle de concorrência e escalonamento de transações em bancos de dados em tempo-real usando redes de Petri*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, 2001.

NG, C. et al. A rfid-enabled wireless sensor network (wsn) monitoring system for biological and pharmaceutical products. In: *International Symposium on Computer, Consumer and Control*. [S.l.: s.n.], 2014.

OMS. *Safe management of waste from Health-care activities*. 2011. Disponível em: <<http://www.paho.org/bra/>>.

PUROHIT, S. S.; BOTHALE, V. M. Rfid based solid waste collection process. *IEEE*, 2011.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligencia artificial, 3a edicao*. In: . [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=BsNeAwAAQBAJ>>.

TAILLARD, E. et al. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation science*, 1997.

TCE. *Gerenciamento dos Resíduos do Serviço de Saúde*. 2011. Disponível em: <<http://www.tce.ro.gov.br/Publicacoes.aspx>>.

TOTH; VIGO. *The Vehicle Route Problem*. [S.l.]: 2002, 2002.

VIANA, G. V. R. *Meta-heurísticas para problemas de otimização combinatórias*. In: . [S.l.: s.n.], 2013.

ZHANG, G.; HAI, J.; CHENG, J. Characterization and mass balance of dioxin from a large-scale municipal solid waste incinerator in china. In: *Elsevier*. [S.l.: s.n.], 2012.

ZIVIANE, N. *Projeto de Algoritmos com Implementações em Pascal e C*. [S.l.]: 2007, 2007.

## Apêndices



APÊNDICE A – GRAFO DO TERREO E PRIMEIRO ANDAR DO HOSPITAL DO ESTUDO DE CASO

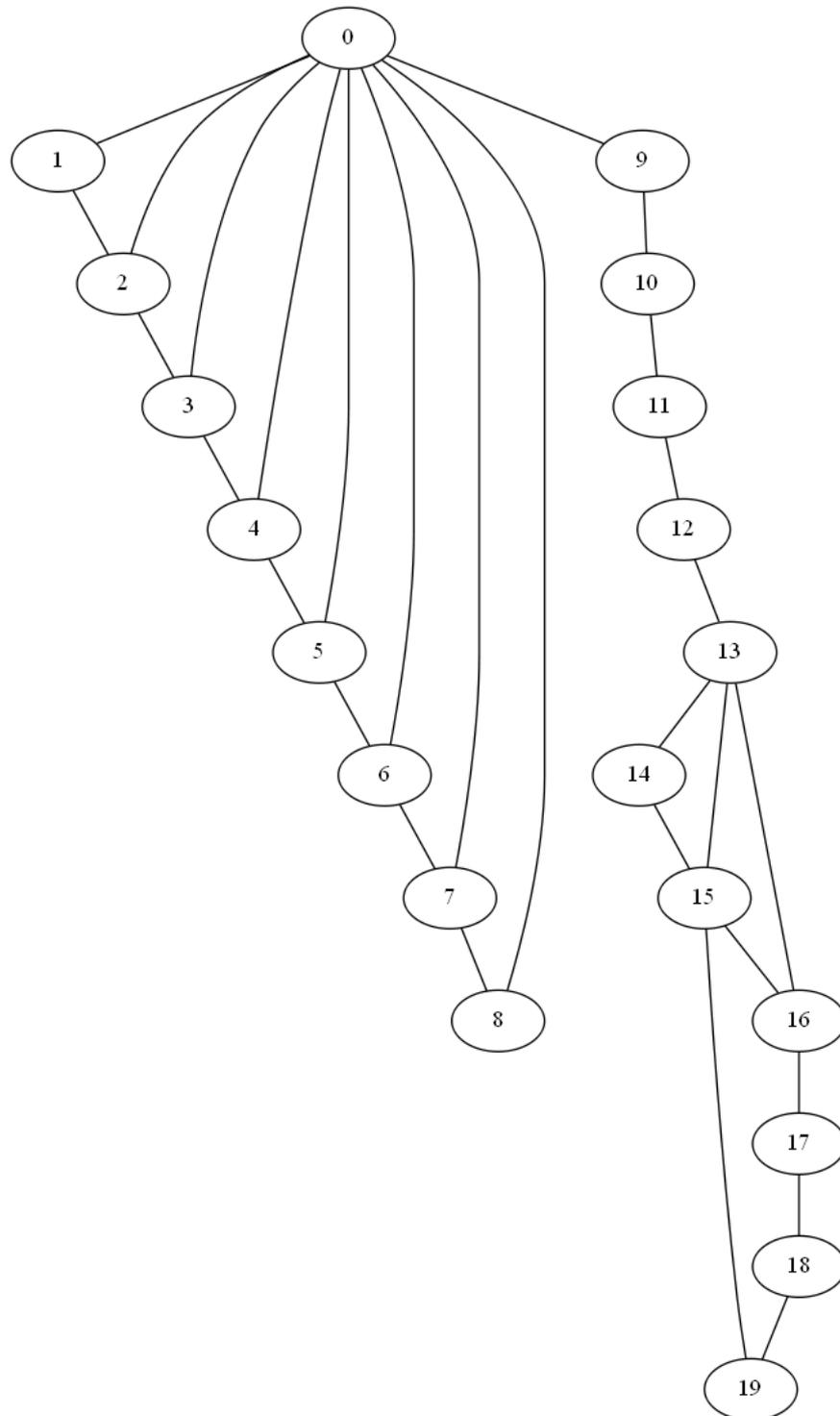


Figura 33 – Grafo referente ao primeiro andar do hospital

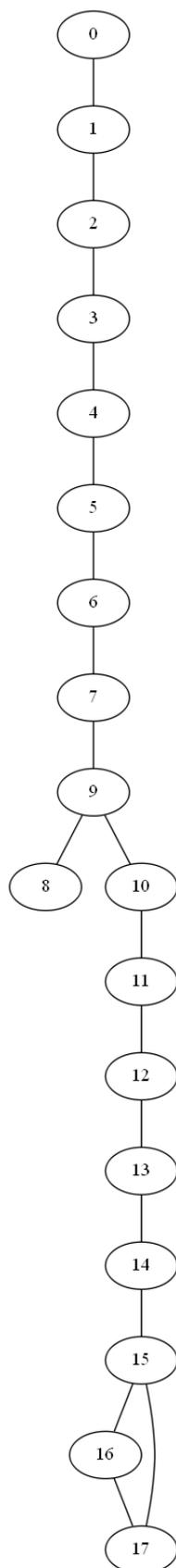


Figura 34 – Grafo referente ao terreo do hospital