



CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LARISSA FERREIRA DE SOUZA

**OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM UM SISTEMA DE
DETECÇÃO E ALARME DE INCÊNDIO EM UM HOSPITAL DE FORTALEZA.**

FORTALEZA

2021

LARISSA FERREIRA DE SOUZA

OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM UM SISTEMA DE
DETECÇÃO E ALARME DE INCÊNDIO EM UM HOSPITAL DE FORTALEZA

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Hilano José Rocha de Carvalho.

FORTALEZA
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S719o Souza, Larissa Ferreira de.
Otimização na alocação de recursos em um sistema de
detecção e alarme de incêndio em um hospital de Fortaleza /
Larissa Ferreira de Souza. - 2021.
62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia de
Produção, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Hilano José Rocha de Carvalho .

1. Pesquisa operacional . 2. Modelagem matemática. 3.
Otimização . 4. Automação predial. 5. SDAI. I. Título.

CDD 658.5

LARISSA FERREIRA DE SOUZA

OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM UM SISTEMA DE DETECÇÃO
E ALARME DE INCÊNDIO EM UM HOSPITAL DE FORTALEZA

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Hilano José Rocha de Carvalho.

Aprovado em: 29/06/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hilano José Rocha de Carvalho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Msc. José Luciano Lopes da Costa Filho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Msc. Francisco Wesley Florêncio Rodrigues
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Agracio a Deus por sustentar-me em mais esta caminhada.

Ao Prof. Dr. Hilano por toda a dedicação como meu orientador e por todos os ensinamentos.

Aos familiares e amigos Laís, Rosemary e, em especial ao Marcelo, pelo apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este artigo aborda uma proposta de melhoria no mercado de serviços de automação predial, mais especificamente, o SDAI (sistema de detecção e alarme contra incêndios) através da implementação de um estudo na área de Pesquisa Operacional (PO). O estudo presente neste trabalho busca a otimização de um problema prático de redução de custos que através da modelagem matemática é possível formular uma função com todas as variáveis influentes no problema e assim encontrar a solução ótima e propor melhorias. Esta pesquisa agrega no âmbito científico trazendo uma abordagem mais aprofundada sobre um tema pouco abordado da relação da PO com a melhoria de serviço de SDAI e também agrega no âmbito social por mensurar recursos de forma melhorada gerando assim uma vantagem tanto ao prestador do serviço que teria mais lucro e menor custo quando para o consumidor que obtém. Foi utilizado um método de otimização para definir a distribuição correta de recursos de modo a minimizar o custo total associado a esses recursos, e assim foram definidos os níveis adequados de qualidade no serviço de instalação de um sistema de alarme e detecção de incêndio.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional. Automação Predial. SDAI. Otimização. Modelagem matemática.

ABSTRACT

This paper addresses a proposal for improvement in the building automation services market, more specifically, the FADS (Fire Alarm and Detection System) through the implementation of a study in the area of Operations Research (OR). The present study seeks the optimization of a practical problem of cost reduction that through mathematical modeling is possible to formulate a function with all the influential variables in the problem and thus find the optimal solution and propose improvements. This research adds to the scientific field by bringing a deeper approach to a little addressed topic of the relationship between OR and FADS service improvement and also adds to the social field by measuring resources in an improved way, thus generating an advantage both for the service provider, who would have more profit and lower costs, and for the consumer, who would obtain quality and lower costs. An optimization method was used to define the correct distribution of resources in order to minimize the total cost associated with these resources, and thus the adequate levels of quality in the service of installing a fire alarm and detection system were defined.

Keywords: Operations Research. Building Automation. FDS. Optimization. Mathematical modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de um sistema automático.....	12
Figura 2 - Funções e áreas da automação predial.....	16
Figura 3 - Segmento de definição do problema.....	23
Figura 4 - Fases da modelagem matemática.....	25
Figura 5 - Processo de modelagem.....	26
Figura 6 - Atividades do projeto referentes à instalação dos laços de detecção.....	38
Tabela 1 - Planejamento de alocação de funcionários.....	39
Tabela 2 - Tempos de duração das atividades do projeto.....	40
Tabela 3 - Custos de mão de obra.....	42
Tabela 4 - Tempos do projeto.....	43
Quadro 1 - Etapas de elaboração dos resultados.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.2	Justificativa	11
1.2.1	<i>Relevância científica</i>	11
1.2.2	<i>Relevância social</i>	11
1.2.3	<i>Hipótese</i>	11
1.3	Objetivos	11
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	11
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	11
1.4	Delimitação do trabalho	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Definição de automação	14
2.1.1	<i>Histórico da automação</i>	16
2.1.2	<i>Automação predial</i>	18
2.2	Pesquisa operacional	21
2.2.1	<i>História da pesquisa operacional</i>	21
2.2.2	<i>Definição de pesquisa operacional</i>	21
2.2.3	<i>Tipos de modelos</i>	24
3	METODOLOGIA	35
3.1	Local da pesquisa	35
3.2	Delineamento da pesquisa	35
3.2.1	<i>Quanto ao tipo</i>	35
3.2.2	<i>Quanto à técnica</i>	36
3.3	Levantamento de dados	37
3.4	Estruturação do problema	38

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Modelagem.....	42
4.1.1	Resolução do problema.....	43
5	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE.....	55

1 INTRODUÇÃO

Já há algum tempo, desde o período da segunda guerra mundial, a pesquisa operacional (PO) surgiu e começou a atingir inúmeras áreas abordando diversos métodos e técnicas de decisão quantitativos impactando positivamente os métodos de trabalho, aumentando a eficiência de várias organizações e contribuindo para o aumento da produtividade de diversos seguimentos empresariais. Cada vez mais vantagens na implantação dos métodos de pesquisa operacional foram surgindo através do uso mais facilitado, que foi possível por conta do avanço da tecnologia, sendo uma área estudada até hoje para encontrar mais alternativas de melhoria, agilidade e facilidade.

A delineação de recursos de uma empresa é o que guia o destino correto e a mensuração adequada de cada investimento e isso deve ser controlado para que o lucro seja garantido. Isso é feito com o auxílio de ferramentas e do estudo de cada etapa a ser realizada. A PO tem papel importante quando se trata de soluções e melhorias para essas questões dentro e fora das organizações.

Atualmente, com a crescente necessidade de resposta rápida em processos de modo geral pelo mercado consumidor, a demanda pelo mercado prestador de serviços de automação é cada vez maior. Para atuar na otimização de serviços que têm como objetivo o desenvolvimento deste tipo de sistemas, métodos de pesquisa operacional podem ser utilizados.

Além de garantir o aumento da produtividade e a prevenção contra o lucro cessante, em certos casos, esse tipo de serviço que desenvolvem e implantam sistemas automáticos é indispensável para garantir a segurança em uma empresa, por exemplo: sistemas de detecção, alarme e combate contra incêndio, que é o projeto estudado neste trabalho. Porém, apesar de trazer várias vantagens em procedimentos dentro de empresas, é necessário um estudo quanto ao planejamento e a melhoria de um projeto deste tipo pelos métodos de otimização da pesquisa operacional, auxiliando em decisões sobre os recursos

necessários.

1.2 Justificativa

1.2.1 Relevância científica

Esta pesquisa acrescentará no âmbito científico, no que diz respeito ao uso estratégico da Pesquisa Operacional no segmento de serviços, especificamente o de implantação de sistemas de automação predial, o desempenho e a forma de contribuição para as etapas que definem o projeto. Apesar da abrangência da área de PO em aplicações práticas, ainda é pouco abordado o desempenho deste estudo em serviços de instalação de sistemas de automação predial como o SDAI (sistema de detecção e alarme de incêndio). Assim será possível analisar a viabilidade desta aplicação para empresas prestadoras deste tipo de serviços.

1.2.2 Relevância social

Com o dimensionamento adequado da quantidade mínima de recursos necessários para a execução do serviço com menor custo e qualidade garantida, tanto os clientes finais como também quem está fornecendo o trabalho poderão ter um maior beneficiamento, considerando que o problema a ser modelado fornece a melhor solução de acordo com as definições do projeto. Com a alta concorrência entre mercados atualmente, o que fornece uma comparação mensurada de vantagens é um atrativo entre os consumidores.

1.2.3 Hipótese

Se for utilizado um método de otimização para definir a quantidade necessária de recursos visando minimizar o custo total associado ao projeto, a distribuição correta dos recursos será solucionada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Propor melhorias no uso de recursos de um projeto em uma empresa

especializada no desenvolvimento de sistemas de automação, através de um modelo de otimização de custos.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analisar dados quantitativos acerca do comportamento das variáveis que compõem o problema de projeto ótimo;
2. Solucionar o problema prático através da modelagem matemática;
3. Fazer o comparativo do comportamento do projeto relação aos valores anteriores após a aplicação da análise.

1.4 Delimitação do trabalho

Através do estudo aprofundado sobre pesquisa operacional e utilizando as limitações e informações atuais do projeto será possível formular cada etapa do modelo e com o auxílio da ferramenta solver do software Microsoft Excel 2016, resolver o problema e encontrar a solução preferencialmente viável, que poderá ser aplicada ao projeto, testada e analisada de acordo com as mudanças.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição de automação

A automação é toda ação que não necessita de intervenção humana para ser executada. Por meio da automação, é possível implantar diversos sistemas automáticos compostos por uma série de sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos conectados entre si que realizam uma ação funcionando por si só, realizando determinada ordem de execução, funcionando através de um certo guia determinado de identificações momentâneas de falhas no seguimento funcional que foi pré-determinado, fornecendo respostas em um intervalo de tempo muito curto, que, muitas vezes, seria inalcançável através de um trabalho humano. LUGLI e SANTOS (2019)

Pessoa (2014) abordam a automação citando alguns elementos básicos responsáveis pelo funcionamento de sistemas automáticos, porém de modo geral e simplista, enfatizam mais os seguintes componentes que serão expostos a seguir:

a) Sensores: Esses são os dispositivos de detecção, que captam as ocorrências e são responsáveis por fornecer informações sobre o sistema, enviando os sinais de entrada para o controlador, podendo identificar variações de diversos tipos de grandezas. Os sensores usados na automação podem ser:

Os sensores usados na automação podem ser:

- Sensor de fim de curso;
- Sensor indutivo;
- Sensor capacitivo;
- Sensor fotoelétrico;
- Sensor ultrassônico.

b) Controladores: são responsáveis por fazer a comparação entre o valor de saída e o valor real desejado de entrada do sistema. Caso haja

um desvio, este dispositivo identifica e corrige até que tudo se normalize e volte ao ideal de conformidade. Os controladores podem ser:

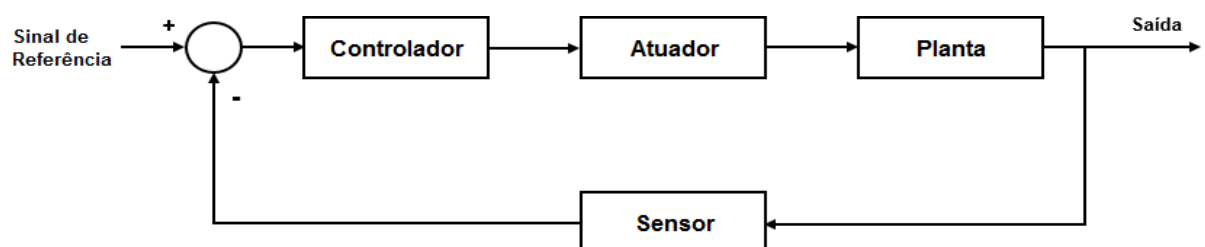
- Controlador On-off;
- Controlador Proporcional;
- Controlador Proporcional Integral (PI);
- Controlador Proporcional Derivativo (PD); Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).

c) Atuadores: são responsáveis pela geração de trabalho. Produzem movimento e são os dispositivos que fornecem a ação do sistema que executam o objetivo operacional do sistema. Esses funcionam convertendo energia pneumática, hidráulica ou elétrica em energia mecânica. Os tipos de atuadores podem ser:

- Atuador magnético;
- Atuador hidráulico;
- Atuador pneumático;
- Atuador elétrico;
- Atuador de acionamento misto.

A figura 1 mostra um esquema simples que apresenta os elementos básicos de um sistema automático e como eles se posicionam para executar suas funções.

Figura 1 - Diagrama simples de um sistema automático.



Fonte: OGATA (1993 apud PESSOA, 2014) adaptado pela autora.

A exemplificação anterior mostra como podemos compreender a

esquemática da automação e seus componentes principais de forma simples, trazendo para o nosso dia a dia e observando com outro olhar todas as ações que são praticadas. Toda essa funcionalidade especializada que se vê nos tipos existentes de sistemas automáticos pode variar de algo básico até algo complexo de alcance amplo.

O sistema automático identifica no mesmo instante o desvio de um padrão que foi definido e faz com que as impreviões sejam eliminadas, corrigindo e estabelecendo o curso normalizado pré-determinado. Este tipo de sistema é muito utilizado na área industrial, estabelecimentos comerciais prediais, residenciais, em recursos hídricos, etc. TEDESCHI (2017).

A mecanização se diferencia da automação, mas, às vezes, pode ser motivo de comparação ou pode gerar dúvidas. Porém, se difere, pois se define apenas pela substituição do esforço físico humano por uma máquina que fará o mesmo trabalho. Já a automação é tida por qualquer sistema que tenha equipamentos com funcionamento independentemente, fazendo medições, correções e controle de operações. (PESSOA, 2014)

Os benefícios gerados por implantar um sistema automático não se resumem somente à redução de custos, aumento da produtividade e melhoria de processos. Dependendo do sistema a ser implantado. A sua finalidade pode ser para uma proteção contra sinistros, para auxiliar na proteção de um ambiente contra possíveis falhas ou imprevistos insatisfatórios e garantia de segurança de um local. Como, por exemplo, prevenção e proteção contra incêndios em edificações que são causa marcante de mortes e perda de patrimônio em vários locais. CORRÊA *et al* (2017).

2.1.1 *Histórico da automação*

A evolução do homem no que diz respeito à qualidade de vida vem acontecendo há muito tempo. Muitas descobertas foram feitas e surgiram formas alternativas de execução de certas tarefas que

facilitaram o esforço humano e com isso foi possível chegar a maiores conquistas. No passado mais remoto, tudo era realizado manualmente, a intervenção humana estava em qualquer tipo de operação, o esforço exigido para a realização de certos feitos era grande. Com o tempo, foi aumentando cada vez mais a busca por agilidade e praticidade para lidar com esses trabalhos, o que aumentou o desenvolvimento de ferramentas auxiliares, até mesmo por conta da demanda que era cada vez maior. MEDEIROS e PRADO (2019)

A partir do Século XVIII, houve o surgimento e o avanço da revolução industrial, o que gerou um grande salto nos níveis de produção de bens, substituindo o trabalho humano por um maquinário que produzia mais em menos tempo, isso é, ocorreu uma mecanização. Pode-se dizer então que os primeiros sistemas de automação foram mecânicos e dentro do ambiente industrial. AGUIRRE *et al* (2017)

Rodrigues (2016) diz que o primeiro surgimento de algo que está dentro das características da definição de controle automático foi no século XVIII através de James Watt, que implementou um regulador centrífugo que atuava no controle da velocidade de uma máquina à vapor. A velocidade era controlada através da força centrífuga gerada em um movimento feito por duas esferas que atuavam na abertura e fechamento da válvula do motor: quanto mais rapidamente funcionava o motor maior era a força centrífuga e mais afastadas ficavam as esferas, desligando a válvula e deixando passar uma quantidade menor de vapor e quando o motor funcionava mais devagar as esferas perdiam força centrífuga e se aproximavam do centro, ligando a válvula e permitindo maior passagem de vapor.

Por um lado, o avanço do segmento industrial. Por outro lado, os níveis de desemprego eram altos pelo fato de muitas pessoas perderem o seu emprego e entrarem em seus lugares máquinas que produziam mais durante uma carga horária muito maior. Assim, os gastos com funcionários diminuíram significativamente, levando ao aumento da produtividade: passou-se a produzir mais com menos.

Roggia e Fuentes (2016) comentam que no século XIX muitos setores evoluíram com a utilização da automação. Não somente os segmentos industriais, mas também o de comunicações e transportes cresceram significativamente. Houve também a criação do motor à explosão que marcou este período. Já no século XX, a automação ganhou ainda mais força com os computadores, servomecanismos e controladores programáveis e, atualmente, a tecnologia computacional é o que move a automação.

A busca por melhorias sempre dominou o funcionamento geral de tudo e de todos e impulsionou diversas práticas operacionais. Mais recentemente fala-se em grande abrangência do avanço tecnológico que proporciona mudanças favoráveis para o andamento da sociedade, mudando o rumo não só das operações profissionais, mas também pessoais pelo fato de não permitir estagnação. Se há mudanças no rumo dos negócios com uma proporção considerável, há também mudanças em todo o mundo e na forma como as pessoas se preparam para atuar neste novo ambiente, se qualificando cada vez mais e adotando uma cultura de constante evolução. ARBIX e MIRANDA (2017)

O marco histórico do surgimento da automação foi algo que tirou a sociedade de um segmento retrógrado que acreditavam que duraria ainda por um tempo, se não fosse por este avanço, o ramo industrial por exemplo, que passou por mudanças com a presença de mecanismos da automação, continuaria com uma produção lenta e em pequena escala, dependendo de habilidades pessoais de funcionários para fabricação de um produto que não seguia um padrão estimado de conformidade, sendo cada vez mais difícil atender a demanda da população.

2.1.2 *Automação predial*

A definição deste tipo de sistema é explicada por Cruz (2019a) e Cruz (2019b) como a interconexão de equipamentos dentro de um edifício de forma a fazer o controle e a medição de determinadas ações de um segmento comum. Recebendo essas informações, os componentes

posicionados em cada local específico das instalações reagem de acordo com as funções a serem executadas. Esses recursos tecnológicos propiciados por sistemas de automações como um tipo de sinal a ser analisado e logo em seguida o sistema determina uma reação o auxiliam na execução de procedimentos que seriam difíceis ou até mesmo impraticáveis apenas com ação humana.

A automação predial é um sistema instalado para fazer a integração de todo o local agindo por meio de ferramentas tecnológicas que têm uma espécie de ligação entre si, que possibilita a troca de informações, e agem com controle das próprias funções, propiciando auxílios tais como combate à incêndios, no monitoramento e controle de invasões indesejadas, na administração de instalações elétricas e hidráulicas. Os sistemas de automação predial podem atuar de várias formas dentro da estrutura de um prédio proporcionando melhorias, maximizando procedimentos e etapas, reduzindo custos, proporcionando a segurança de pessoas que frequentam o local assim como podem conservar o estabelecimento de riscos externos e internos. CARVALHO JUNIOR (2017).

Os tipos de sistemas prediais serão descritos a seguir, conforme Cruz, (2019a) e Cruz, (2019b):

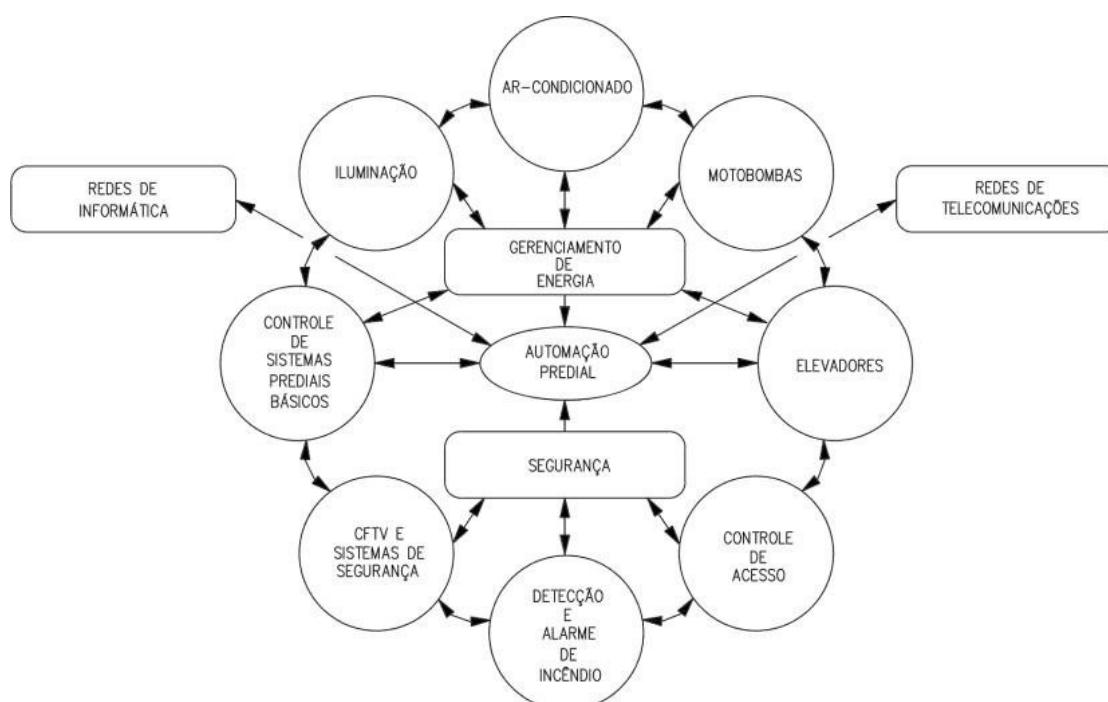
- o Gerenciamento de energia: controle de sistemas prediais básicos, iluminação, ar condicionado, motobombas e elevadores;
- o Segurança: CFTV e sistemas de segurança, detecção e alarme contra incêndio e controle de acesso;
- o Redes de informática;
- o Redes de telecomunicações.

Diante dessa abrangência, os estabelecimentos comerciais públicos ou privados, condomínios, casas ou qualquer outro que se encaixe nas especificações de possibilidade de implantação desses sistemas estão em grande vantagem ao optar por este meio com delimitações mais tecnológicas e eficientes, com um tempo de resposta mais ágil e garantia de sucesso na execução do que foi estabelecido.

Mais futuramente este conceito de interconexão, a troca de informações por dispositivos em um determinado local, a capacidade de identificação e análise de erros em redes, processos, etapas, segmentos, dentre outros, vai formar uma realidade que está atrelada à inteligência artificial, tal que ambientes vão passar a ter um autogerenciamento e as diversas áreas e funções serão tomadas por equipamentos avançados: o controle automático será de uso geral. (PRUDENTE, 2011)

A Figura 2 mostra um esquema que interliga os sistemas de automação predial

Figura 2 - Funções e áreas da automação predial.



Fonte: (CRUZ 2019a) e (CRUZ 2019b)

2.1.2.1. Sistema de detecção e alarme de incêndio (SDAI).

Dentre os sistemas de automação predial está o SDAI, um sistema totalmente voltado para garantia da segurança e conservação das instalações de um prédio caso haja acidentes relacionados a incêndio. De acordo com Virginio (2013), o sistema é formado por equipamentos que captam sinais e os interpretam gerando informações de acordo com as características decorrentes de um incêndio e anunciam tal ocorrência através de indicações sonoras e visuais. Virginio (2013) expõe que a captação dos sinais é possível através de três demonstrações de que há fogo no local, que são:

- Fumaça;
- Elevação da temperatura ambiente em relação à normal;
- Redução da luz de chama aberta.

Portanto, este tipo de instalação que proporciona um controle automático é feito para evitar que um incêndio predial venha a ter grandes proporções e reduzir significativamente a chance de riscos muito maiores, amenizando e controlando o incidente, tornando menor a gravidade do problema, direcionando todos os que estão presentes no local, para que tomem as medidas corretas e controlem a situação de forma que tudo se normalize o mais rápido possível. (OLIVEIRA *et al*, 2013).

O sistema é formado por vários componentes que trabalham em conjunto, tais como: detectores de fumaça, de temperatura, de chamas, acionadores manuais, módulos de controle e dispositivos de sinalização.

Os detectores captam os indícios de incêndio, os acionadores manuais recebem a mensagem de detecção e enviam do local das chamas até a central de processamento. Este aviso é ativado pela central de alarme e, por fim, são acionados os dispositivos auxiliares para ativação de outros sistemas de combate a incêndio. (VIRGÍNIO, 2013).

Em relação a trabalhos anteriores e correlatos, Oliveira *et al* (2013) modelam um sistema de detecção e alarme de incêndios no contexto da automação predial. O objetivo dos autores foi fazer um estudo na área de automação predial, mais especificamente sobre o SDAI (Sistema de Detecção e Alarme de Incêndio), utilizando uma ferramenta computacional denominada Redes de Petri. Esta é capaz de analisar a dinâmica do processo executado por sistemas inteligentes de proteção, que é o caso do SDAI. Partiram da modelagem de um sistema de detecção e alarme de incêndio através da Rede de Petri e, depois, propuseram um melhor tratamento desse tipo de instalação. Mais especificamente, realizaram um estudo de caso, em que houve a implantação desse sistema em uma sala que continha transformador de média tensão, sistemas de ar condicionado e equipamentos elétricos do tipo, que são equipamentos que exigem um sistema de detecção e alarme de incêndio de alta eficiência pela modelagem usando Redes de Petri, por fim, concluíram que o sistema em questão não é um custo a mais desnecessário e sim um investimento que pode evitar prejuízos e acidentes futuros se instalado corretamente e adequado para as especificidades do local.

O estudo realizado por Oliveira *et al* (2013) aproxima-se dos objetivos deste trabalho, na medida em que traz uma abordagem do sistema de detecção e alarme de incêndio, fazem uma análise de melhoria através de uma ferramenta computacional, mas difere pelo fato de modelar toda a instalação do SDAI com um foco nos processos de automação propriamente, enquanto, neste trabalho, será feito um direcionamento para a parte mais econômica do projeto.

Ainda abordando trabalhos anteriores e correlatos, Holanda *et al* (2015), realizam um dimensionamento de recursos em uma empresa prestadora de serviços, recarga e manutenção de extintores de incêndio, objetivando maximizar lucros e reduzir custos. Os autores coletaram dados como: número de funcionários, valor de salário, produtividade, demanda, carga horária e estoque e desenvolveram um

modelo matemático de programação linear que disponibilizou, em resposta, cenários de melhoria e redução de custos. Para resolução do modelo foi utilizada a ferramenta Solver do Excel. Por fim, os autores concluíram que a empresa presente no estudo possui um bom dimensionamento de recursos, porém constatou-se um excesso de carga e ociosidade de mão de obra.

O estudo realizado por Holanda *et al* (2015) aproxima-se dos objetivos deste trabalho, na medida em que traz uma abordagem similar ao que este trabalho se propõe a apresentar, abordando uma modelagem matemática de um problema prático através de uma função de comportamento linear de minimização de custos.

2.2 Pesquisa operacional

2.2.1 Definição de pesquisa operacional

Como foi mencionado anteriormente, a pesquisa operacional surgiu em um cenário de guerra, onde foi inicialmente abordada por estudiosos que analisaram e identificaram uma resposta viável sobre o rumo das operações que aconteceram na época. A partir daí, tomou-se esse rótulo: pesquisa operacional, o próprio nome já coloca como pesquisa ou estudo de operações, que é uma ciência que tem foco em resolução de problemas operacionais práticos mais complexos e une os conceitos matemáticos, estatísticos e algorítmicos para formular e solucionar esses problemas. (MEDEIROS *et al*, 2017).

A pesquisa operacional atua fornecendo uma projeção da melhor solução que deve ser seguida de forma a aperfeiçoar o desempenho em um determinado processo. A pesquisa operacional pode atuar solucionando problemas em diversas áreas, como indústria, agropecuária, transportes, saúde, telecomunicações, etc. Os problemas tratados pela PO podem ser sobre o direcionamento de certas operações em uma empresa, mas para que essa atuação no auxílio à tomada de decisões seja precisa e realmente possa ser considerada bem-sucedida, é muito importante que o problema que se pretende

solucionar seja bem estudado e estruturado para que a modelagem seja feita de forma correta. VISENTINI (2014)

2.2.2 História da pesquisa operacional.

Durante o período da Segunda Guerra Mundial, inúmeros problemas táticos e estratégicos eram traçados por alguns estudiosos buscando soluções que se aproximassem com precisão da realidade que estavam enfrentando e procurando uma solução que gerasse vantagem em batalhas, auxiliando no processo de planejamento o esforço de guerra e estabelecendo um meio de solucionar problemas que surgiam e que eram difíceis de controlar, assegurando ao todo uma melhor orientação prática.

Segundo Hillier e Lieberman (2013), para estudar esse tipo de problema, um grande número de cientistas foi convocado por líderes militares, sendo o primeiro contato com a área de PO. Na época, os recursos eram escassos, por isso era necessário geri-los de maneira mais eficiente mesmo em quantidades mínimas, se houver um bom direcionamento, o desempenho poderá ser bem-sucedido. Sendo assim, estes profissionais realizaram pesquisas e estudos sobre o comportamento das operações militares e encontraram uma forma de administrar melhor as operações de comboio e empregar métodos eficientes em batalhas, contribuindo para algumas vitórias.

A pesquisa operacional obteve sucesso nas operações militares e, após o fim da Segunda Guerra, com o surgimento de alguns problemas, tais como a crescente complexidade e especialização nas organizações, alguns profissionais da área de negócios e da área de PO começaram a relacionar o que estava ocorrendo nas empresas com os problemas que os militares tiveram que enfrentar, porém em um cenário diferente. Em 1950, a PO já havia sido introduzida em organizações de segmentos variados e se disseminou depois disso, deixando de ser somente uma estratégia para levar vantagem perante a precariedade de um cenário de guerra. MOREIRA (2018)

A PO passou a fazer parte do planejamento estratégico de várias empresas, adentrando na área administrativa, exercendo papel influente no aumento da produtividade, na melhoria do desempenho operacional, no crescimento do nível da qualidade e entre outros benefícios. Cada vez mais pessoas se interessaram em estudar esta área e melhorá-la desenvolvendo métodos de solução de problemas e, assim, ampliando cada vez mais o campo de atuação. (HILLIER e LIEBERMAN, 2013)

Entre os que se interessaram pela área de PO estava George B. Dantzig, que trabalhou no Pentágono - sede do departamento de defesa dos Estados Unidos - entre 1941 e 1945, como especialista em planejamento e programação de atividades militares e, depois, continuou no mesmo lugar como conselheiro em matemática da Força Aérea. Lá foi desafiado por dois colegas de trabalho a criar um mecanismo para padronização e definição de planos estratégicos da época. Após alguns estudos e influências outros estudiosos, Dantzig deu início ao *método simplex* em 1947, que é utilizado em solução de problemas com programação linear. (COLIN, 2017, apud DANTZIG, 1991)

O simplex é uma sequência de cálculos, chamada de algoritmo, que se repetem para que possam levar a uma solução de um problema de programação linear. Os cálculos são simples, porém extensos e podem levar a erros, então, são feitos através de ferramentas computacionais atualmente. MOREIRA (2018)

A pesquisa operacional avançou rapidamente dentro de pouco tempo de 1945 a 1970, foram anos de marcante crescimento, sendo pelo fato de ter ganhado fama e as dedicações de estudos a este método terem aumentado, fazendo com que surgissem elaboradas técnicas para formulação dos problemas ou também pelo avanço da tecnologia. Isto foi muito importante pela simplificação na resolução dos cálculos que eram complexos e extensos para serem feitos manualmente. Atualmente existem várias ferramentas voltadas à PO que são de fácil

acesso. (COLIN, 2017, apud DANTZIG, 1991)

2.2.3 Tipos de modelos

Os modelos de resolução de problema variam de acordo com cada aplicação. O estudo do cenário deve ser aprofundado e o tema deve ser analisado de acordo com o objetivo final.

Andrade (2015) descreve as classificações quanto à natureza dos modelos, dividindo-os em três: conceituais, matemáticos e heurísticos.

- O modelo conceitual é uma representação qualitativa da atuação da pesquisa operacional para o caso a ser analisado com a organização sequencial de cada fase participante da tomada de decisão, exibindo com mais clareza a sistemática do modelo. O modelo matemático demonstra, através de formulações matemáticas, as especificidades do problema, definindo variáveis, funções e os devidos algoritmos que levarão ao objetivo principal da aplicação, que é a obtenção da solução ótima, dentre todas as soluções viáveis.
- O modelo heurístico é definido pelos modelos de alta complexidade, nos quais os resultados obtidos através do modelo matemático não atingem uma solução ótima e sim apenas uma resposta razoável que não compensaria para uma aplicação prática e que precisa ainda de um aprimoramento feito através de bases intuitivas.
- Por sua vez, o modelo matemático se divide em probabilístico e determinístico. Estes se diferenciam pelo fato de o primeiro não ter todas as variáveis do modelo conhecidas e por ser mais baseado em incertezas enquanto o segundo possui todas as variáveis definidas e um peso menor em incertezas.

Ainda sobre a classificação dos modelos, Andrade (2015) estabelece dois grupos divisórios existentes na modelagem matemática, são eles:

- Simulação - é utilizado para problemas probabilísticos. Baseia-se

na previsão de estados futuros por meio do comportamento de variáveis e conseguem fornecer probabilidades projetadas para o mundo real, gerando alternativas e fornecendo a melhor escolha a ser feita por um analista, respondendo a alguns questionamentos e incertezas futuras.

- Otimização - já não se baseia em probabilidades e em respostas distintas. Este dispõe de uma análise sistemática de algoritmos e fornece uma única solução ótima que será considerada por quem faz a análise. Trata-se de maximizar ou minimizar uma função objetivo por meio dos valores das variáveis, considerando todas as restrições presentes no problema.

2.2.3.1 Modelagem matemática

Arenales (2015) descreve que os modelos matemáticos ou formulações matemáticas podem ser relacionados a ocorrências reais cotidianas, a problemas práticos que precisam de uma solução. Porém, para que essa relação aconteça, esses casos reais devem ser simplificados e também estudados, detalhados e estruturados para que conhecendo bem o problema e seu comportamento seja possível moldá-lo de tal forma que se possa aplicar uma resolução através de problemas matemáticos.

Os modelos matemáticos necessitam de informações quantificáveis contendo um conjunto de detalhes e análises que possam delimitá-lo de modo que: os resultados consigam atingir a necessidade inicial pendente; o modelo seja consistente com os dados; o modelo possa ser analisado dentro do tempo disponibilizado para a sua concepção. LACHTERMACHER (2016)

Existem etapas ou fases da elaboração de uma modelagem matemática em pesquisa operacional. Conforme Andrade (2015):

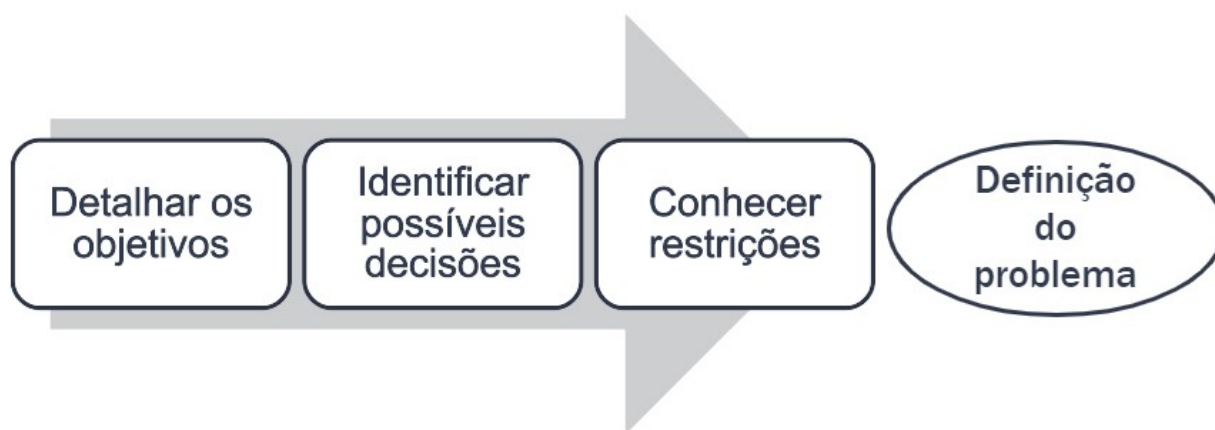
- Definição do problema

Esta etapa é onde vai ser definido o tipo específico de problema a ser tratado e é dividida em três partes:

1. Detalhamento de todos os objetivos, do que se pretende alcançar com o estudo;
2. Identificação de todas as formas de decisão possíveis no problema;
3. Identificação e familiarização de todas as restrições, limitações e requisitos do problema;
4. Definição do problema estabelecendo especificamente o que irá ser tratado.

A figura 3 ilustra esse segmento para a definição do problema.

Figura 3: Segmento de definição do problema



Fonte: elaborado pela autora, 2021

O detalhamento dos objetivos é o que possibilita a visão direcionada a um tipo específico de formulação. Trata-se da forma de identificar o tipo de modelo que mais se encaixa nas especificações e será capaz de obter o resultado esperado. Tem a ver também com a identificação das formas de decisão do problema, o esclarecimento de como é o funcionamento e o comportamento do problema, de quais formas vão ser dispostas as bases das decisões a serem tomadas. O conhecimento de todas as restrições do problema é importante pois ajuda na prevenção de acontecimentos inesperados, já deixa familiarizado quem está envolvido no estudo todas as limitações do problema para que haja então uma preparação para tais situações de riscos.

- Construção do modelo

Esta é uma etapa que exige uma atenção e dedicação ao problema em análise, pois é a hora que o modelo do problema é definido e onde será determinada a forma como a análise será feita até o final e, conseqüentemente, também determina o sucesso ou falha dos resultados que serão obtidos.

- Solução do modelo

A etapa de solução é onde o modelo será testado, ou seja, é a fase de obtenção de respostas. Como estamos tratando de modelagem matemática então isso é feito com a utilização de ferramentas que tenham o algoritmo que faça a interpretação dos cálculos e seja capaz de encontrar a chamada solução ótima em um tempo de resposta curto de acordo com as variáveis definidas e as restrições do problema.

- Calibração do modelo

Essa etapa é em que ocorre a análise para descobrir se o modelo aplicado teve sucesso e se realmente o método escolhido para encontrar a solução do problema é válido. Essa calibração acontece se a solução fornecida mostrar uma definição correta para o segmento da problematização, gerando respostas que gerem vantagem para as decisões que serão tomadas na hora de apontar as mudanças de melhoria.

Pode-se testar a validade do modelo, caso haja um histórico de dados e um real comportamento desses dados durante um período. Dessa forma, faz-se a comparação do comportamento resultante da modelagem matemática com os resultados reais anteriores. Caso não haja nenhum histórico de dados, como para planejamento futuro, então é feita apenas uma análise para saber se o resultado fornecido pelo modelo está dentro do que era esperado alcançar.

- Implementação da solução

É a etapa em que os valores obtidos na modelagem são levados para a

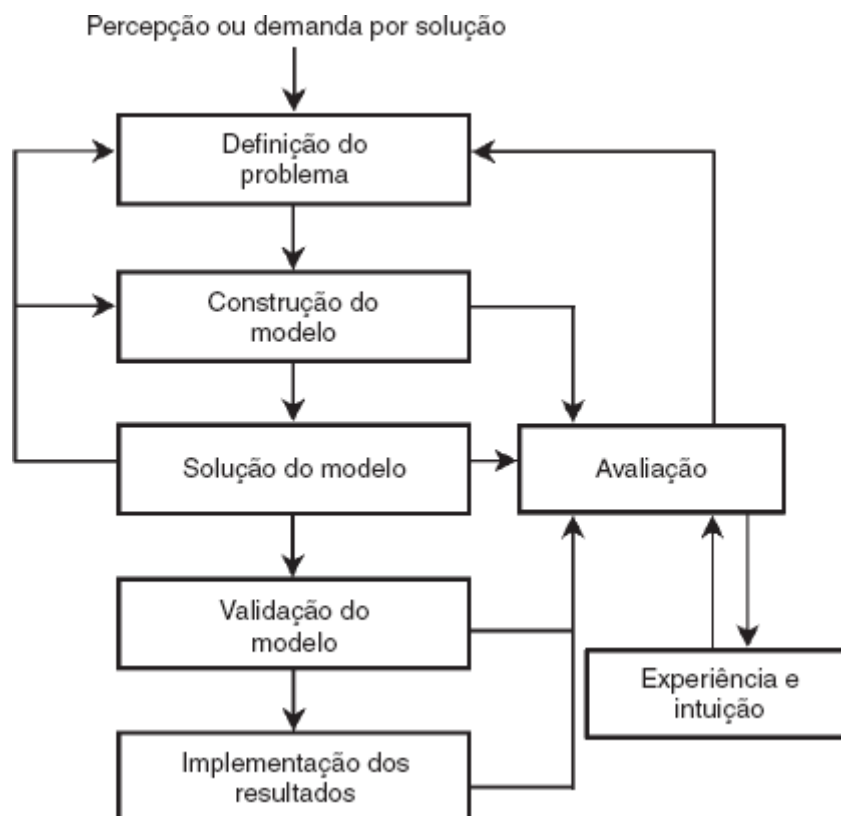
situação prática, é onde são expostas as mudanças que atuarão diretamente no problema em questão. O intuito do estudo é buscar alterações de segmentos operacionais que estavam gerando um problema real que afeta a organização. Portanto, após obter a solução e validá-la, ocorre a implementação.

- Avaliação final

É a etapa em que é feita a análise após o término de toda a aplicação do estudo de pesquisa operacional. Devem ser vistas de modo mais amplo todas as alterações que houve nos segmentos operacionais do local onde está a causa do estudo, o tratamento dessas mudanças pelos envolvidos, o fortalecimento do método para que seja possível dar continuidade.

Essas são todas as fases da construção de um estudo com foco na solução de um problema de pesquisa operacional, para que o estudo tenha sucesso cada uma dessas fases deve ser executada de forma correta. A figura 4 mostra um pequeno fluxo das fases.

Figura 4: Fases da modelagem matemática

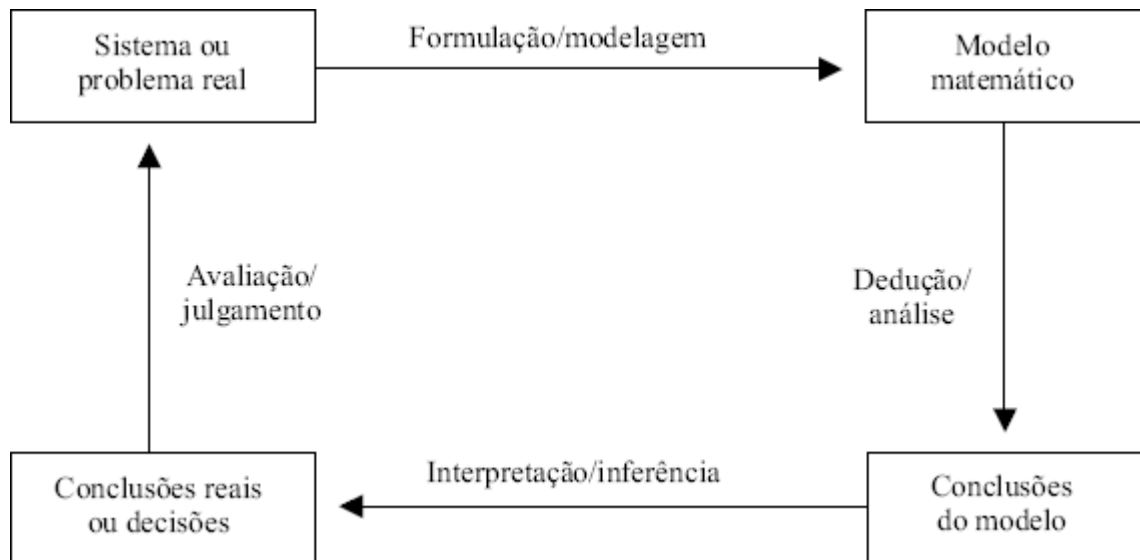


Fonte: ANDRADE, E. 2015

Ainda conforme Arenales (2015), o tratamento desse tipo de abordagem matemática é definida por um processo formado pela modelagem: que define as variáveis no problema e as características que vão estabelecer um comportamento e formular o problema; a análise: em que vai ser feito o uso de ferramentas tecnológicas de resolução do problema para a aplicação e resolução do problema; a inferência: que vai dizer se a solução do problema teve o direcionamento necessário para interferir em mudanças e decisões da situação real. A figura 5 é um esquema que mostra visualmente esse processo.

29

Figura 5: Processo de modelagem



Fonte: ARENALES, M. 2015.

Como discutido na Seção 2.3, definiu-se a possibilidade de haver dois modelos de Pesquisa Operacional: simulação e otimização. Em geral, estes modelos são formados e definidos pelas técnicas de resolução de problemas que são usadas na solução. No caso dos modelos de otimização, há variáveis de decisão que modelam o problema, uma função objetivo que é gerada de acordo com o intuito do estudo, podendo ser uma função de minimização ou maximização a partir das relações entre as variáveis de decisão presentes no cálculo, bem como as restrições associadas ao problema.

Os modelos de Pesquisa Operacional estão em várias divisões e áreas, tudo isso se acumula dentro de três grupos de técnicas de resolução que são as que possuem as características que formam o modelo, são elas:

- Programação linear: o problema tem um comportamento linear com variáveis contínuas;

$$\text{Máx(ou Mín)} Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq / \geq b_i \quad (2)$$

$$\text{Máx(ou Mín)} Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

onde, c_n são coeficientes de custo, a_i são coeficientes tecnológicos e x_n são as variáveis de decisão.

- Programação não linear: as variáveis, a função objetivo ou as restrições irão apresentar não linearidade em seu comportamento;
- Programação inteira: na programação inteira, as variáveis apresentam valores discretos.
- Programação linear

Na programação linear com o foco em otimização linear, busca-se a otimização de processos que auxiliem na tomada de decisão para resolução de um problema.

A seguir, serão mencionadas algumas situações práticas presentes em Arenales (2015) de áreas que podem ser incluídas em modelos de programação linear:

- Problemas de gestão financeira

Este problema pode ser útil para uma empresa que tem o objetivo de aumentar seu retorno de investimento, o modelo promove uma gestão de fluxo de caixa.

- Problemas de transporte, transbordo e designação (logística).

Este consiste em designar a melhor rota de transporte de mercadorias que saem do centro de distribuição até o cliente final, programando o melhor caminho de acordo com a localização de cada destino, respeitando as restrições de quantidades demandadas pelos receptores e da quantidade produzida e armazenada pelo fornecedor.

- Problemas de planejamento da produção

Ainda segundo Arenales (2015) se dividem da seguinte forma:

1. Mix de produção (planejamento estático)

Define um modo de tomar a melhor decisão de quanto produzir de um determinado produto considerando o que necessita para que seja produzido, as quantidades que precisam ser produzidas, quando deve ser produzido e as características que devem ter para que estejam de acordo com o esperado pelo cliente final, isso tudo de modo que o lucro seja maximizado.

2. Otimização robusta

É usada quando há incertezas na delimitação de um problema e quando não é possível conhecer totalmente todas as informações necessárias para sua formulação do problema, assim fornece uma solução estimada com base nessas incertezas.

3. Seleção de processos (planejamento estático)

Este modelo se assemelha ao de mix de produção, porém se diferencia pelo fato de considerar uma empresa que tenha fabricações que gerem mudanças e meios alternativos na execução dos processos de produção.

4. Dimensionamento de lotes (planejamento dinâmico ou multi períodos)

São mais voltados para fábricas com uma linha de produção customizada, que produzem produtos com uma diversidade alta, o modelo ajuda na definição do tamanho dos lotes de produção para que nada seja desperdiçado ou chegue a faltar para os clientes finais, o modelo tem um planejamento adequado para evitar custos desnecessários.

5. Formulação matemática de um dimensionamento de lotes - mono estágios

Se assemelha ao modelo anterior, porém com alguns acréscimos por exemplo de um produto que depende de um componente que não é produzido na própria empresa e precisa ser providenciado externamente.

6. Problemas de programação de projetos

Determina uma melhor ordem de execução de atividades de um projeto, identificando todas as atividades que são necessárias para que o projeto aconteça e ordenando cada uma respeitando as ordens de precedência e no final indicando o melhor caminho sequencial de atividades a ser seguido.

Em relação aos trabalhos anteriores e correlatos, Almeida et al (2016) utilizam a programação linear para um problema prático em uma empresa do ramo alimentício. O objetivo dos autores foi a minimização do o custo de produção utilizando a programação linear com intuito de desenvolver um modelo matemático que indicasse a quantidade otimizada de insumos a ser comprada mensalmente. Tendo em vista a demanda mensal e a capacidade produtiva e financeira da empresa, através da ferramenta solver do software Microsoft Excel, os autores concluíram que o planejamento otimizado se aplicado no estabelecimento reduziria o custo mensal em 9%.

● Programação linear inteira

Segundo Hillier e outros (2013) a limitação da programação linear inteira ou somente programação inteira acontece pelo fato de que apenas valores inteiros podem entrar nas variáveis de decisão do problema e assim incluem apenas problemas reais que tratam por exemplo de alocação pessoal que é feita em quantidades inteiras. Existem casos de Programação Inteira Mista usados quando nem todas as variáveis de decisão são inteiras. (HILLIER e outros, 2013).

Benito (2017) aborda a programação linear inteira e sua divisão em três tipos de resoluções de problemas:

1. Princípio da separação ou subdivisão: o problema é segmentado em outros subproblemas e busca-se então alcançar a resposta para esses subproblemas, podendo assim uma dessas respostas vir a solucionar também o problema original ou vice-versa.
2. Relaxamento do problema: quando é ignorada a condição que diz

que as variáveis do problema devem ser maiores ou iguais a zero e inteiras.

3. Fathoming (aprofundamento): Quando é feito o aprofundamento do problema por meio de fluxos de decisão.

Hillier e outros (2013) estabelece um padrão na solução de problemas de programação inteira que é a resposta de sim ou não para planejamentos futuros. Os mesmos autores abordam alguns tipos de problemas reais que se encaixam em programação linear inteira:

Análise de investimento

Este tipo de problema envolve uma solução direcionada para a decisão de realizar ou não um investimento de uma quantidade de dinheiro já pré-determinada em um projeto que está sendo cogitado. Muitas vezes uma empresa não tem certeza se um novo gasto com incrementos ou novidades para gerar um lucro maior será realmente vantajoso como esperado ou se não haveria um retorno viável para tal investimento, e nesses casos uma decisão de ir em frente ou recuar é de grande ajuda, este é um problema que pode ser solucionado com a análise de investimento.

Desenho de redes de produção e distribuição

Problemas deste tipo respondem a vários questionamentos que interferem no desempenho produtivo de uma organização. Os custos de uma fábrica com o gerenciamento da cadeia de suprimentos são altos e por isso é muito importante analisar cada gasto. Os centros de produção, armazenamento e distribuição precisam gerar vantagem em suas delimitações e isso levanta alguns questionamentos sobre a necessidade de haver ou não um local a mais para distribuição ou se o centro distribuidor já existente deve continuar em operação ou se há necessidade de abrir outro centro de produção.

Programação de atividades inter-relacionadas

Toda organização precisa de planejamento de tarefas para obter uma

estrutura segura na execução de processos, é preciso conhecer o tempo de andamento da produção de tais mercadorias para que tenha início da data certa e para que assim possa ser atendida a demanda dos clientes no prazo correto ou entender o comportamento do mercado consumidor para saber se é necessário ou não aumentar os recursos produtivos.

- Programação não linear

Ainda mencionando a abordagem de Hillier e outros (2013), a programação não linear, como já é intitulada, não contém linearidade na função objetivo e está presente em problemas reais tais como:

- Problema do mix de produtos com elasticidade de preços

O problema consiste em definir o mix ótimo da linha de produção de modo que o custo seja mínimo e a demanda seja atendida em quantidades corretas e com qualidade, porém neste tipo de problema existe a elasticidade de preços que é quando a quantidade demandada de um produto a ser vendido tem relação inversa ao valor que será cobrado pela venda do produto.

- Problema de transporte com desconto nos custos de transporte para o mesmo volume

Este problema é basicamente estabelecer um estudo das rotas de transporte das desde os locais de origem até os locais de destino final levando em conta todas as restrições de demanda e capacidade de produção de modo que o custo total com transporte seja mínimo.

- Seleção de carteiras com título de alto risco

A incerteza gerada na hora de fazer um investimento está sempre presente, pois nem sempre o que foi gasto terá retorno positivo. Este problema é usado para fornecer uma solução para o caso estudado de modo a estabelecer uma relação ótima entre um investimento financeiro que uma empresa faz e o retorno que virá a ter.

3 METODOLOGIA

O método é todo padrão de segmentos feitos de acordo com quais tipos de dados objetiva-se captar e a quantidade de informações que se pretende recolher para atingir os resultados esperados em determinado estudo científico utilizando-se de meios específicos para cada tipo de pesquisa. A metodologia vai de encontro à ciência instrumental para gerar outras ciências por meio de métodos de busca de conhecimento resultando em meios alternativos de respostas ou ferramentas com novas aplicações. (NASCIMENTO, 2016)

Os objetivos principais e as hipóteses de uma pesquisa estão interligadas e são o plano de estudo que deve se cumprir ao final de todo o trabalho científico, caso não sejam atingidos de forma esperada então todo o rumo do estudo se distorce e tende a algo sem comprovação ou sem embasamento. (APPOLINÁRIO, 2015). O método traz facilidade para o alcance dos objetivos principais do trabalho e ajuda de forma segura na conceituação e alcance da hipótese do estudo, proporcionando segurança na coleta de dados para o estudo. (LOZADA, 2019)

3.1 Local da pesquisa

Este estudo consiste na aplicação da pesquisa operacional como ferramenta de tomada de decisões quanto aos recursos necessários para a execução de um serviço prestado por uma empresa na área de Automação, cujo nome fantasia criado para este estudo foi LX Automação, mais especificamente se trata de um projeto de instalação de um sistema de detecção e alarme de incêndio em um hospital de Fortaleza cujo nome não será mencionado por questões de sigilo.

A empresa presente neste estudo atua nas áreas de projeto e execução de sistemas de automação em diversos segmentos industriais, prediais, na área de saneamento e recursos hídricos, metro-ferroviários e prestação de serviços de automação e desenvolvimento de produtos eletrônicos, como sensores especiais, módulos de automação,

conversores de mídia entre outros.

Trata-se de uma empresa de pequeno porte e está localizada em Fortaleza - CE. Atua no mercado há mais de 30 anos com tradição em nível regional.

Os tipos de sistemas se dividem da seguinte forma:

- Projeto e execução de sistemas de automação em diversos segmentos industriais;
- Projeto e execução de sistemas de automação na área de saneamento e recursos hídricos;
- Projeto e execução de sistemas de automação Metro-ferroviários;
- Projeto e desenvolvimento de novos produtos aplicados à área de automação e instrumentação.
- Projeto e execução de sistemas de automação prediais, que são os que terão uma atenção maior nesta pesquisa. A empresa presente neste estudo possui os seguintes tipos de sistemas prediais:
 - Elaboração de projetos de automação para edifícios inteligentes, inclusive visando certificações nacionais e internacionais;
 - Sistema de detecção, alarme e combate contra incêndio;
 - Sistema de circuito fechado de TV;
 - Sistema de controle de acesso;
 - Sistema de sonorização ambiente;
 - Sistema de gestão de estacionamento;
 - Controle de utilidades (Sistemas elétricos, hidráulicos e refrigeração).

3.2 Delineamento da pesquisa

3.2.1 Quanto ao tipo

Existem inúmeras classificações e grupos distintos quando se trata de tipos de pesquisa. Marconi e Lakatos (2017) abordam divisões de diversos autores para os tipos de pesquisa, os autores começam mencionando uma classificação em dois tipos que se baseia nas ideias de Ander-Egg (1978):

Pesquisa básica pura ou fundamental - a característica principal desta pesquisa é o objetivo principal da mesma ser voltado apenas a ampliar conhecimentos. Este tipo de pesquisa não é feito sem a preocupação de uma aplicação real e sim apenas para gerar estudos teóricos e agregar em aspectos de aprendizagem.

Pesquisa aplicada - este já é o oposto da anterior por ser baseada em um interesse de aplicação prática. O objetivo da pesquisa aplicada é estudar um problema ou uma questão real para que seja encontrada uma solução que altere esses fatos reais.

Levando em conta a classificação anterior, esta pesquisa é do tipo aplicada por ter como objetivo a análise de um problema prático em um serviço prestado por uma empresa para que por meio da aplicação de uma ferramenta de auxílio na tomada de decisões seja possível propor uma melhoria na prática deste serviço.

3.2.2 *Quanto à técnica*

Dentre as técnicas de pesquisa está a documentação indireta que ocorre quando os dados levantados sobre o estudo são provindos do mesmo lugar onde acontece o fenômeno. (MARCONI e LAKATOS, 2017)

Para Marconi e Lakatos (2017) esta técnica se divide em duas formas de realização:

- Pesquisa de campo
- É a busca por conhecer, analisar e entender um problema com intuito de prover soluções, prevenções ou formas de lidar com o problema. Também ocorre quando as informações buscadas objetivam a comprovação para uma hipótese ou a comparação de variáveis para uma análise de relação entre elas.

As pesquisas de campo podem ser de três tipos:

1. Quantitativos-descritivos: são métodos investigativos que visam aumentar o conhecimento através de uma análise de determinado fato, acontecimento ou problema.

2. Exploratórios: têm por finalidade fazer a formulação de um problema desenvolvendo hipóteses, aumentando o domínio do pesquisador sobre o fato, acontecimento ou fenômeno e modificando os conceitos.
3. Experimentais: acontece quando já existe um ambiente amostral e se caracteriza por testar hipóteses ou manipular variáveis para chegar-se a uma descoberta ou resultado.

- Pesquisa de laboratório

Este tipo de pesquisa já possui uma especificidade maior por só acontecer em ambientes adequados a tal estudo e necessitar e ou instrumentos para realizar o procedimento de investigação, fazendo experiências que vão de acordo com o tipo de ciência que foi escolhida.

Henriques e Medeiros (2017) dividem as técnicas de pesquisa em três tipos:

- Observação, que chega a ser considerada como um método de investigação por estar presente em vários momentos da pesquisa ajudando a reconhecer dados, coletar respostas e somar informações para o estudo.

- Questionário, que consiste em um conjunto de perguntas elaboradas pelo autor da pesquisa a fim de obter informações que ajudarão a evoluir no estudo em questão. As perguntas são enviadas por escrito ao informante que tem total conhecimento sobre o tema, que deve devolver o questionário com as respostas das perguntas também por escrito.

- Entrevista, que também envolve perguntas feitas pelo autor da pesquisa ao informante, porém pessoalmente.

Sendo assim, baseando-se nas técnicas abordadas anteriormente, esta pesquisa utiliza a técnica de documentação inteira por resgatar dados do mesmo local em que ocorre o projeto que está sendo estudado e sua realização é feita por meio de uma pesquisa de campo por coletar informações para análise de problemas práticos buscando meios de tratar estes problemas e é definida por quantitativa descritiva por investigar um fato de modo aumentar o domínio sobre este fato e assim tratá-lo corretamente. Também foi feita a observação e aplicação de questionário.

3.2 Levantamento de dados

Marconi e Lakatos (2017) comentam que as fontes de dados de uma pesquisa de campo devem ser detalhadas desde o princípio e fazem a divisão em dois tipos: fontes primárias, que são as fontes de acesso direto podendo estar em arquivos, dados estatísticos, históricos, sistemas confidenciais, entre outros e fontes secundárias que são aquelas coletadas da imprensa ou obras literárias.

Serão utilizadas neste trabalho fontes primárias de dados e a coleta desses dados foi feita através de questionários direcionados ao líder do projeto estudado e também por meio de acesso ao sistema interno de gestão de projetos em andamento e do servidor da empresa LX Automação. Isto quer dizer que os dados coletados serão tanto numéricos quanto descritivos e será feita coleta de dados documental e por meio de questionário. O questionário completo aplicado consta em apêndices.

Os dados numéricos estão relacionados à parte de análise econômica financeira do projeto estudado, que são valores de Mão de obra, materiais e equipamentos. Esses dados são agrupados em planilhas gerais ou detalhadas contendo os gastos com cada projeto, podem ser planilhas de lista de material do projeto, relação de custos com mão de obra para aquele projeto ou despesas operacionais. Essas informações podem ser de planejamento ou de execução atual.

3.3 Estruturação do problema

O quadro um abaixo mostra de modo geral e mais claro o passo a passo do caminho para alcançar os resultados desta pesquisa:

Quadro 1: Etapas de elaboração dos resultados.

1º passo: Coleta de dados descritivos
Obter todas as respostas sobre como ocorre a instalação do serviço dentro da estrutura do prédio.
Como fazer?
Aplicar questionário direcionado ao líder do projeto para obter um detalhamento de como ocorre cada etapa de todo o processo.
Resultado
Compreensão das instalações prediais e exigências de entrega do serviço prestado, delimitando as quantidades necessárias de material, equipamento, ferramentas e mão de obra.
2º passo: Coleta de dados numéricos

Coletar dados numéricos sobre as variáveis de decisão do projeto atrelados aos custos e quantidade de mão de obra para que sejam analisados, estruturados e definidos de forma correta para formular o problema.
Como fazer?
Por meio de coleta documental no sistema gerencial e servidor da empresa LX Automação.
Resultado
Compreensão dos valores de gastos planejados e reais do projeto estudado em relação às necessidades de instalação.
3º passo: aplicar os dados na modelagem do problema
relacionar as informações obtidas sobre o serviço a ser prestado com o problema que será formulado.
Como fazer?
Analisar os recursos e as quantidades mínimas necessárias para a execução do projeto e assim definir as variáveis de decisão que formarão o problema, apontar quais são as restrições do problema e modelar o problema.
Resultado
Modelagem do problema concluída e com isso o modelo será testado.
4º passo: Resolução do problema e análise dos resultados
Testar o modelo e analisar a solução.
Como fazer?
Resolver o cálculo matemático por meio da ferramenta Solver do Microsoft Excel de acordo com o tipo de modelo para qual o problema irá se encaminhar.
Resultado
O modelo será solucionado e fornecerá as respostas que serão comparadas com os dados reais.

Fonte - Autoria própria (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pela análise dos dados quantitativos coletados junto ao servidor da empresa em planilhas de planejamento econômico de quantidades de materiais e equipamentos a serem utilizados no projeto e custos mensurados, pôde-se perceber que a obra apresentou aumento considerável nas quantidades de cabeamento estabelecidas previamente e conseqüentemente nos gastos do projeto. Foi feito o planejamento de uma quantidade de 18000 metros de cabo e o projeto atualmente já atingiu a quantidade de 24000 metros de cabo utilizados, chegando a uma diferença de 6000 metros.

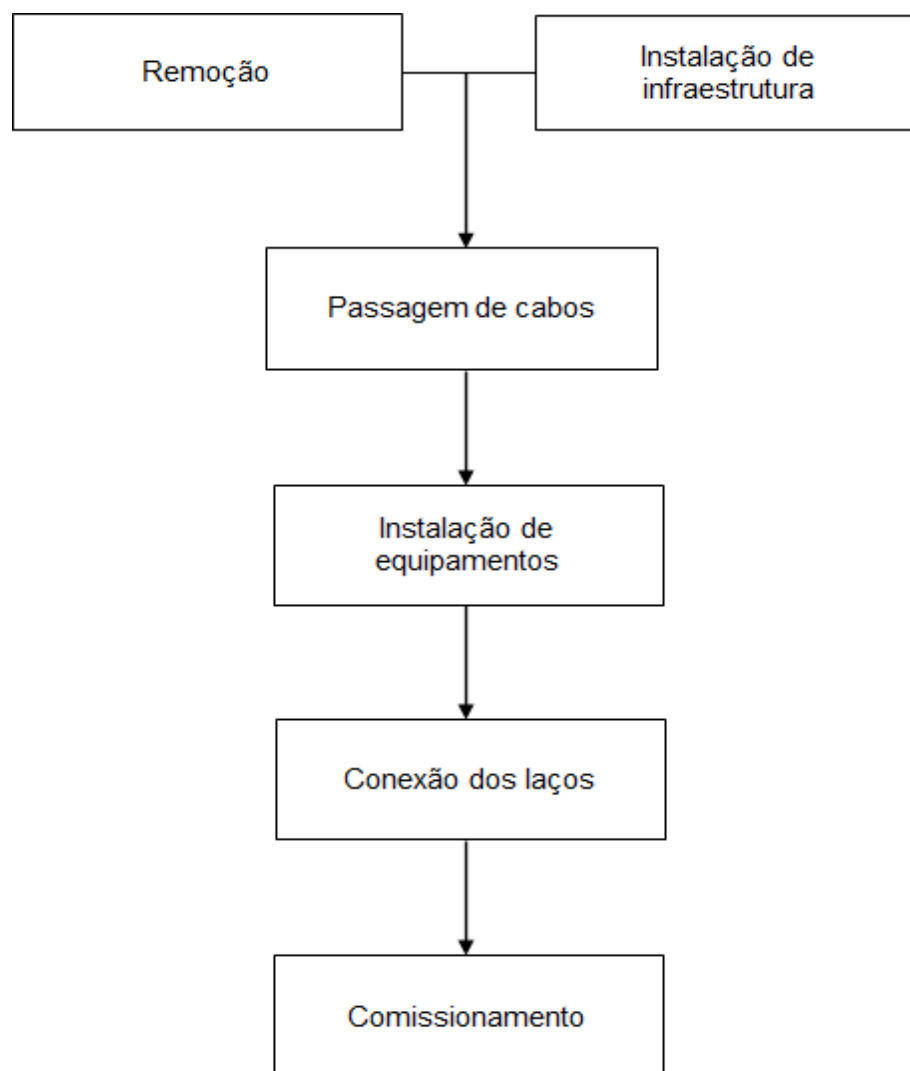
Em relação a esta diferença, constatou-se que a quantidade planejada inicialmente foi realmente utilizada e os desperdícios ou perdas resultantes de sobras ou não utilização de cabos chegou a uma quantidade em torno de apenas 300 metros de cabo.

Nesse caso, houve erro na fase inicial de planejamento e definição das quantidades mínimas que seriam utilizadas. Sabendo-se que em determinada fase do projeto a demanda por cabos é superior, a partir disso, define-se então um padrão de análise quanto às execuções das etapas finais da obra com relação a esse recurso.

Através do questionário aplicado foi possível constatar e analisar as seguintes informações:

O projeto é composto por 2 centrais de incêndio e 15 laços de detecção a serem instalados no prédio do hospital. A instalação de cada laço segue as seguintes etapas: remoção; instalação da infraestrutura; passagem de cabos; instalação de equipamentos; conexão dos laços e comissionamento. A instalação de cada central também envolve: instalação da infraestrutura; passagem de cabos; instalação de equipamentos; conexão dos laços e comissionamento. A figura 6 mostra um fluxo de execução das atividades necessárias para a instalação de um laço de detecção.

Figura 6 - Atividades do projeto referentes à instalação dos laços de detecção.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021

A atividade de remoção consiste na retirada ou desinstalação do sistema antigo que já estava instalado no local. É feita a remoção do equipamento, equipamento e infraestrutura. A atividade de instalação consiste na disposição da infraestrutura necessária para a distribuição dos laços de detecção e em seguida é feita a de passagem dos cabos pela infraestrutura instalada. A atividade de instalação de equipamentos consiste na fixação mecânica do equipamento e em seguida acontece a conexão do laço. A finalização foi realizada no comissionamento.

A obra teve um planejamento de execução que visava o término do projeto no período de 9 meses segundo o gestor do projeto. No decorrer do projeto são instalados quinze laços de detecção e duas centrais de alarme e os tempos para que cada laço fique pronto variam de acordo com cada instalação, mas em média cada laço dura em torno de 25 dias para ficar pronto e cada central dura 1 dia. Neste trabalho, apenas as atividades referentes à instalação dos laços de detecção foram consideradas.

4.1 Modelagem

Como já mencionado anteriormente, no planejamento do projeto houve uma estimativa de que seria possível que a execução do projeto fosse concluída dentro de um período de 9 meses de acordo com uma determinada quantidade de funcionários direcionados a tais funções para este serviço. Porém, a quantidade de trabalhadores alocados oscilou no decorrer da execução da obra e houve um desvio no período de execução real do projeto. O problema prático a ser solucionado é em relação a definição e organização desses recursos no tempo ideal.

A modelagem foi feita visando diminuir os custos de prestação do serviço de instalação de um sistema de detecção e alarme de incêndio. O desenvolvimento do modelo foi pensado com foco na mão de obra alocada para a prestação do serviço, visando estabelecer os custos mínimos por tipo de mão de obra proporcionais aos tempos totais de cada atividade que compõem o projeto.

Inicialmente, a equipe do projeto foi definida por 8 trabalhadores no total, sendo três eletricitas, quatro auxiliares e um analista alocados para as atividades: 1 - remoção; 2 - instalação da infraestrutura; 2 - passagem de cabos; 4 - instalação de infraestrutura; 5 - conexão do laço e 6 - comissionamento conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento de alocação de funcionários

MO	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3	Atividade 4	Atividade 5	Atividade 6
Eletricista		3	2	1	1	
Auxiliar		4	2	1	1	1
Analista	1					1

Elaborado pela autora, 2021

De acordo com a Tabela 1, na etapa de remoção, projetou-se a alocação de um único trabalhador; para a etapa de instalação da infraestrutura, o trabalho de toda a equipe (exceto do analista do projeto); para a passagem de cabos, três a quatro trabalhadores; para a instalação de equipamentos, um a dois trabalhadores; por fim, a conexão do laço é feita com apenas dois e o comissionamento com dois também.

A Tabela 2 apresenta os tempos individuais que cada atividade do projeto leva para ser executada.

Tabela 2 - Tempos de duração das atividades do projeto

Duração	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3	Atividade 4	Atividade 5	Atividade 6
Tempo/ atividade	0,02 dias	10 dias	5 dias	5 dias	2 dias	2 dias
Tempo total no projeto/	1 dia	150 dias	75 dias	75 dias	30 dias	30 dias

Elaborado pela autora, 2021

A execução sequencial das atividades dispostas na Tabela 2 determina a formação de um laço de detecção, essa sequência de atividades é repetida para os 15 laços. Os tempos de duração por atividade estabelecem a quantidade de dias que uma atividade demanda para ser concluída e o tempo total por atividade mostra o resultado da multiplicação do tempo de execução da atividade pelo número de laços de detecção.

4.1.1 Resolução do problema

O problema é formado por uma função objetivo que tem comportamento linear, uma restrição funcional geral e pelas demais restrições funcionais complementares, agrupadas tendo em vista atender às condições impostas pelo número de trabalhadores por tipo e pelas atividades do projeto

A função objetivo foi definida da seguinte forma: Considerando,

Tipos de atividades, sendo:

Remoção: $i = 1$;

Instalação da infraestrutura: $i = 2$; Passagem dos cabos: $i = 3$; Instalação de equipamentos: $i = 4$; Conexão do laço: $i = 5$; Comissionamento: $i = 6$.

Tipos de trabalhadores, sendo

x =eletricista,

y = auxiliar e

z = analista

Teremos as variáveis de decisão:

x_i - Número de eletricitas na atividade i

y_i - número de auxiliares na atividade i

z_i - número de analistas na atividade i

c_{xi} - Custo unitário do eletricitista na atividade i no projeto inteiro

c_{yi} - custo unitário do auxiliar na atividade i no projeto inteiro

c_{zi} - custo unitário do analista na atividade i no projeto inteiro

a_{xi} - Tempo total disponível por eletricista na atividade i no projeto inteiro

a_{yi} - tempo total disponível por auxiliar na atividade i no projeto inteiro

a_{zi} - tempo total disponível por analista na atividade i no projeto inteiro

Logo,

Minimizar α

$$= c_{z1}z_1 + c_{x2}x_2 + c_{y2}y_2 + c_{x3}x_3 + c_{y3}y_3 + c_{x4}x_4 + c_{y4}y_4 + c_{x5}x_5 + c_{y5}y_5 + c_{y6}y_6 + c_{z6}z_6 \quad (3)$$

Multiplica-se o custo por dia de cada especialista (eletricista, auxiliar ou analista) pela quantidade de dias planejados para o tempo total do projeto (9 meses) e assim obtêm-se o custo de cada especialista durante o projeto inteiro. Foi utilizado para o cálculo dos custos unitários os seguintes valores na Tabela 3.

Tabela 3 - Custos de mão de obra

Cargo	Custo / dia	Custo total
Eletricista	R\$ 300,00	R\$ 59.400,00
Auxiliar	R\$ 175,00	R\$ 34.650,00
Analista	R\$ 250,00	R\$ 49.500,00

Elaborado pela autora, 2021

Foram obtidos os seguintes valores de custos unitários:

Minimizar α

$$\begin{aligned}
 &= 49500z_1 + 59400x_2 + 34650y_2 + 59400x_3 \\
 &+ 34650y_3 + 59400x_4 + 34650y_4 + 59400x_5 \\
 &+ 34650y_5 + 34650y_6 + 49500z_6
 \end{aligned} \tag{4}$$

E as seguintes restrições:

Geral:

$$a_{z1}z_1 + a_{x2}x_2 + a_{y2}y_2 + a_{x3}x_3 + a_{y3}y_3 + a_{x4}x_4 + \tag{5}$$

$$a_{y4}y_4 + a_{x5}x_5 + a_{y5}y_5 + a_{y6}y_6 + a_{z6}z_6 \leq 252$$

Multiplica-se o tempo disponível de trabalho de cada trabalhador (x, y ou z) por mês pela quantidade de meses que foi planejada para executar o projeto (9 meses) e o resultado é dividido pela somatória de todas as atividades que o especialista (x, y ou z) está presente. Assim, a disponibilidade de cada trabalhador é distribuída proporcionalmente para as atividades que participa. Os valores dos tempos utilizados em tais cálculos estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Tempos do projeto

Tempo planejado do projeto	Tempo / mês disponível por trabalhador	tempo total disponível por trabalhador
252 dias	22 dias	198 dias

Elaborado pela autora, 2021

A restrição com os valores associados fica da seguinte forma:

$$6,4z_1 + 90x_2 + 82,5y_2 + 45x_3 + 41,3y_3 + 45x_4 + 41y_4 + 45x_5 + \tag{6}$$

$$16,5y_5 + \quad)$$

$$16,5y_6 + 191,6z_6 \leq 252$$

As demais restrições funcionais foram divididas em grupo.

● Grupo 1:

Disponibilidade de eletricitas por atividade - a soma dos tempos totais de trabalho de eletricitas em de todas as atividades exercidas não pode ser maior do que a disponibilidade máxima dos eletricitas, 594 dias.

$$150x_2 + 75x_3 + 75x_4 + 30x_5 \leq 594 \quad (7)$$

Disponibilidade de auxiliares por atividade - a soma dos tempos totais de trabalho de auxiliares em de todas as atividades exercidas não pode ser maior do que, a disponibilidade máxima dos auxiliares, 792 dias.

$$150x_2 + 75y_3 + 75y_4 + 30y_5 + 30y_6 \leq 792 \quad (8)$$

Disponibilidade de analista por atividade - a soma dos tempos totais de trabalho de analistas em de todas as atividades exercidas não pode ser maior do que, a disponibilidade máxima dos analistas, 198 dias.

$$z_1 + 30z_6 \leq 198 \quad (9)$$

● Grupo 2

Quantidade mínima de trabalhadores por atividade - Em cada atividade, deve haver no mínimo.

um trabalhador.

A soma de analistas nas atividades 1 e 6 deve ser maior ou igual a um.

$$z_1 + z_6 \geq 1 \quad (10)$$

A soma de eletricitas e auxiliares na atividade 2 deve ser maior ou igual a um.

$$x_2 + y_2 \geq 1 \quad (11)$$

A soma de eletricitas e auxiliares na atividade 3 deve ser maior ou igual a um.

$$x_3 + y_3 \geq 1 \quad (12)$$

A soma de eletricitas e auxiliares na atividade 4 deve ser maior ou igual a um.

$$x_4 + y_4 \geq 1 \quad (13)$$

A soma de eletricitas e auxiliares na atividade 5 deve ser maior ou igual a um.

$$x_5 + y_5 \geq 1 \quad (14)$$

A soma de auxiliares e analistas na atividade 5 deve ser maior ou igual a um.

$$y_6 + z_6 \geq 1 \quad (15)$$

● Grupo 3

Quantidade mínima de cada especialidade de trabalho no projeto.

A soma de eletricitas para as atividades 2, 3, 4 e 5 deve ser maior ou igual a um.

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 1 \quad (16)$$

A soma de auxiliares para as atividades 2, 3, 4, 5 e 6 deve ser maior ou igual a um.

$$y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 1 \quad (17)$$

A soma de analistas para as atividades 1 e 6 deve ser maior ou igual a 1.

$$z_1 + z_6 \geq 1 \quad (18)$$

48

● Grupo 4

Tempo mínimo de duração para cada atividade. A quantidade de tempo de trabalho em dias para analista na atividade um deve ser

$$z_1 \geq 1 \quad (19)$$

Quantidade de tempo de trabalho em dias para eletricitas e auxiliares na atividade 2 deve ser maior ou igual a 150.

$$150x_2 + 150y_2 \geq 150 \quad (20)$$

Quantidade de tempo de trabalho em dias para eletricitas e auxiliares na atividade 3 deve ser maior ou igual a 75.

$$75x_3 + 75y_3 \geq 75 \quad (21)$$

Quantidade de tempo de trabalho em dias para eletricitas e auxiliares na atividade 4 deve ser maior ou igual a 75.

$$75x_4 + 75y_4 \geq 75 \quad (22)$$

Quantidade de tempo de trabalho em dias para auxiliares e analistas na atividade 6 deve ser maior ou igual a 30.

$$30x_5 + 30y_5 \geq 30 \quad (23)$$

Quantidade de tempo de trabalho em dias para auxiliares e analistas na atividade 6 deve ser maior ou igual a 30.

$$30y_6 + 30z_6 \geq 30 \quad (24)$$

● Grupo 5

Mínimo de disponibilidade de trabalho para eletricitas, auxiliares e analistas em cada atividade

$$z_1 \geq 1; z_6 \geq 0,1; x_2 \geq 0,5; x_3 \geq 0,5; x_4 \geq 0,5; x_5 \geq 0,5; y_2 \geq 0,5; y_3 \geq 0,5; y_4 \geq 0,5; y_5 \geq 0,5;$$

$$y_6 \geq 0,9$$

A solução final foi:

$$\alpha = 273735$$

$$x = 2$$

$$y = 3;$$

$z = 1,1$; considerou-se 1

A solução final é uma solução viável, de um modelo geral do problema prático, definida por uma função de comportamento linear estruturada através do método Simplex e resolvida pela ferramenta Solver do Microsoft Excel 2016 que estabeleceu os parâmetros de resolução do problema.

A solução viável determinou que, as quantidades de eletricitistas (x) sendo igual a dois, auxiliares (y) sendo igual a três e analistas (z) sendo igual a um, seria possível executar o projeto dentro do tempo estimado sem atrasos.

A solução viável do modelo também resultou em um custo mínimo α que comparado com o custo inicial planejado de mão de obra mostra um valor de 21,55% maior, porém ao analisar as planilhas de valores relacionados ao serviço o custo real atual com mão de obra do projeto aumentou em torno de 54%.

No decorrer do projeto inteiro, houve variações da quantidade de mão de obra alocada para as atividades do projeto com aumento de profissionais para execução do serviço sem que houvesse aumento na demanda de trabalho. Houve gasto desnecessário com o projeto com intuito de combater atrasos no prazo de entrega.

Recomenda-se que seja feito um estudo de tempos e movimentos de cada um dos profissionais alocados ao serviço durante a execução de cada uma das atividades do projeto em questão para que seja possível fazer uma análise mais detalhada e otimizar a organização e alocação das equipes de trabalho por projeto.

A cronoanálise é uma evolução para a solução do modelo que, além de determinar a comprovação da execução do projeto dentro do tempo estimado com a equipe de trabalho definida, também poderá definir a quantidade exata de especialistas que devem ser alocados para cada tipo de atividade.

5 CONCLUSÃO

Como já mencionado anteriormente, pesquisa operacional é um assunto muito abordado atualmente em diversas áreas de estudo, está presente em muitos processos de melhoria de operações e também na otimização de custos em empresas de setores variados. O método de PO é formado por modelos dos tipos conceituais, matemáticos e heurísticos aplicáveis na prática para distintas situações.

Assim como a pesquisa operacional, a automação também é fortemente presente na atualidade, o mercado de prestação de serviços que fornece a instalação de algum sistema automático cresceu consideravelmente nos últimos anos. A diversidade de setores que se pode encontrar a automação também é ampla, alguns exemplos são: seguimento industrial, recursos hídricos, instalações prediais, etc.

Este trabalho abordou a pesquisa operacional dentro da área de serviços de automação predial, mais especificamente, através de uma análise de distribuição de recursos em um serviço de instalação de um sistema de detecção e alarme de incêndio em um hospital de Fortaleza.

Há relevância neste tipo de trabalho em relação ao contexto acadêmico por trazer uma temática que ainda é pouco abordada no meio científico, ampliando os estudos sobre a atuação influente da pesquisa operacional na área de prestação de serviços de automação predial, especificamente, instalação de SDAI.

O trabalho é relevante também no contexto social por exercer uma vantagem no contexto de competitividade de mercado atual, trazendo um estudo mensurado de recursos necessários para um projeto, e beneficiando tanto o conjunto de prestadores de serviço, que não sofrerá desperdícios com custos por erros de planejamento quanto a população consumidora que receberá o serviço contratado com a qualidade ideal desejada.

Este estudo propôs a resolução de problema tratado por um modelo matemático de PO por meio da programação linear. O modelo teve foco na minimização de custos com base na distribuição correta da mão de obra para as atividades que compõem o projeto. O modelo resultou em uma solução viável que determinou a quantidade

necessária de trabalhadores por função para execução do projeto e o custo mínimo total de mão de obra do projeto.

Com base na comparação com os dados quantitativos contidos nas planilhas de formação de custos do projeto, pôde-se observar um aumento de 54% dos custos de mão de obra, o resultado do modelo mostrou um valor de custo mínimo de mão de obra para o projeto com apenas 21,55% a mais em relação ao custo planejado de mão de obra.

Concluiu-se que houve aumento dos custos em maior valor do que o esperado pela atribuição desnecessária de mão de obra em quantidades maiores do que a própria demanda das atividades do projeto exigia.

O objetivo geral deste estudo - propor melhorias no uso de recursos de um projeto em uma empresa especializada no desenvolvimento de sistemas de automação, através de um modelo de otimização de custos - foi atendido através de uma solução viável que determinou o comportamento dos recursos de mão de obra e com isso a solução de onde houve falhas a serem solucionadas.

Os objetivos específicos também foram atendidos conforme a seguir: Analisou-se os dados quantitativos acerca do comportamento das variáveis que compõem o problema de projeto ótimo, o problema prático foi solucionado através da modelagem matemática e foi feito o comparativo do comportamento do projeto após a aplicação da análise e os prováveis ganhos em relação aos valores anteriores.

Esta pesquisa pode evoluir de modo que haja uma elaboração de dados mais específicos com relação à medição de tempos e movimentos de cada trabalhador em seu posto de trabalho, estruturando assim um estudo de cronoanálise e assim obtendo o tempo útil de trabalho por funcionário em cada posto alocado e, por fim, a quantidade exata de especialista exigida por função.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis; BRUCIAPAGLIA, Augusto; MIYAGI, Paulo; TAKAHASI, Ricardo. **Enciclopédia de Automática: Controle e Automação, Volume I**. São Paulo - SP: Editora Blucher, 2017. 9788521207719. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521207719/>. Acesso em: 17 Jun 2021

ALMEIDA, Amanda. **Minimização de Custos Através da Pesquisa Operacional: Estudo de Caso Em Uma Empresa do Ramo Alimentício**. XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção, João Pessoa - PB, outubro de 2016. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_30346.pdf

ANDRADE, Eduardo. **Introdução à Pesquisa Operacional: Método e Modelos para Análise de Decisões**, 5ª edição. Rio de Janeiro - RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda: Grupo GEN, 2015. 978-85-216-2967-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2967-2/>. Acesso em: 05 Set 2020.

APPOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia Científica**. São Paulo - SP: Cengage Learning Brasil, 2015. 9788522122424. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522122424/>. Acesso em: 26 Jan 2021

ARBIX, Glauco; MIRANDA, Zil. **Políticas de Inovação em Nova Chave**. Estudos Avançados [online]. 2017, v. 31, n. 90 [Acessado 2021], pp. 49-73. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190004>>. ISSN 1806-9592. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190004>.

ARENALES, Marcos. **Pesquisa Operacional**. 2ª edição. Rio de Janeiro - RJ. Elsevier Editora Ltda: Grupo GEN, 2015. 9788595155770. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155770/>. Acesso em: 24 Nov 2020

BENITO, Virgillito. **Pesquisa operacional**. São Paulo - SP: Editora Saraiva, 2017. 9788547221188. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547221188/>. Acesso em: 04 Dec 2020

CARVALHO JUNIOR, Roberto. **Interfaces prediais**. São Paulo - SP: Editora Blucher, 2017. 9788521212164. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212164/>. Acesso em: 2021

COLIN, Emerson. **Pesquisa Operacional: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**, 2ª edição. São Paulo - SP: Editora Atlas Ltda: Grupo GEN, 2017. 9788597014488.

Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597014488/>.

Acesso em: 21 Ago 2020.

CORRÊA, Cristiano; SILVA, José; PIRES, Tiago. **Mortes em Incêndios em Edificações: uma Análise da Cidade de Recife no Ano de 2011**. Interações (Campo Grande) [online]. 2017, v. 18, n. 04 [Acessado 2021], pp. 69-79. Disponível em: <<https://doi.org/10.20435/inter.v18i4.1116>>. ISSN 1984-042X. <https://doi.org/10.20435/inter.v18i4.1116>.

CRUZ, Jaime; CRUZ, Eduardo. **Automação Predial 4.0: a automação predial na quarta revolução**. Rio de Janeiro - RJ: BRASPORT Livros e Multimídia Ltda, 2019. 9788574528762.

HENRIQUES, Antônio; MEDEIROS, João. **Metodologia Científica da Pesquisa Jurídica, 9ª edição**. São Paulo - SP: Grupo GEN, 2017. 9788597011760.

Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597011760/>.

Acesso em: 2021

HILLIER, Frederick. et al. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Porto Alegre - RS: AMGH Editora Ltda: Grupo A, 2013. 9788580551198.

Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/>.

Acesso em: 23 Ago 2020.

HOLANDA, Aline, et al. **Pesquisa Operacional na Otimização Do Processo Produtivo De Uma Empresa de Recarga e Manutenção De Extintores De Incêndio Em Belém**. Bauru - SP: XXII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões, 5ª edição**. Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2016. 9788521630494.

Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521630494/>.

Acesso em: 17 Jun 2021

LOZADA, Gisele. **Metodologia Científica**. Porto Alegre - RS: Grupo A, 2019. 9788595029576. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029576/>.

Acesso em: 26 Jan 2021

LUGLI, Alexandre e SANTOS, Max. **Redes Industriais Para Automação Industrial:**

AS-I e PROFINET. 2ª edição. São Paulo - SP: Copyright, 2019.

9788536532028.

MEDEIROS, Ermes, et al. **Pesquisa Operacional: Para os Cursos de Administração e Engenharia**, 5ª edição. São Paulo - SP: Editora Atlas Ltda: Grupo GEN, 2017.

9788597013559. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013559/>.
Acesso em: 10 Set 2020

MEDEIROS, Felipe; PRADO, Luiz. **Teoria Protoindustrial: Origem, Desenvolvimento e Atualidade. Estudos Econômicos** (São Paulo) [online]. 2019, v. 49, n. 1 [Acessado 2021], pp. 131-161. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0101-41614915fml>>. ISSN 1980-5357. <https://doi.org/10.1590/0101-41614915fml>.

MOREIRA, Daniel. **Pesquisa Operacional: Curso Introdotório**. São Paulo - SP: Cengage Learning Brasil, 2018. 9788522128068. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522128068/>. Acesso em: 17 Jun 2021

NASCIMENTO, Luiz. **Elaboração de projetos de pesquisa: Monografia, dissertação, tese e estudo de caso, com base em metodologia científica**. São Paulo - SP: Cengage Learning Brasil, 2016. 9788522126293. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522126293/>. Acesso em: 08 Dec 2020

PESSOA, Marcelo. **Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão**. Rio de Janeiro - RJ: Elsevier Editora Ltda, 2014. 9788595153257. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153257/>. Acesso em: 20 Set 2020

PRUDENTE, Francesco. **Automação Predial e Residencial - Uma Introdução**. Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2011. 978-85-216-2024-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2024-2/>. Acesso em: 26 Jan 2021

RODRIGUES, Rodrigo. **Controle e Automação da Produção**. Porto Alegre - RS: Clic Editoração Eletrônica Ltda, 2016. 9788569726760. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788569726760/>. Acesso em: 12 Out 2020.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo. **Automação Industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18451/material/a_rte_automacao_industrial.pdf. Acesso em: 12 Out 2020.

TEDESCHI, André; FAGGION, Pedro; ANDOLFO, Silvio. **Validação do Sistema de Automação de Nível Digital Aplicado na Determinação de Recalques**. Boletim de Ciências Geodésicas [online]. 2017, v. 23, n. 2 [Acessado em 2021], pp. 352-370. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1982->

21702017000200023>. Epub Apr- Jun 2017. ISSN 1982-2170.
<https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000200023>.

VISENTINI, Monize; BORENSTEIN, Denis. **Modelagem do Projeto da Cadeia de Suprimentos Global: Considerações Teóricas e Perspectivas Futuras. Gestão & Produção** [online]. 2014, v. 21, n. 2 [Acessado em 2021] , pp. 369-388. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2014005000008>>. Epub 21 Mar 2014. ISSN 1806-9649.
<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2014005000008>.

VIRGÍNIO, Marcelo. **Avaliação dos Sistemas de Combate a Incêndio de Uma Instituição Pública de Ensino Superior localizada no Município de Mossoró-RN**. Mossoró - RN: UFERSA, 2013.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. São Paulo - SP: Pearson Education do Brasil Ltda, 2014. 978-85-4301-375-6

OLIVEIRA, Angelo. et al. **Modelagem de um Sistema de Detecção, Alarme e Combate a Incêndios através de Redes de Petri**. Salvador - BA: ENEGEP, 2013. Disponível em:
http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_sto_180_028_23082.pdf

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário geral sobre o projeto.

Perguntas gerais sobre o projeto

1. Como foi feito o planejamento do projeto no que se refere à determinação das quantidades necessárias de cada item: material, equipamento e mão de obra (conforme planilhas de custos com os orçamentos)?

R- O planejamento dos materiais foi baseado na planilha de quantitativos e custos levantadas na fase de proposta (tortoise: ... \ Hospital Sarah \ Documentação \ Comercial \ Sarah \ Planilhas 2rev 5.xlsx)

2. As quantidades de materiais, equipamentos e mão de obra planejadas do projeto correspondem às quantidades necessárias ou há quantidades a mais (conforme planilhas de custos com os orçamentos)?

R- Não. Alguns preços e algumas quantidades aumentaram durante a execução da obra.

Já foi observado que os cabos previstos na etapa de proposta foram subestimados, ou seja, passamos de 18.000 metros para 24.000 metros já comprados até agora. (precisa ser avaliado ainda se mensuramos errado na proposta ou se desperdiçamos mais na execução da obra).

Com relação a cabos ainda, o último lote (abril/21) custou o quase o dobro do preço do primeiro (mar/20).

Não avaliei ainda, mas acredito que o custo de mão de obra também aumentou em relação ao previsto na proposta comercial.

3. Qual a sequência das etapas do projeto (remoção e demolição; montagem e instalação)? Por exemplo, a etapa de remoção e demolição é anterior à etapa de montagem, que é anterior à etapa de instalação ou são independentes, podendo ocorrer em paralelo (quais)?

R- A remoção e instalação ocorrem em paralelo.

A equipe é dividida em 2 frentes de trabalho, enquanto uma parte remove o sistema antigo, outra parte instala a infraestrutura de

eletrodutos nova.

Após a instalação da infraestrutura nova, são lançados os cabos por ela e instalada a base dos sensores.

Após a instalação das bases, os sensores são instalados.

Após a instalação de todos os sensores de um laço de detecção, este é comissionado na central de incêndio (configurados e testados).

Enquanto se comissiona todos os sensores do laço finalizado (com uma equipe reduzida: caio + um auxiliar), o restante da equipe já está trabalhando na remoção e instalação do próximo laço de detecção.

O projeto conta com 02 centrais de incêndio e 15 laços de detecção.

4. Como é o processo de remoção e demolição (quais etapas, detalhadamente)?

R- Não há demolição, é feita apenas a retirada do equipamento do sistema antigo, retirada dos cabos e depois retirar a infra (infraestrutura) => se houver (galerias e espaço com forro)

5. Em média, qual o tempo para executar cada etapa dos serviços de remoção e demolição?

R-5min -
equipamento
10min - cabo
infraestrutura -
10min

6. Quantos trabalhadores são utilizados para a execução dos serviços de remoção e demolição?

R- Somente 1 trabalhador é necessário - (caio, técnico)

7. As etapas associadas aos serviços de remoção e demolição resultaram em gasto desnecessário com material ou equipamento?

R- Não

8- Quais os equipamentos usados (ex. painéis, centrais, etc.) no processo de instalação? Há outros além dos que estão na planilha?

R- Os equipamentos que serão instalados são os que foram detalhados na planilha do projeto, apenas algumas alterações de quantidades de detectores e acionadores manuais serão afetados devido a não atualização prévia do projeto.

9- Há etapas de montagem antes da instalação dos equipamentos (ex. painéis, centrais, etc.)?

R- Sim. Antes de instalar todos os equipamentos, é necessário a instalação da infraestrutura necessária para permitir a distribuição dos laços de detecção de acordo com a norma vigente.

10- Se houver (item 1), como é o processo de montagem? (quais as etapas (sequência) da montagem dos equipamentos projeto?)

R- A sequência é sempre a mesma com relação a instalação dos equipamentos: Montagem de infraestrutura, passagem de cabos, fixação mecânica do equipamento e conexão com o laço de acordo com o manual do fabricante.

11 - Como é o processo de instalação? (quais as etapas (sequência) da instalação do projeto?)

R- O processo depende da infra a ser instalada. Nas galerias é necessário apenas a instalação da infra, passagem de cabos e instalação dos equipamentos. Nas áreas internas do hospital é necessário a desmontagem de alguma estrutura para montagem da infra não aparente, a instalação da infra, a remontagem da estrutura, a passagem de cabo e por último a montagem e conexão do equipamento.

Alguns equipamentos especiais demandam um trabalho maior e mais etapas, como os detectores de fumaça por aspiração que necessitam também da instalação dos dutos de PVC que farão a captação da amostra de ar dos ambientes monitorados por esse equipamento. Esse equipamento também precisa de alimentação 24 V o que demanda também a instalação de fonte com nobreak. O detector de gás é convencional, não endereçável, seu sinal deve ser lido por um módulo de entrada e sua alimentação é também 24V.

Os demais dispositivos são alimentados pelo próprio barramento de comunicação.

12- A mão de obra é multifuncional (todos os trabalhadores podem realizar todas as atividades)?

R- Não. As tarefas são divididas de acordo com a capacitação de cada colaborador. As instalações de infra e passagem de cabo é executada por eletricitas e aux. de eletricitista sobre a orientação do primeiro. A conexão dos equipamentos é feita principalmente pelos eletricitas, mas o técnico também participa na montagem quando necessário. A conexão na central e comissionamento de equipamentos é feita apenas pelo técnico sendo auxiliado ou por eletricitista ou por auxiliar.

13- Como é a alocação dos trabalhadores para cada função (atividade)?

R- Normalmente separo em duplas ou trios, dependendo da atividade a ser executada. A equipe é sempre encabeçada por um eletricista ou um auxiliar experiente para serviços mais simples.

Eletricista monta os equipamentos e faz as ligações.

Auxiliar auxilia o eletricista ou o técnico entregando ferramentas, executando tarefas mais simples.

Analista de automação cuida do planejamento da execução da obra, da gerência de geral da obra no local, na negociação de serviços em áreas sensíveis ao cliente, na programação da central e dos equipamentos.

14- Se houver, qual o tempo de montagem de cada equipamento?

R- Para acionadores pontuais, a média está em 45 minutos. Detectores lineares: 30 minutos; acionadores manuais e módulos de comando: 45 minutos; central: 8h para montagem do básico; Aspiradores: 4 dias.

15- Qual o tempo de instalação de cada equipamento e itens (ex. cabos)?

R- Como cada item é instalado conjuntamente devido a especificidade do local onde instalamos os equipamentos, o que posso definir é quanto do tempo de cada etapa por ponto ou equipamento.

Detectores pontuais: infraestrutura: 30; cabo: 7 minutos; ligação

(laço): 8. Detectores lineares: infraestrutura: 20 minutos; cabo: 3

minutos; ligação: 7 minutos;

Detectores por aspiração: infraestrutura elétrica: 1 dia; infraestrutura tubos de aspiração: 2 dias; cabos 7h; ligação: 1h.

Acionadores manuais e módulos de comando: infraestrutura: 30; cabo: 7 minutos; ligação: 8.