

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA LOCALIZAÇÃO DE EXTINTORES DE INCÊNDIO

APPLICATION OF THE ENTIRE LINEAR PROGRAMMING FOR LOCATION OF FIRE EXTINGUISHERS

Josiane M. Hermes¹, Vilson Volkweis², Ivete Linn Ruppenthal³

¹Faculdade Três de Maio – SETREM, Curso de Engenharia de Produção, Av. Santa Rosa, 2405, Bairro Centro, 98910-000 - Três de Maio – RS – Brasil. E-mail: josih@hotmail.com.

²Faculdade Três de Maio – SETREM, Curso de Engenharia de Produção, Av. Santa Rosa, 2405, Bairro Centro, 98910-000 - Três de Maio – RS – Brasil. E-mail: vilson@hotmail.com.

³Faculdade Três de Maio – SETREM, Docente do Curso de Engenharia de Produção, Av. Santa Rosa, 2405, Bairro Centro, 98910-000 - Três de Maio – RS – Brasil. E-mail: ivetelinnr@gmail.com.

RESUMO

O problema de cobertura busca determinar a localização de facilidades, visando atender a maior parcela da população envolvida, buscando a otimização. Assim, o objetivo é determinar o número mínimo de extintores de incêndio em uma edificação por meio de um modelo matemático de programação linear inteira. Os métodos do estudo foram, quanto à natureza, pesquisa aplicada da modelagem matemática a uma situação prática. A abordagem caracteriza-se em dedutiva por partir de um conhecimento geral e resultar em específico, quantitativa por utilizar-se de cálculos e qualitativa, uma vez que fez uso de técnicas de interpretação teórica. A pesquisa, com relação aos objetivos é exploratória de uma situação problema, e descritiva das características de um contexto real. Quanto aos procedimentos é bibliográfica, fazendo uso de literatura, documental embasando-se em dados do plano de prevenção de incêndio, estudo de caso de uma situação contemporânea e pesquisa comparativa entre os resultados e a normatização vigente. Os dados foram coletados observando-se o local e por entrevista informal, para a coleta de informações. Para análise dos cálculos procedeu-se com a utilização do software Excel e Solver e os resultados, sendo analisados embasados no referencial teórico. Elaboraram-se os passos para utilização do modelo matemático adequado, com distanciamentos pertinentes, o quantitativo de extintores, suas localizações e aplicação do Solver apresentando uma solução ótima que foi confrontada com a legislação. O resultado obtido foi relevante, pois apresentou a possibilidade de redução de dez extintores para quatro, atendendo a legislação vigente, demonstrando assim o impacto da programação linear na economicidade.

Palavras-chave: Programação linear inteira. Modelo matemático. Localização de extintores de incêndio.

ABSTRACT

The coverage issue is to determine the location of facilities, aiming to reach the largest portion of the population involved, seeking optimization. Thus, the objective is to determine the minimum number of fire extinguishers in a building using a mathematical model of entire linear programming. The methods for this study were, relating to nature, applied research of mathematical modeling in a practical situation. The approach is characterized as deductive for starting from a general knowledge and resulting in a specific one, as quantitative for using calculations and as qualitative since it used theoretical interpretation techniques. The research, regarding the objectives, is exploratory of a problem situation, and it's descriptive of the characteristics of a real context. For the procedures, this research is bibliographic, using literature, it's documental once is based on data from the fire prevention plan and a case study of a contemporary situation and is also a comparative research between the results and the current regulations. The data were collected by observing the location and by an informal interview collecting information. For the analysis of the calculations, the Excel and Solver softwares were used and the results were analyzed based on the theoretical references. The steps for using the appropriate mathematical model were elaborated, with relevant distances, an specific number of fire extinguishers, their positions and with the application of the Solver, presenting a great solution that was confronted with the legislation. The result obtained was relevant, as it presented the possibility of reducing ten fire extinguishers to four, in accordance to the current legislation, demonstrating the impact of linear programming on economics.

Keywords: Entire linear programming. Mathematical model. Location of fire extinguishers.

1. INTRODUÇÃO

Para obter resultados econômicos e produtivos cada vez melhores, as empresas buscam incessantemente, especificamente no setor de manufatura, o aprimoramento dos processos de produção, com redução dos custos, ampliação de capacidade, otimização da utilização de mão de obra e equipamentos, entre outros. Como Jacobs & Chase (2009, p. 07) alertam que, é importante dominar conhecimentos de operações, uma vez “que as empresas têm necessidade de melhorias na eficiência, qualidade e nos custos”, devendo ser estes objetivos da produção, visto que almejam competitividade sustentável.

Ao se deparar com a efetivação da alocação eficiente de recursos e materiais, para alcançar os resultados definidos, a empresa deve decidir como fazê-lo da forma mais apurada e otimizada possível. Como relata Lachtermacher (2007) é possível decidir utilizando-se um processo de modelagem da situação. Por meio da elaboração de modelos matemáticos pode-se auxiliar o processo de decisão, efetuando várias simulações dos cenários, permitindo estudar a situação com maior profundidade.

Por conseguinte, observa-se a aplicabilidade da programação linear inteira em soluções práticas, tendo importância por tratar de forma eficiente os problemas complexos, sendo aplicada nas práticas e situações de trabalho que se sobrevêm, fornecendo resultados assertivos e construtivos para que se tomem decisões eficazes de gestão (Hillier & Lieberman, 2013).

Nesta pesquisa apresenta-se uma situação de localização de recursos físicos (objetos), especificamente tratando-se de extintores de incêndio, buscando aplicar a modelagem matemática para evitar desperdícios na aquisição superdimensionada destes recursos, procurando, ainda, relacionar o resultado obtido nesta modelagem com a legislação estadual vigente quanto a prevenção e combate a incêndios, que dispõem de algumas regras obrigatórias quanto a esta localização.

O local analisado é a edificação do Centro Integrado de Atendimento ao Cidadão/SUS (CIAC/SUS) do município de Três Passos/RS, o qual atualmente possui dez unidades de extintores de incêndio efetivamente instalados neste prédio, e, segundo a legislação, há a necessidade de uma unidade extintora a cada vinte metros de distância a ser percorrida. Neste sentido, o problema de pesquisa a ser atendido é quantos extintores de incêndio são necessários alocar no prédio do CIAC/SUS visando atender a legislação vigente, buscando minimizar a quantidade destinada?

Desta forma, o objetivo geral deste estudo é determinar o número mínimo de extintores de incêndio em uma edificação por meio de um modelo matemático de programação linear inteira. Para o alcance do objetivo geral foi necessário efetuar pesquisa bibliográfica acerca do tema; realizar um levantamento quantitativo e qualitativo das informações específicas; elaborar o modelo matemático; demonstrar os resultados obtidos; realizar um comparativo dos resultados com a legislação específica vigente; e por fim, apresentar sugestões e soluções para a situação estudada.

Este artigo está estruturado em capítulos, tendo o desenvolvimento que apresenta a metodologia utilizada, a revisão da literatura, o tratamento dos dados e os resultados alcançados e encerrando-se com as considerações finais da pesquisa e as sugestões propostas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Administração da Produção

A importância da administração da produção é reconhecida pelos gestores em função dos resultados positivos que continuamente apresenta a quem dela se utiliza com interesse e seriedade. Vários autores a conceituam e referem a sua relevância para o gerenciamento das organizações. Para Slack, Chambers & Johnston (2002, p. 29) “a administração da produção trata da maneira pela qual as organizações produzem bens e serviços”. Para Jacobs & Chase (2009, p. 23) “administração da

Produção e de Suprimentos (APS) é definida como a elaboração, a operação e o aprimoramento dos sistemas que geram e distribuem produtos e serviços da empresa”.

A eficácia e eficiência na administração dos sistemas produtivos das organizações já foram reconhecidas por estas como diferencial de crescimento, pois “oferece o potencial para aumentar receitas e, ao mesmo tempo, facilita que bens e serviços sejam produzidos de forma mais eficiente”. Em síntese, menores custos e maiores receitas (Slack, Chambers & Johnston, 2002, p. 17). Eis um dos impactos mais significativos em uma empresa, os seus recursos financeiros, nos quais o foco na otimização da administração da produção gera resultados importantes, tanto para a tomada de decisão, quanto para a competitividade de mercado.

Porém, não se deve agregar e misturar o que a Administração da Produção abrange com as ações da Pesquisa Operacional. Jacobs & Chase (2009) alertam para a frequente confusão entre a administração da produção e a pesquisa operacional – bem como com a ciência da administração e a engenharia industrial – ressaltando que a diferença está na visão macro, na amplitude de gerenciamento da administração da produção, e os demais se utilizam de ferramentas, recursos quantitativos em todos os âmbitos da tomada de decisões.

2.2 Pesquisa Operacional

Com relação ao uso de ferramentas quantitativas, Hillier & Lieberman (2013) descrevem que os métodos matemáticos – técnicas quantitativas – embora não sejam a totalidade, formam a parte elementar da pesquisa operacional. Longaray (2013, p. 01) define a pesquisa operacional como o “conjunto de técnicas que faz uso do método científico para auxiliar as pessoas a tomarem decisões”. Para Hillier & Lieberman (2013, p. 02), o nome indica que envolve “pesquisa sobre operações”. “Portanto, a pesquisa operacional é aplicada a problemas envolvendo como conduzir e coordenar as operações (isto é, atividades) em uma organização”.

A pesquisa operacional obteve sucesso na esfera empresarial, o que foi explicado por Longaray (2013, p. 01) como embasado na “objetividade das técnicas que conformam seu arcabouço metodológico, instrumentalizadas na prática por meio de modelos que têm a potencialidade de traduzir, de forma clara, objetiva e estruturada, as situações problemáticas vivenciadas no dia a dia organizacional”.

Para alcançar estes desejados resultados corporativos, a pesquisa operacional faz uso da programação linear e suas possibilidades de viabilizar a vinculação entre modelos matemáticos e as esferas administrativas de decisão de maneira real, com resultados pertinentes e relevantes.

2.3 Programação Linear

Como uma das técnicas da pesquisa operacional é a programação linear, Hillier & Lieberman (2013, p. 15) referem que esta “envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis”.

Com a necessidade constante de tomada de decisão nas organizações, os gestores lançam mão de variadas estratégias e ferramentas de auxílio nesta área, com base neste instrumental que assessora o processo decisório Hillier & Hillier (2014, p. 21) afirmam que “a programação linear é uma ferramenta poderosa para resolver problemas e auxilia a gestão na tomada dessas decisões”.

Para compreender a inserção da programação linear e do modelo matemático na gestão e nas decisões, Hillier & Hillier (2014, p. 21), explicitam:

Como as outras técnicas de ciências da gestão, a programação linear usa um modelo matemático para representar o problema que está sendo estudado. Linear no nome refere-se à forma de expressões matemáticas nesse modelo. Programação não se refere à programação de computadores, mas é essencialmente um sinônimo de planejamento. Assim, programação linear significa o planejamento de atividades representado por um modelo matemático linear.

Complementando esta definição Hillier & Lieberman (2013, p. 20) afirmam que “a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis”.

Para assimilar melhor o que é o modelo matemático, Longaray (2014, p. 06) explana que Modelo é a “representação matemática, simbólica ou descritiva, de um conjunto de eventos físicos, ou aspectos subjetivos, considerados importantes para determinado decisor em um contexto específico”. Complementa que, “em sua forma mais simplificada, um modelo matemático é composto de variáveis, restrições, critérios e pelo menos um objetivo”.

Desta forma os gerentes, administradores, entre outros decisores, buscam expressar os problemas vivenciados nas empresas em modelos matemáticos para aplicar e testar várias alternativas e possibilidades de resolução e, então, verificar os resultados e efetivar a ação que apresentou melhores benefícios em conformidade com o objetivo definido para aquele modelo. Assim, evita-se agir com base em empirismos e nas ações por tentativa e erro, que há muito já não possuem mais espaço nas gestões sérias, comprometidas com crescimento e desenvolvimento global da organização.

Longaray (2014) define variáveis, objetivo, restrições e critério do seguinte modo:

Variáveis controláveis: são aquelas sobre as quais o decisor pode atuar para atingir seus objetivos.

Variáveis não controláveis: são aquelas sobre as quais não é possível ter controle, mas que, ainda assim, afetam as consequências ou resultados de uma decisão.

Objetivo: função matemática que indica o que se quer alcançar com determinada decisão.

Restrições: expressam as relações matemáticas existentes entre as variáveis do problema e as limitações identificadas no cenário do processo decisório.

Critério: função matemática que mede o desempenho de uma possível ação ou preferência.

Todas estas variáveis e constantes do modelo matemático se relacionam matematicamente a partir de uma estrutura lógica chamada de algoritmo (Longaray, 2014). Pode-se representar um problema de programação linear da forma ilustrada a seguir (Belfiore & Fávero, 2013):

Maximizar ou Minimizar

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, =, \geq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\leq, =, \geq) b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\leq, =, \geq) b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \text{ não negatividade}$$

Onde:

Z representa a função objetivo;

x_j são as variáveis de decisão;

a_{ij} é a constante ou coeficiente da i-ésima restrição da j-ésima variável;

b_i é a quantidade de recursos disponíveis da i-ésima restrição.

A otimização de “Z” é composta por uma função-objetivo – “parte do modelo que explicita o que se pretende atingir com a decisão” - (Longaray, 2014, p. 09), que pode ser expressa como maximização de algo (quando se quer aumentar) ou minimização de algo (quando se quer diminuir).

A programação linear pode ser representada pela programação linear inteira, a qual tem relevância para este estudo e se discorre a seguir.

2.4 Programação Linear Inteira Binária

A programação linear apresenta um modelo chamado programação linear inteira, onde a programação matemática tem “uma ou mais variáveis de decisão representadas apenas por valores inteiros” (Lachtermacher, 2016, p. 139). Quando os problemas de valores inteiros apresentam apenas duas opções, restritas a dois valores, as variáveis são denominadas binárias, sendo chamados de programação inteira binária (Hillier & Lieberman, 2013).

A programação linear inteira é uma variação da programação linear, que é apropriada para a resolução de problemas que envolvam em sua estrutura programação mista, ou seja, que possuam características inteiras e não-inteiras, e é indicada principalmente para problemas que compreendam escolhas que possam ser representadas por variáveis binárias - zero e um (Caixeta Filho, 2004).

Frequentemente, no cotidiano os gestores se deparam com decisões sobre se devem ou não realizar determinada ação, como por exemplo, se deve realizar determinado investimento ou não, comprar ou não determinado insumo, acrescentar ou não uma nova linha de produção, entre outras decisões (Hillier & Lieberman, 2013). Ainda, os mesmos autores afirmam que os gestores podem se defrontar com a escolha de alocar determinado recurso, por exemplo, uma disciplina poderá ou não ser ofertada em determinado horário de determinado dia, em função da disponibilidade do professor. Cada uma das possibilidades envolve uma decisão sim ou não. Sua variável de decisão = {1 se sim e 0 se não.

Em diversas situações, o objetivo é determinar a disponibilidade para determinada ação, ou ainda determinar a quantidade mínima de itens ofertados (Caixeta Filho, 2004; Hillier & Lieberman, 2013).

Para a montagem e realização dos cálculos existem softwares com planilhas eletrônicas específicas para resolver problemas de programação linear, tais como o Excel, da Microsoft, que utiliza o software SOLVER®. “Pacotes de software de planilhas, como o Excel, constituem uma ferramenta muito utilizada para analisar e resolver pequenos problemas de programação linear” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 55).

2.5 Problemas de Cobertura

Em um modelo de programação linear inteira binária pode-se ter um problema de cobertura de conjunto, no qual o objetivo é minimizar algo, tendo as restrições deste problema todas como de cobertura de conjunto. A restrição de cobertura de conjunto “exige que a soma de determinadas variáveis binárias seja maior ou igual a 1” (Hillier & Lieberman, 2014, p. 251).

Qualquer problema desse tipo pode ser descrito em termos gerais como envolvendo uma série de atividades e de características potenciais. Cada atividade possui algumas, mas não todas as características. O objetivo é determinar a combinação de atividades menos onerosa que coletivamente possui (cubra) cada característica pelo menos uma vez (Hillier & Lieberman, 2013).

Para Taha (2008, p. 114) problemas de cobertura são uma classe de problemas que possuem várias instalações que oferecem serviços sobrepostos a várias localidades. “O objetivo é determinar o número mínimo de instalações que cobrirão (isto é, satisfarão as necessidades) cada localidade”.

A descrição destas técnicas é pertinente por este estudo buscar a conciliação entre a utilização da programação inteira com valores binários e problema de cobertura, utilizando uma planilha eletrônica e o software Solver, para alocar extintores de incêndio em uma edificação, almejando estruturar um algoritmo, conciliando as variáveis e constantes do modelo matemático com a prática aplicada em conformidade com legislação vigente no estado do Rio Grande do Sul, quanto a prevenção e proteção contra incêndios.

3. METODOLOGIA

Os procedimentos sistemáticos utilizados nesta pesquisa são descritos nesta seção, identificando os métodos e técnicas científicas atinentes. Gil (2008) refere que alcançar a autenticidade dos fatos é o objetivo da ciência, mas identifica como diferencial da produção do conhecimento científico a sua verificabilidade. Prodanov & Freitas (2013, p. 24) conceituam método como o “caminho para chegarmos a determinado fim. E método científico como o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para atingirmos o conhecimento”.

Quanto à natureza, esta pesquisa classifica-se como aplicada, por utilizar aplicação prática que gera conhecimento, solucionando o problema específico de localização de materiais (Silva & Menezes, 2005). Buscou-se a verificação da aplicação da proposta de modelagem matemática para um problema elaborado, no sentido de melhorar a distribuição de extintores de incêndio, obtendo a quantidade mínima necessária, informada pelo modelo, sem deixar de atender as obrigações legais.

Esta pesquisa, quanto aos métodos de abordagem classifica-se como dedutiva, quantitativa e qualitativa. Dedutiva, uma vez que parte do conhecimento geral, dos princípios matemáticos, para resultar no conhecimento específico, particular, chegando à conclusão da viabilidade ou não do uso do modelo matemático nesta proposta (Prodanov & Freitas, 2013). É um estudo quantitativo por apresentar cálculos, classificando e analisando as informações numéricas, mas também se utiliza das técnicas qualitativas, por interpretar os resultados à luz da teoria e da legislação específica (Silva & Menezes, 2005).

Toda pesquisa possui seus objetivos, que a motivam e norteiam. Quanto ao objetivo de estudo, este trabalho se classifica como exploratório e descritivo. É uma pesquisa exploratória por proporcionar entendimento e familiaridade com o problema, uma vez que é apresentada uma situação atual de localização de extintores e proposta uma nova forma de efetuarla. Descritiva, por expor as características de um fenômeno, com técnicas padrão de coleta de dados, descrevendo os fatores que influenciaram a atual distribuição de extintores utilizada e sugerindo o uso de técnicas matemáticas para a otimização desta situação (Prodanov & Freitas, 2013).

Quanto aos procedimentos técnicos, é pesquisa bibliográfica, estudo de caso e comparativa (Prodanov & Freitas, 2013). Utilizou-se de pesquisa bibliográfica dado que foram pesquisadas as informações pertinentes à compreensão e aplicação do modelo matemático em livros bem como, a legislação de prevenção e combate a incêndio que também é utilizada na análise dos resultados, obtida junto a leis, decretos, resoluções técnicas, entre outros. O estudo de caso se aplica nesta circunstância por tratar-se de uma situação contemporânea da obrigatoriedade de localização de extintores em edificações, inserida no contexto da modelagem matemática e sua aplicabilidade neste cenário. Também é uma pesquisa comparativa, pois foi realizada a verificação de semelhanças e diferenças entre os resultados encontrados e a legislação de prevenção de incêndios do Estado (Prodanov & Freitas, 2013).

Para a coleta de dados utilizou-se a observação, pesquisa documental e entrevista informal. Foram utilizados exemplares da literatura apropriada para obter embasamento científico, como também as informações foram coletadas por meio de observação assistemática, obtendo dados da realidade de forma não previamente planejada ou controlada (Silva & Menezes, 2005) pois efetuou-se observação in loco das instalações de extintores, obtendo-se elementos adequados ao estudo, bem como a pesquisa nos documentos constantes no Plano de Prevenção Contra Incêndios (PPCI) do CIAC/SUS, analisando-se a planta baixa, o memorial descritivo de análise para segurança contra incêndio (MDASCI) e demais anexos e, ainda leis, decretos, resoluções técnicas, relacionados com a legislação de prevenção e combate a incêndio do estado do Rio Grande do Sul. Ainda, foi necessário aplicar uma entrevista não estruturada, sem rigidez de roteiro (Silva & Menezes, 2005) visando um relato da situação existente quanto ao PPCI da edificação como um todo, bem como com as especificações acerca dos extintores.

A análise dos dados deve ser feita com o propósito de atender aos objetivos da pesquisa e para confrontar dados e provas com o objetivo de confirmar ou rejeitar os pressupostos da pesquisa (Prodanov & Freitas, 2013). Após coletar os dados, os mesmos foram tratados utilizando o software AutoCad® e analisados utilizando-se o software Excel. A análise de conteúdo foi utilizada para análise e interpretação dos dados, realizada com base nas informações fornecidas pelo software em relação, tanto à teoria que deve ser seguida, quanto à prática que foi implementada no local estudado.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos a partir das informações coletadas junto ao PPCI do CIAC/SUS, bem como a descrição dos passos para a consecução de um modelo matemático aplicável a este tipo de cenário.

4.1 Apresentação do local e sua situação atual

O local objeto de estudo é a edificação pertencente à Prefeitura Municipal de Três Passos na qual funciona atualmente o Centro Integrado de Atendimento ao Cidadão SUS (CIAC/SUS). Este local presta serviços de atendimento de saúde básica aos munícipes. Por se tratar de uma edificação de mais de mil metros quadrados, na qual pode ocorrer a necessidade de instalação de significativo número de extintores de incêndio, tornou-se objeto de atenção e busca pela otimização deste contexto.

Atualmente há a instalação de dez extintores de incêndio no local, conforme pode ser verificado no Anexo A, que apresenta a planta baixa contendo todos os equipamentos obrigatórios, conforme a legislação do estado do Rio Grande do Sul referente a prevenção e combate a incêndio. Mesmo em face da legislação, há extintores mais do que o necessário, porém foram mantidos por terem sido fornecidos desta forma pela empresa construtora do prédio, uma vez que excesso de proteção é fator positivo neste tema.

Buscando a melhoria desta distribuição de extintores em locais nos quais sejam necessários adquiri-los, sem incorrer em custos desnecessários, que objetivou-se a elaboração de um modelo matemático que pudesse ser aplicável, tanto do ponto de vista da otimização de quantitativo, quanto das exigências legais em vigor, que estabelecem regras próprias e obrigatórias para a instalação destes equipamentos.

4.2 Legislação de Prevenção e Combate a Incêndio

As informações intrínsecas à prevenção e combate a incêndio utilizadas são embasadas no Plano de Prevenção Contra Incêndio (PPCI) da edificação onde está em funcionamento o Centro Integrado de Atendimento ao Cidadão SUS (CIAC/SUS) do município de Três Passos. Esta edificação possui mais de mil metros quadrados e desenvolve atividades no âmbito da saúde.

Para obter o alvará de prevenção e proteção contra incêndio (APPCI) de uma edificação no Estado do Rio Grande do Sul, é necessária a elaboração do PPCI conforme a legislação estadual vigente, que tem base na Lei Complementar 14.376/2013, conhecida como “Lei Kiss”.

A Lei Complementar 14.376/2013 “Estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndios nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências” (Rio Grande do Sul, 2013), sendo regulamentada pelo Decreto nº 51.803/2014, o qual, dentre outras informações, apresenta as classificações nas quais deve-se enquadrar os estabelecimentos para, então, identificar quais as medidas de prevenção que são obrigatórias a serem implementadas (Rio Grande do Sul, 2014).

Cada medida de segurança contra incêndio a ser atendida, deve obedecer aos parâmetros contidos nas Resoluções Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Sul (RTCBMRS). Dentre estas resoluções, está a RT nº 14/2016, a qual “estabelece os critérios para

proteção contra incêndio em edificações e áreas de risco de incêndio por meio de extintores de incêndio portáteis e sobre rodas” (Rio Grande do Sul, 2016).

Com base nas informações contidas na RT nº 14/2016, as quais devem ser obrigatoriamente cumpridas, que foram definidos, selecionados e alocados os extintores de incêndio na edificação do CIAC/SUS. As principais considerações que influenciam diretamente neste estudo são as seguintes (Rio Grande do Sul, 2016):

- Constante no item 5.2.10, que refere que o extintor não pode estar a mais de 5 metros da porta de acesso da entrada principal da edificação, do pavimento ou da área de risco de incêndio;
- Constante no item 5.4.1.2, que refere que cada pavimento deve possuir, no mínimo, duas unidades extintoras;
- Constante nos itens 5.4.2, 5.4.3 e 5.4.4, que apresentam tabelas para identificação da distância máxima a ser percorrida até se chegar a um extintor de incêndio. Por ser uma edificação classificada como de risco médio, a distância a ser atendida é de 20 metros.

Conforme mencionado anteriormente, foram distribuídos 10 (dez) extintores de incêndio na edificação, atendendo a legislação, conforme pode ser visualizado no PPCI, e o que deixa a informação do que legalmente foi protocolado junto ao Corpo de Bombeiros, para comparativo com os resultados da programação linear inteira, e verificação da validade da utilização desta, otimizando recursos, frente as exigências legais para localização.

4.3 Formulação do modelo matemático

Com o propósito de melhorar a localização dos extintores de incêndio no prédio do CIAC/SUS, buscando minimizar o desperdício de equipamentos e recursos. Foi utilizada a programação linear inteira binária com problema de cobertura, por tratar-se de item físico (extintor), binário resultando em instalação ou não deste item e atendendo a uma área de cobertura que, neste contexto, ainda buscou atender a legislação de prevenção e combate a incêndio, o que causou impacto direto nas restrições a serem elaboradas.

Considerando que há excesso de extintores de incêndio instalados no prédio e definindo os corredores da edificação como locais de cobertura (há obrigatoriedade legal de distância a percorrer pela legislação, neste caso de vinte metros, cuja utilização será explicada na sequência), foi estipulado posicionamento de nove extintores de incêndio, considerando que cada corredor tivesse uma unidade e que atendesse, no mínimo dois corredores cada, ou mais (com exceção do Extintor I que é no corredor final, que não possui continuidade com outros), estando distribuídos de forma a buscar teoricamente cobrir toda a área da edificação, o que será demonstrado se ocorreu ou não com o resultado do cálculo efetuado.

O modelo matemático adotado, com sua função objetivo e restrições foi o seguinte:

Minimizar Z: $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$

Sujeito a:

Corredor 1: $EA + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 2: $0 + EB + EC + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 3: $EA + EB + 0 + ED + EE + 0 + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 4: $0 + 0 + EC + ED + EE + 0 + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 5: $0 + 0 + 0 + 0 + EE + EF + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 6: $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + EF + 0 + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 7: $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + EF + EG + 0 + 0 \geq 1$

Corredor 8: $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + EG + EH + 0 \geq 1$

Corredor 9: $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + EH + EI \geq 1$

Ñ. Negatividade: $X_1; X_2; X_3; X_4; X_5; X_6; X_7; X_8; X_9 \geq 0$ e binário

Onde $X_1, X_2, X_3, (...), X_9$ são os extintores posicionados. Já EA, EB, EC (...) EI referem-se ao Extintor A, Extintor B, Extintor C, (...), Extintor I. As equações formuladas para cada corredor demonstram qual extintor o atende, por exemplo: o Corredor 1 é atendido somente pelo Extintor A, já o Corredor 5 é atendido pelos Extintores E e F. Quanto a restrição elaborada para o Corredor 2, esta foi aprimorada, indicando que também será atendido pelo Extintor D, mesmo não estando no limite deste corredor, porém, está abrangendo a sua área em conformidade com os preceitos legais seguidos, o que proporciona ao Solver uma possibilidade maior de seleção aprimorada da localização dos equipamentos. Ao final, está a não negatividade e que as variáveis de X_1 a X_9 devem ser binárias.

Como a legislação vigente determina que um extintor de incêndio necessita estar a, no máximo, cinco metros da porta principal e, conforme enquadramento feito para cada edificação de mesma forma previsto em lei, deve-se percorrer no máximo, no caso do CIAC/SUS, vinte metros até se chegar a um extintor. Foi atendida a localização do equipamento inicial dentro da metragem necessária na porta de entrada e então os corredores divididos conforme seus formatos e respeitando uma divisão de vinte metros. Cada corredor foi identificado com um número e cada extintor com uma letra, colocados em pontos nos quais há o encontro de, no mínimo, dois corredores. Somente corredores menores não tiveram necessariamente a representação de extintores, por serem atendidos visivelmente por outros já colocados, conforme se percebe a partir da identificação dos distanciamentos de 20 metros.

Esta forma de localização possibilitou a busca por uma solução ótima fornecida pelo modelo matemático, visando atender às especificações da legislação. Para a obtenção e visualização destas informações foi elaborado um mapa de localização de extintores (Figura 1), no qual os corredores estão hachurados e os extintores de incêndio estão identificados em vermelho, conforme simbologia exigida pela legislação e mantida neste trabalho.

A composição, os desenhos e especificações contidas no mapa, foram feitas utilizando o software AutoCad®, no qual estava a planta baixa original, impressa e fornecida ao Corpo de Bombeiros para análise, e necessário para a identificação das dimensões, uma vez que a planta está em escala, o que pode ser mantido dentro do padrão correto a partir do software.

Com base na formulação do modelo matemático detalhada nesta seção, procedeu-se a resolução do mesmo.

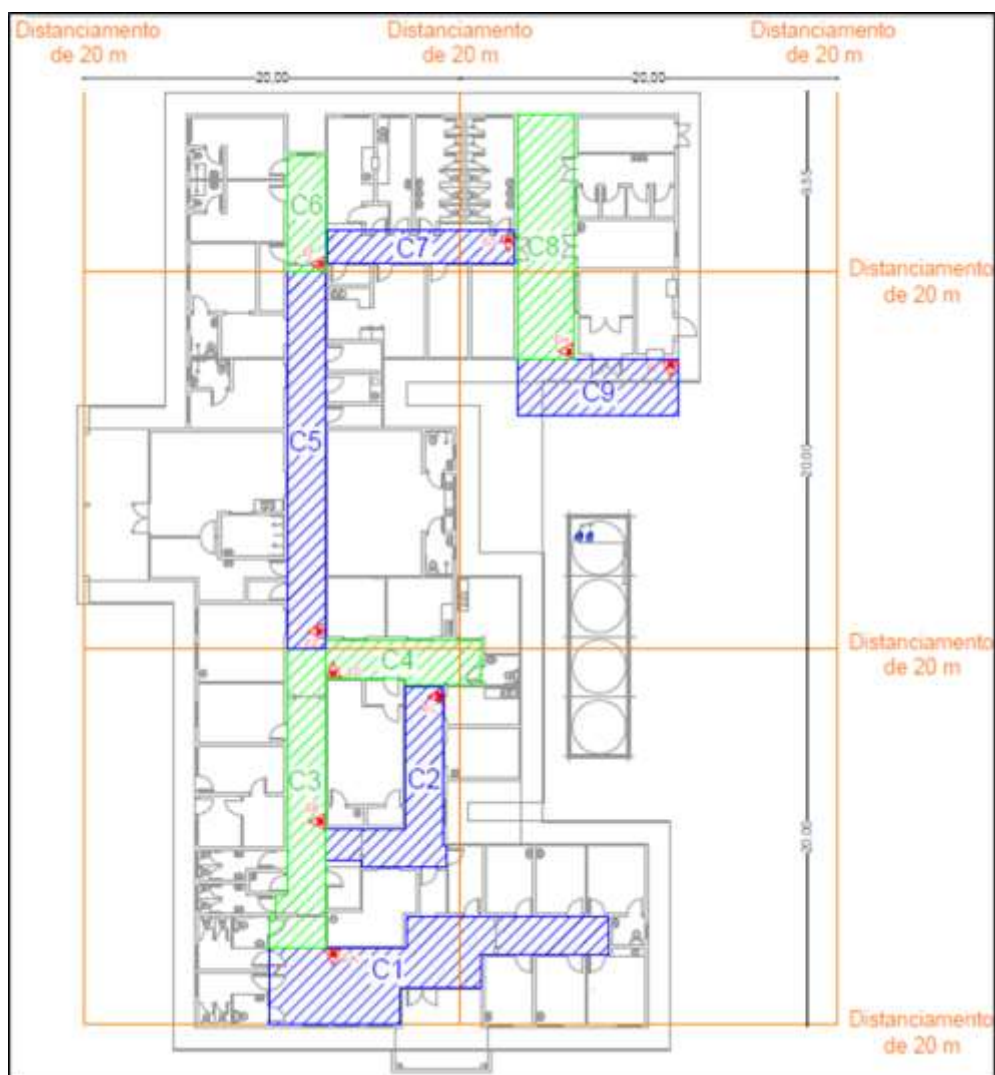


Figura 1. Mapa de localização de extintores de incêndio para elaboração do modelo matemático

4.4 Resolução do modelo matemático

Para efetuar a solução do modelo matemático proposto, utilizou-se uma planilha eletrônica do Excel, da Microsoft, bem como o software Solver®, adicionando todas as informações de forma que pudessem ser devidamente operadas pelos sistemas computacionais. Sendo assim, os dados foram incluídos no Solver conforme os parâmetros demonstrados na Figura 2.

Figura 2. Parâmetros do Solver

A Figura 2 explicita que o objetivo da função é minimizar a quantidade de equipamentos extintores de incêndio, as células variáveis são as possíveis alocações de extintores nos corredores, as restrições às quais o modelo está sujeito são as equações maiores ou iguais à disponibilidade de uma unidade, ou seja, cada corredor precisa ser atendido por pelo menos um extintor e o resultado das células variáveis deve ser binário. O método de solução selecionado é o LP Simplex por tratar-se de um problema linear. Após os dados inseridos no Solver, foi aplicada a resolução que revelou as informações constantes na Figura 3.

	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	
Minimizar Z:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Quantidade
Células variáveis	1	0	0	1	0	1	0	1	0	4

Figura 3. Resolução Apresentada pelo Solver

A Figura 3 expõe o resultado apresentado pelo Solver, indicando a disposição de quatro extintores de incêndio no total, mantendo apenas os Extintores A, D, F e H. Partindo destas informações foi possível redefinir a localização dos equipamentos (Figura 4).

Sujeito a:	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	Utilizado	Disponibilidade
Corredor 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Corredor 2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
Corredor 3	1	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1
Corredor 4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Corredor 5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
Corredor 6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Corredor 7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Corredor 8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
Corredor 9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Restrição	x1;x2;x3;x4;x5;x6;x7;x8;x9 e binário ≥ 0										

Figura 4. Relatório de respostas

O relatório de resposta, retratado na figura 4, identifica os corredores que cada extintor que foi mantido, em conformidade com a resolução indicada pelo solver, atende. Desta forma verifica-se que o Extintor A atende aos Corredores 1 e 3, o Extintor D atende aos Corredores 2, 3 e 4, o Extintor F atende aos Corredores 5, 6 e 7 e o Extintor H atende aos corredores 8 e 9, o que é representado e melhor visualizado na figura seguinte. Pode-se destacar que o corredor 3 pode ser atendido pelo extintor A e pelo extintor B.

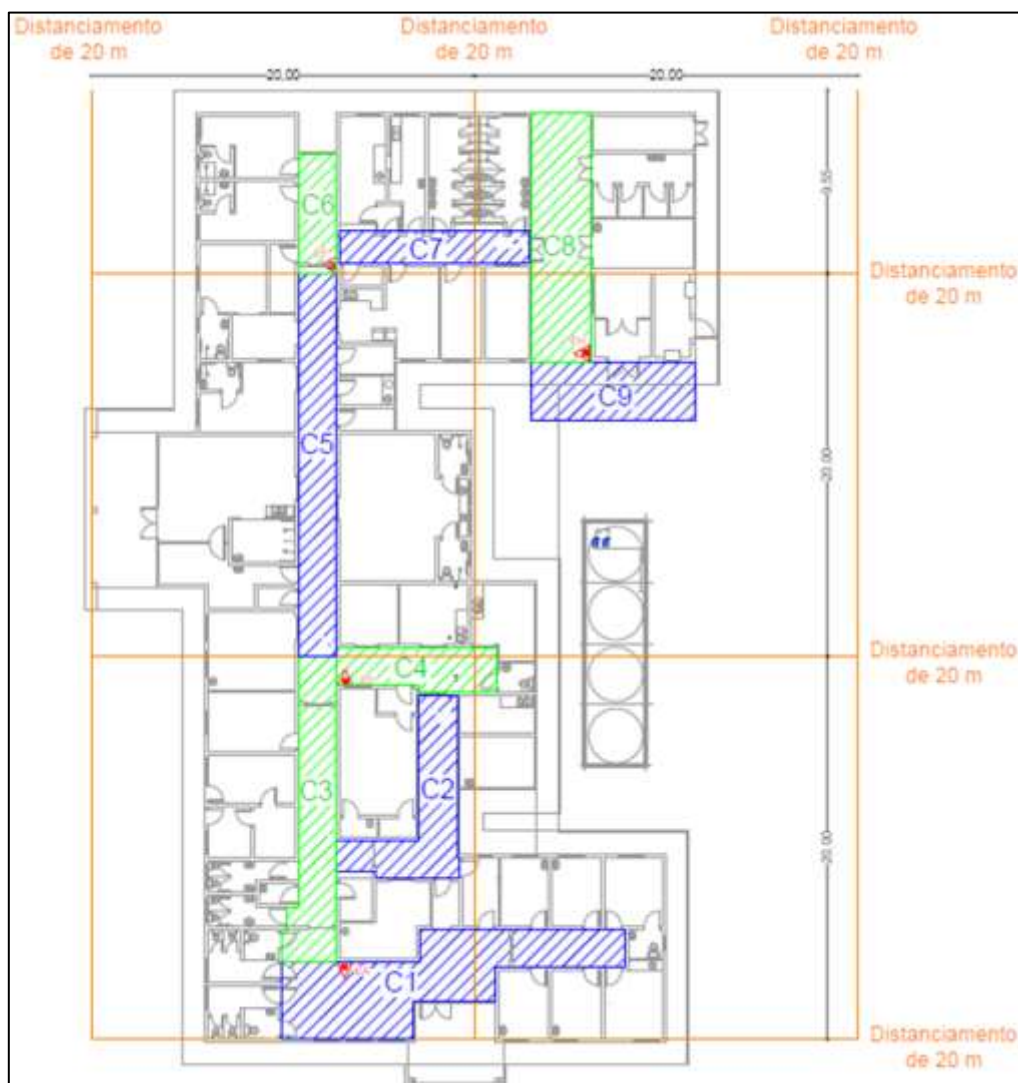


Figura 5. Representação da Localização Indicada pelo Solver

Com base nos indicadores e na representação da Figura 5, pode-se verificar, então, o posicionamento final de cada extintor, novamente observando-se que o Extintor A atende os Corredores 1 e 3, o Extintor D atende os Corredores 2, 3 e 4, o Extintor F atende os corredores 5, 6 e 7 e o Extintor H atende os Corredores 8 e 9. Todos os corredores estão contemplados com esta localização, o que leva ao próximo passo na avaliação destas informações, que é a verificação do atendimento aos preceitos legais.

4.5 Comparação dos resultados com a legislação vigente

Esta proposição de localização de quatro unidades de extintores, a despeito das nove unidades propostas e, ainda, das dez unidades instaladas na edificação, para ter sua real e concreta confirmação

de aplicabilidade neste tipo de situação específica, precisa ser comparada com a legislação e normas vigentes para então ser ratificada, eventualmente melhorada ou descartada.

A legislação de prevenção e combate a incêndio do estado do Rio Grande do Sul prevê uma série de especificações e ações que obrigatoriamente precisam ser atendidas. Dentre elas, a que se busca contemplar neste trabalho é o quantitativo de equipamentos extintores de incêndio a ser distribuído em qualquer edificação, aprimorando esta determinação, de maneira que atenda aos princípios da legalidade e da economicidade igualmente.

Desta forma, é necessário verificar se os quatro extintores indicados a serem mantidos no prédio atendem aos quesitos primordiais da legislação e levados em consideração na proposição das restrições, que são, para relembrar, ter um extintor de incêndio a até cinco metros de distância da porta principal e, neste caso específico em função de suas características e enquadramentos previamente feitos para o Plano de Prevenção Contra Incêndio (PPCI), ter a distância máxima a ser percorrida por um indivíduo não superior a vinte metros até chegar a um dos equipamentos. Para isto a definição dos corredores como locais chave nesta proposição de problema foi determinante, pois atende ao preceito legal da acessibilidade dos extintores e possibilita a elaboração das restrições nas edificações.

No Anexo B consta a indicação das metragens (na cor rosa) a se percorrer dos pontos mais distantes até os extintores. Constata-se que está respeitada a distância do Extintor A em relação ao principal acesso da edificação, mantida inferior a cinco metros (4,71 m), bem como todos os ambientes foram atendidos pela metragem necessária a ser percorrida até encontrar um dos extintores. Foram identificados os pontos mais distantes da edificação e traçadas linhas indicando o caminho a percorrer, mantendo-se os 20 metros máximos em todas as demonstrações.

Desta forma, a aplicação da programação linear inteira binária nesta edificação foi bastante eficiente, ao se propor o contexto de distribuição de extintores, com a utilização da distância de 20 metros para delimitação dos corredores bem como seus formatos em si, obteve-se uma resposta extremamente satisfatória para o local estudado.

Ao se elaborar um PPCI, sempre efetua-se esta conferência das distâncias a percorrer, para que o mesmo não possua erros neste sentido, ou seja, a verificação deve ser feita tanto na atual forma de elaboração quanto com a utilização do modelo matemático, porém, com a adoção do modelo, a indicação dos pontos de localização foi mais rápida, foi precisa e certamente indicou a quantidade mínima necessária, sem desperdício.

5. CONCLUSÃO

Administradores, diretores e gestores em geral buscam formas de potencializar os resultados em suas organizações, nos ambientes estratégicos, táticos e operacionais. Se valem de ferramentas diversas para auxiliá-los na tomada de decisões que irão gerar os ganhos almejados. Dentre a diversidade de técnicas que embasam e suportam as ações empresariais, a programação linear colabora com resultados determinantes, que pode ser extensivamente utilizada com a variação de modelos e estratégias, para demonstrar os resultados em diversos cenários, permitindo que seja selecionada a melhor alternativa.

Esta variada e ampla possibilidade de utilização da programação linear e dos modelos matemáticos que rege, foi visualizada em um contexto diferenciado, de localização de extintores de incêndio em uma edificação que necessita, ainda, seguir leis e normas específicas. Almejando também o uso adequado de recursos para sua aquisição e disposição, influenciando na busca pela decisão mais acertada.

O modelo matemático elaborado respondeu apropriadamente ao problema de pesquisa indicando a utilização de um número significativamente menor de extintores de incêndio - quatro - em comparação ao efetivamente existente - dez. Quanto ao atendimento da legislação, o resultado foi compatível ao obrigatório. Tal resultado atende ao objetivo do estudo, pois efetivamente determinou o

número mínimo de extintores de incêndio na edificação – quatro – utilizando-se do modelo matemático de programação linear inteira.

A consecução do objetivo perpassou por etapas até ser atendido como a decisão por um local amplo para verificação da aplicabilidade real do modelo matemático, então a definição dos corredores e da distância a percorrer para atender a legislação como restrições. Fez-se necessário também, determinar um padrão de extintores em que cada corredor fosse atendido por no mínimo uma unidade e que esta unidade buscasse atender dois corredores, no ponto em que se encontram, para que o modelo indicasse os ideais.

As determinações legais com suas especificidades, constituem uma limitação ao estudo dentro da esfera matemática, por interferir de forma despadronizada e não serial na elaboração do modelo dificultando o atendimento de todas as premissas necessárias, requerendo conhecimentos cada vez mais profundos de modelagem matemática para definir restrições mais elaboradas e eficazes. Outro fator limitante é a falta de pesquisas representativas deste tema, aplicando a programação linear à distribuição de extintores de incêndio.

Evidencia-se o potencial que a aplicação de um modelo matemático de programação linear pode ter neste cenário diferenciado de localização de materiais. Sendo assim, sugere-se a continuidade da execução deste modelo, buscando seu aperfeiçoamento e sua validação em contextos semelhantes, principalmente no refinamento das variáveis que o balizam e norteiam.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HILLIER, F. S.; HILLIER, M. S. **Introdução à ciência da gestão: modelagem e estudos de caso com planilhas eletrônicas**. 2013; 4 ed.; Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580553376/cfi/0!/4/2@100:0.00>> Acesso em: 14 jun. 2020.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9 ed.; 2013. Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/cfi/0!/4/2@100:0.00>> Acesso em: 13 jun. 2020.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração da produção e de operações. O essencial**. 2009; Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805181/cfi/0!/4/2@100:0.00>> Acesso em: 17 mai. 2020.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 2016; 5 ed.; Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521630494/cfi/6/2!/4/2@0.00:0.>> Acesso em: 14 jun. 2020.

LONGARAY, A. A. **Introdução à pesquisa operacional**. 2013; [1 ed.]; Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502210844/cfi/0!/4/2@100:0.00.>> Acesso em: 13 jun. 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE. E-book. 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zUDsAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 16 mai. 2020.

RIO GRANDE DO SUL, **Lei Complementar nº 14.376**, de 26 de dezembro de 2013. Estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndios. Disponível em: <<https://www.bombeiros-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202004/30161823-lec-n-14-376-completa.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

_____. **Decreto nº 51.803**, de 10 de setembro de 2014. Regulamenta a Lei Complementar nº 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio. Disponível em: <<https://www.bombeiros-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202004/30172823-dec-51803-14-ate-ate-55148-20-completo.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

_____. **RTCBMRS nº 14**, de 2016. Estabelece os critérios para proteção contra incêndio em edificações e áreas de risco de incêndio por meio de extintores de incêndio portáteis e sobre rodas. Disponível em: <<https://www.bombeiros-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201706/01161830-rtcbmrs-n-14-2016-extintores-de-incendio.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4 ed. Florianópolis: UFSC. 2005. Disponível em: <<http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

Slack, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

Diagrama de planta de um edifício com 9 células (C1 a C9) e 9 pontos de emergência (EA a EI). O diagrama mostra o layout das células, com algumas rotas de evacuação destacadas em verde e outras em azul. Há também uma área com três círculos no lado direito. Dimensões de 20,00 e 20,55 são indicadas. Textos em português indicam distâncias de 20m.