

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE COMPUTADORES

Suzianne Miranda Tormann

**OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE  
REDES ESTRUTURADAS**

Santa Maria, RS  
2017

**Suzianne Miranda Tormann**

**OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE REDES ESTRUTURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Tecnólogo em Redes de Computadores**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Viviane Cátia Köhler

Santa Maria, RS

julho

Tormann, Suzianne Miranda

OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE REDES ESTRUTURADAS / por Suzianne Miranda Tormann. – 2017.

42 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Viviane Cátia Köhler

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores, RS, 2017.

1. Redes de Computadores. 2. Cabeamento Estruturado. 3. Otimização Combinatória. 4. Localização de Facilidades. I. Köhler, Viviane Cátia. II. OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE REDES ESTRUTURADAS.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Suzianne Miranda Tormann. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: [suzianne.tormann@redes.ufsm.br](mailto:suzianne.tormann@redes.ufsm.br)

**Suzianne Miranda Tormann**

**OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE REDES ESTRUTURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Tecnólogo em Redes de Computadores**

**Aprovado em 12 de julho de 2017:**

---

**Viviane Cátia Köhler, Dr<sup>a</sup>.**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Guilherme Dhein, Dr. (UFSM)**

---

**Claiton Pereira Colvero, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS

2017

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, por todos os esforços empenhados, por toda a distância percorrida, pelos dias que a saudade habitou em nossos corações, dedico à vocês.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pois sem Ele nada é possível e só com Ele o impossível pode acontecer.

Agradeço imensamente aos meus pais, Alfeu e Cida, por não medirem esforços para realizar esses meus sonhos malucos, como estudar em outra cidade e mudar de casa, morar sozinha, mudar de curso... Que em nenhum momento me deixaram desistir, por sempre me apoiarem e continuarem me apoiando; Essa conquista é para vocês!

Agradeço as minhas irmãs do coração que a UFSM colocou na minha vida, Luana Mattiello e Daiane Bedin, por aguentarem todos os meus altos e baixos de humor, momentos de dúvidas, gripes, renites, os choros e risadas. Vocês são parte da minha vida, obrigada por cada momento nesses quase 5 anos juntas.

Agradeço a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Viviane Cátia Köhler, minha orientadora, mas muito mais que isso, minha amiga. Obrigada por ter aceito embarcar nessa ideia, mesmo que no início nada fizesse sentido e eu mal conseguisse explicar o projeto. Obrigada por ser muito mais que minha professora, por ser amiga, por puxar a orelha, por me incentivar a continuar mesmo em meio ao caos muitas vezes. Este trabalho só foi possível por que tive você me orientando, obrigada!

Agradeço a todos os meus professores desde a escola até a vida universitária. Agradeço especialmente aos docentes do Curso de Tecnologia em Redes de Computadores do CTISM e aos professores dos Departamentos de Matemática e Física do CCNE.

Agradeço a equipe do Provedor iVOCS, em especial ao pessoal do suporte e ao diretor Maurício Schuck, por terem me recebido tão bem e por me mostrarem o mundo além dos livros e bancadas de testes. Ainda tenho muito o que aprender mas hoje me sinto muito mais segura na vida profissional depois de ter passado esse período com vocês, obrigada de coração à todos.

Agradeço aos meus colegas do curso, em especial a turma de calouros de 2013/1 e todos que passaram pelas monitorias de Cálculo por todo esse tempo. Levo vocês no meu coração, contem comigo e acreditem, continuem, garanto que o futuro será lindo e próspero para todos nós e que por mais distante que pareça um dia a formatura chega!

À todos os meus amigos, presentes, distantes, online ou offline, de Santa Maria, Cachoeira do Sul ou Porto Alegre e região, que torceram, incentivaram e participaram dessa minha vida acadêmica, cheia de altos e baixos e que muitas vezes pareceu tender ao infinito, recebam meu muito obrigada.

## RESUMO

### OTIMIZAÇÃO PARA PROJETOS DE CABEAMENTO DE REDES ESTRUTURADAS

AUTORA: SUZIANNE MIRANDA TORMANN

ORIENTADORA: VIVIANE CÁTIA KÖHLER

A realização de um projeto de cabeamento estruturado é uma tarefa complexa devido a inúmeros requisitos que necessitam serem atendidos, dentre eles deparamos com a definição da localização das salas de telecomunicações (TR) que de acordo com o local que for colocado pode inviabilizar o cabeamento para alguns pontos de telecomunicações, por não atender a Normas de Cabeamento Estruturado ou por aumentar significativamente o custo da implementação do projeto de rede. Outro obstáculo é que cada vez se tem mais pessoas conectadas e com relação ao custo minimizar as perdas de material como cabos, calhas e eletrodutos. Este trabalho apresenta um modelo matemático para localização das salas de telecomunicações (TR) em um projeto de cabeamento estruturado, utilizando os conceitos da área de otimização combinatória como o problema de localização de facilidades. Para validação do modelo foram gerados dados de entrada para simular situações reais e encontrar uma solução para a mesma. Para encontrar esta solução foi utilizado a ferramenta *Solver* CPLEX<sup>®</sup> onde demonstra-se através de testes a validação do modelo.

**Palavras-chave:** Redes de Computadores. Cabeamento Estruturado. Otimização Combinatória. Localização de Facilidades.

## ABSTRACT

### OPTIMIZATION FOR STRUCTURED NETWORK CABLING PROJECTS

AUTHOR: SUZIANNE MIRANDA TORMANN

ADVISOR: VIVIANE CÁTIA KÖHLER

The realization of a structured design project is a complex task in terms of requirements of service needs, with a definition of the location of the telecommunication rooms (TR) that, according to the place for propagation, may make cabling unfeasible for some telecommunication points, by failing to comply Structured Cabling Standards or by increasing the network project implementation cost. Another obstacle encountered occurs every time you have more people connected, with regard to minimizing costs with material losses like cables, gutters and conduits. This paper presents a mathematical model for locating telecommunication rooms (TR) in a structured cabling project, using combinatorial optimization concepts such as location problems of facilities. For validation of the model, input data were generated to simulate real situations and to find a solution for it. In order to find this solution, the *Solver* CPLEX<sup>®</sup> tool was used, where the validation of the model is demonstrated through tests.

**Keywords:** Computer Networks. Structured Cabling. Combinatorial Optimization. Localization of Facilities.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Elementos e distribuição do cabeamento.....	18
Figura 3.1 – Exemplo de problema teste .....	22
Figura 3.2 – Exemplo de problema teste apresentando como o cabo seria passado entre o ponto $p_1$ até a $tr_2$ .....	23
Figura 4.1 – Distribuições das TRs candidatas para salas de 250 m x 250 m .....	31
Figura 4.2 – Distribuições das TRs candidatas para salas de 500 m x 500 m .....	32
Figura 4.3 – Formato da instância .....	32
Figura 4.4 – Formato do arquivo instância .....	33
Figura 4.5 – Solução do problema teste .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Média de preço de <i>switches</i> gerenciáveis .....	24
Tabela 3.2 – Média de preço dos cabos UTP- Cat6 .....	24
Tabela 4.1 – Modelo $\mathcal{A}$ - Custo do projeto .....	34
Tabela 4.2 – Modelo $\mathcal{B}$ - Custo do projeto .....	35
Tabela 4.3 – Modelo $\mathcal{C}$ - Custo do projeto .....	37
Tabela 4.4 – Comparação de Custos dos projetos .....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	12
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	12
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
<b>2.1.1 Planejamento e Projeto de Redes</b> .....	15
<b>2.1.2 Topologia de Redes</b> .....	16
<b>2.1.3 Cabeamento Estruturado</b> .....	16
2.1.3.1 <i>Normas de Cabeamento Estruturado</i> .....	17
2.1.3.2 <i>Elementos do cabeamento estruturado</i> .....	17
2.2 REVISÃO DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA.....	19
<b>2.2.1 Problemas de otimização aplicados a redes de computadores</b> .....	19
<b>2.2.2 Problema de localização de facilidades</b> .....	19
2.2.2.1 <i>Problema de localização de concentradores - PLC</i> .....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	22
3.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA.....	25
<b>3.1.1 Modelo <math>\mathcal{A}</math></b> .....	25
<b>3.1.2 Modelo <math>\mathcal{B}</math></b> .....	26
<b>3.1.3 Modelo <math>\mathcal{C}</math></b> .....	27
<b>4 RESULTADOS</b> .....	30
4.1 DADOS DE ENTRADA.....	30
<b>4.1.1 Geração de instâncias</b> .....	31
<b>4.1.2 Resultado do Problema Teste</b> .....	33
<b>4.1.3 Resultados do modelo <math>\mathcal{A}</math></b> .....	34
<b>4.1.4 Resultados do modelo <math>\mathcal{B}</math></b> .....	35
<b>4.1.5 Resultados do modelo <math>\mathcal{C}</math></b> .....	37
<b>5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

# 1 INTRODUÇÃO

Planejar e projetar o cabeamento de uma rede de telecomunicações não é uma tarefa simples, é necessário analisar alguns fatores como a necessidade do cliente, o orçamento que será aplicado no projeto, os materiais e equipamentos que serão necessários na implementação do projeto.

Alguns dos problemas encontrados pelo projetista é utilizar os recursos da melhor forma possível, evitando a perda de material, minimizando os custos do projeto e cumprindo as Normas de Cabeamento Estruturado.

Para facilitar na tomada de decisão na escolha de equipamento, este trabalho apresenta três modelos matemáticos que irão auxiliar na definição da melhor localização das salas de telecomunicações (*Telecommunications Room (TR)*) e reduzindo a quantidade de cabos a serem utilizados, conseqüentemente minimizando os custos do projeto.

Os modelos matemáticos apresentados para resolver o problema de projeto de rede foram elaborados com base no problema clássico de otimização, conhecido no ramo da Pesquisa Operacional como localização de facilidades.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Durante a disciplina de Cabeamento Estruturado no Curso de Tecnologia em Redes de Computadores foi proposto como trabalho prático projetar uma rede para o novo subsolo da Biblioteca Central da UFSM. Durante a elaboração deste projeto o grupo se deparou com alguns problemas como:

- Definir como atender todos os pontos de telecomunicações de forma a diminuir o custo do projeto;
- Melhorar localização das salas de telecomunicações, afim de atender todas as tomadas de telecomunicações;
- Seguir o projeto de acordo com as Normas de Cabeamento Estruturado.

Sendo assim, a motivação deste trabalho está em utilizar as técnicas de Otimização Combinatória para auxiliar na tomada de decisão do projetista no durante o desenvolvimento do projeto tendo como objetivo minimizar os custos de implementação.

Este problema possui analogia com o problema de Localização de Facilidades o qual se refere à decisão de posicionar os recursos para que atenda, da melhor forma possível, a demanda necessária. Em projetos de cabeamento os recursos a serem posicionados são as salas de telecomunicações e a demanda são os pontos de telecomunicações.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

São propostos modelos matemáticos para resolver o problema de Cabeamento Estruturado para ambientes internos como salas, pavilhões, escritórios, entre outros. Seguindo as Normas de Cabeamento Estruturado e atendendo os requisitos propostos pelo responsável do local, minimizando o custos da implantação da Rede Estruturada.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Auxiliar no desenvolvimento de projetos de Cabeamento Estruturado de acordo com as Normas de Cabeamento;
- Auxiliar na tomada de decisão das escolhas de equipamentos, como *switches* e sua quantidade de portas;
- Minimizar os custos da implementação do projeto.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Este primeiro com a apresentação do tema, justificativa e objetivos a serem atingidos.

O segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura com a definição do problema dentro dos conceitos abordados em planejamento e projeto de redes, cabeamento estruturado e redes de computadores. Também aborda uma revisão literatura para os problemas de otimização aplicados em planejamento de projetos de redes.

O terceiro capítulo expõe a metodologia aplicada neste trabalho e como foi realizada a formulação matemática a partir da definição do problema.

O quarto capítulo apresenta-se os dados de entrada utilizados para a obtenção dos resul-

tados através das modelagens matemáticas apresentadas neste trabalho.

Por fim, no quinto capítulo serão realizadas as considerações finais através da conclusão e proposta de trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Esse capítulo apresenta conceitos e definições referentes a temas abordados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, como conceitos de planejamento de projetos de redes de computadores e cabeamento estruturado, além da formulação matemática através do problema de Localização de Facilidades.

### 2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O presente trabalho aborda o problema de desenvolvimento de projetos de Cabeamento Estruturado que é encontrar a melhor localização para a origem do cabeamento horizontal de uma sala.

A origem do cabeamento horizontal é o local das salas de equipamento (ER) ou salas de telecomunicações (TR). Sendo que essa origem é única para todos os destinos, as tomadas de telecomunicações (TO). O caminho entre eles deve ter no máximo 90 metros, conforme Normas (ANSI/TIA:568, 1991) e (NBR14565, 2007), não seguir em diagonais e sim em linha reta paralela aos eixos, utilizando o conceito da geometria do táxi (KALEFF, 2004) e não deve possuir subcaminhos, ou seja, partir de um ponto diferente da origem. A capacidade de cada TR pode variar de acordo com o com a necessidade do local, mas o custo do equipamento utilizado varia de acordo com sua capacidade de alocação. Deseja-se que o custo total do projeto, cabos e equipamentos das TRs, seja o de menor possível, atendendo todos os pontos de telecomunicações pré-definidos.

Inicialmente as redes de computadores foram criadas com o o objetivo inicial de compartilhamento de dispositivos, como impressoras, conforme (KUROSE; ROSS, 2006). Neste cenário era encontrado apenas escolas, universidades e empresas. Essas redes não eram utilizadas por um grande número de pessoas, entretanto conforme (MARIN, 2009) em menos de uma década o crescimento da utilização deste meio de comunicação tornou-se tão essencial e importante que as tecnologias, tanto do cabeamento quanto dos equipamentos de informática, passou a ter maior relevância no mercado.

### 2.1.1 Planejamento e Projeto de Redes

Em planejamento e projeto de redes visa-se o objetivo de planejar da melhor maneira como atender as necessidades dos clientes, observando as restrições existentes na elaboração do projeto. Como exemplo de restrição seria o limite de orçamento a ser aplicado ao projeto e sua implementação, o tempo que levará esta elaboração, os funcionários devidamente treinados para manter o suporte da rede, dentre outros fatores.

Conforme (OPPENHEIMER, 2011) uma forma mais indicada para começar o planejamento é uma abordagem Top-Down, ou seja, pensando-se primeiramente na camada de aplicação do modelo OSI, (KUROSE; ROSS, 2006), compreendendo as aplicações que são utilizadas na rede a ser projetada e no decorrer do projeto ir decrescendo o valor das camadas. A última questão a ser planejada é a camada física, através das escolhas de equipamentos e cabeamento.

Assim o planejamento pode ser dividido em quatro fases principais:

- **Análise de requisitos:** Nesta primeira fase avalia-se a rede como um todo, isto é, para qual finalidade o cliente a usa, qual seu negócio e quais suas restrições. Nesta fase também caracteriza-se a rede existente, através de mapeamento lógico e verificação da documentação da rede.
- **Desenvolvimento do projeto lógico:** Durante o desenvolvimento lógico se identifica ou se projeta a topologia lógica da rede com o endereçamentos de rede, os protocolos de comunicação que serão utilizados, nomes de domínio da rede e desenvolve o projeto de segurança e a forma de gerenciamento.
- **Desenvolvimento do projeto físico:** Para o desenvolvimento do projeto físico, entra-se na fase de cabeamento, equipamentos e tecnologias a serem utilizadas.
- **Testes, otimização e documentação do projeto:** Nesta fase final testa-se e documenta-se as utilizações desta rede, durante estes testes quando necessário melhora-se as questões que não atingiram o objetivo, otimizando a rede desenvolvida.

Durante a fase de desenvolvimento do projeto físico que são avaliadas quais as necessidades existentes com relação a equipamentos e cabos de rede, como por exemplo a categoria do cabo a ser escolhida, a capacidade de desempenho de *switches* e/ou roteadores que serão utilizados, dimensão e capacidade de *racks* e distribuidores de piso.

### 2.1.2 Topologia de Redes

A topologia de rede é a forma que os dispositivos da rede estão conectados, ela está dividida em duas categorias básicas: A topologia física descreve a forma que a rede está conectada fisicamente, sua disposição de acordo com o espaço de localização dos dispositivos, já a topologia lógica refere-se a maneira como os dados são transferidos.

Algumas formas que as topologias, tanto física quanto lógica podem ser estruturadas:

- Ponto-a-ponto: os dispositivos são tanto clientes quanto servidor, desta forma não há a necessidade de um dispositivo central de rede. Todos os clientes recebem todos os dados enviados na rede, independente se está direcionado a ele ou não.
- Barramento: a topologia barramento é quando todos os dispositivos estão conectados no mesmo barramento físico, mas sua conexão se dá somente um dispositivo de cada vez, quando um cliente envia dados ao barramento os demais recebem estes dados, ocupando a rede e não permitindo os demais clientes enviar dados.
- Anel: esta topologia os equipamentos são conectados em série, formando um círculo fechado. Já o envio dos dados é feito em apenas um sentido do círculo, uma estação envia outras estações, até chegar ao destino.
- Estrela: Uma das topologias mais usadas, onde todos os dispositivos são conectados a um servidor central e através dele que é feita a distribuição de pacotes de acordo ao seu destinatário.

A distribuição em estrutura de estrela é adotada para redes locais, de acordo com (MARIN, 2009) onde cada equipamento estará conectado via segmento de cabo ao seu distribuidor central.

Dentre as topologias citadas a topologia estrela será utilizada neste trabalho por ser a mais adotada em projetos de cabeamento, onde a ligação dos pontos de telecomunicações são centralizadas nas TRs.

### 2.1.3 Cabeamento Estruturado

De acordo com (MARIN, 2009) a tecnologia evoluiu do estágio experimental à disponibilidade comercial rapidamente, assim como a velocidade de transmissão dos dados e as razões

deste crescimento se deve a dois pontos principais a tecnologia do cabeamento e a tecnologia dos equipamentos de informática.

Algumas das questões mais críticas à implementação de uma rede é a parte de cabeamento, mesmo sendo muitas vezes considerado simples. Deve-se levar em consideração as questões de desempenho e escalabilidade, que é a facilidade desta estrutura ser utilizada por um longo período de tempo, mesmo com o avanço da tecnologia existente.

Considerando a escalabilidade do cabeamento, leva-se em conta o "tempo de vida" desta estrutura para tal questão existem normas que asseguram o tempo de vida útil e o desempenho de uma rede, quando devidamente aplicadas ao projeto em questão, fazendo com que o seu crescimento seja feito de forma fácil e organizada e ajudando no gerenciamento da rede como um todo.

#### **2.1.3.1 Normas de Cabeamento Estruturado**

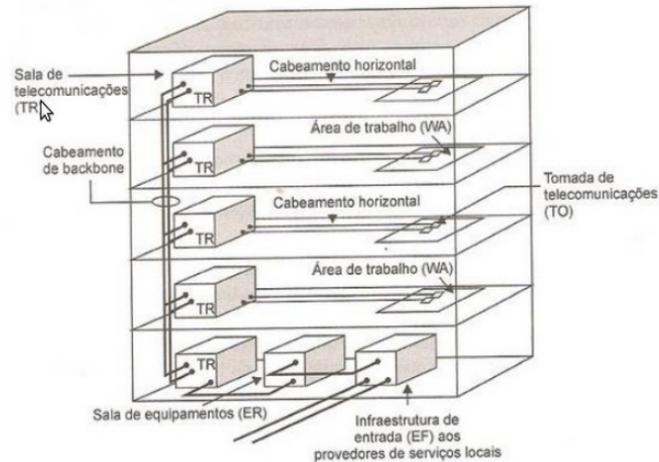
As normas de cabeamento estruturado asseguram seu desempenho, sua capacidade de crescimento futuro, auxiliam na documentação de forma organizada e genérica.

- ANSI/TIA 568B: determinada pela TIA (*Telecommunications Industry Association*) e EIA (*Electronic Industries Alliance*) estas normas definem os principais conceitos de cabeamento como os seus elementos, a topologia a ser utilizada, distância máxima entre ativos e testes a serem feitos na estrutura.
- ANSI/TIA 606A: Padroniza a identificação e gerenciamento da infraestrutura da rede ou se especifica métodos para essas questões.
- NBR 14565: Originada pela ABNT a NBR 14565 baseia-se na norma 568B criada pela ANSI/ISO onde é padronizado as questões gerais do cabeamento como seus elementos. Em 2007 esta norma foi revisada e reescrita, trocando o nome anterior para Cabeamento de Telecomunicações para Edifícios Comerciais.

#### **2.1.3.2 Elementos do cabeamento estruturado**

Os elementos existentes nos projetos de cabeamento estruturado, conforme Figura 2.1 são denominados de acordo com as descrições a seguir:

Figura 2.1: Elementos e distribuição do cabeamento



Fonte: (MARIN, 2009)

- **EF - Infraestrutura de Entrada:** Local de entrada de links para provedores de acesso local.
- **ER - Sala de Equipamentos:** Sala onde localizam-se os principais ativos da rede como roteadores e *switches* centrais, normalmente fechada e de acesso restrito. Possui controle de temperatura com ar-condicionados e *no-breaks* para alimentação dos equipamentos.
- **Cabeamento vertical/backbone:** seguimento de cabo que faz a ligação entre as salas de telecomunicações.
- **TR - Sala de Telecomunicações:** Sala ou *racks* distribuído entre andares, salas e/ou corredores dos prédios comerciais, pode possuir elementos como *switches* e/ou *patch panels* espelhados da conexão da ER. Sua localização deve ser o melhor possível de forma a atender todas as tomadas de telecomunicações.
- **Cabeamento horizontal:** seguimento de cabo que faz a ligação das TRs com as TOs, tomadas de telecomunicações. De acordo com (ANSI/TIA:568, 1991) e (NBR14565, 2007) não deve possuir mais que 90 metros de distância.
- **AW - Área de trabalho:** Local onde fica o cliente e seus equipamentos como computador e as tomadas de telecomunicações.
- **TO - Tomada de telecomunicação:** também chamada de ponto de rede mas que deve ser uma terminação genérica, utilizável tanto para dados quanto para voz, é o elemento

final do cabeamento horizontal, possui uma RJ45 fêmea para a ligação do *patch cord* do cliente da área de trabalho correspondente.

## 2.2 REVISÃO DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Para uma melhor tomada de decisão ao problema de localização de *switches* e distribuidores dentro de um projeto de cabeamento para redes de computadores foram pesquisados conceitos da área de Otimização Combinatória para o maior entendimento das técnicas de modelagem matemática.

### 2.2.1 Problemas de otimização aplicados a redes de computadores

O primeiro passo para o desenvolvimento da modelagem matemática foi a procura por tecnologias com objetivos próximos ao deste trabalho, assim como artigos, teses, dissertações e notas de aula com uma abordagem equivalente ao objetivo deste trabalho.

(SILVA, 2012) foi o primeiro trabalho de otimização aplicado a Projeto de Redes encontrado durante as pesquisas iniciais. Nele é considerado uma proposta de otimização de redes de telecomunicações para redes com fibra óptica utilizando métodos de pré-processamento com Busca Tabu para a geração de soluções.

Em uma segunda pesquisa foi estudado a tese de (BANOV, 2005). Nela é apresentado uma modelagem evolutiva para o planejamento de redes em expansão, ou seja, uma rede já existente ser reestruturada conforme as necessidades apresentadas considerando os custos a serem aplicados a longo prazo. Em (BANOV, 2005) utiliza um modelo matemático evolutivo que decompõe o problema em parte inteira e real.

### 2.2.2 Problema de localização de facilidades

O problema de localização de facilidades abordado por (ANTIQUERA, 2012) tem por objetivo distribuir e determinar as áreas de melhores localizações visando minimizar a distância percorrida entre elas. Normalmente os problemas que utilizam a localização de facilidades possuem elevada complexidade e grande número de variáveis a serem consideradas, mas dependendo da dimensão do problema é possível resolver utilizando métodos exatos, em outros casos é utilizado inclusive algoritmos aproximativos.

Dentre as aplicações deste problema pode-se citar: a localização de centros de comu-

nicação em redes telefônicas, de subestações em rede de energia elétrica e de localização de correspondência, como mostra (CAMPOS TSUCHIDA, 2008) várias aplicações e classificações dos modelos de localização.

No seu trabalho (CAMPOS TSUCHIDA, 2008) explica que os modelos matemáticos para localização devem responder a questões importantes como:

- quantidade de instalações;
- onde instalar, melhor local;
- tamanho e demanda por produtos e/ou serviços.

Classificando os diferentes contextos existentes para os problemas de localização abordados por (CAMPOS TSUCHIDA, 2008) são:

1. Modelos de localização contínuos: as instalações a serem feitas podem ser localizadas em qualquer ponto do plano/espço.
2. Modelos de localização em rede: as instalações podem ocorrer apenas nos pontos e arcos das rede
3. Modelos de localização discretos: estas instalações são localizadas entre os nós, os quais a distância é arbitrária.
4. Medidas de distância: pode-se utilizar a distância euclidiana, dada pela medida da reta dois pontos, ou pela geometria do táxi, dada pela soma das diferenças de coordenadas entre dois pontos.
5. Número de instalações: nos problemas de localização este número pode ser fornecido e estipulado como restrição ou serem obtidos na solução do problema.

#### 2.2.2.1 *Problema de localização de concentradores - PLC*

Para (GOLDBARG, 2000) o problema de localização de concentradores, PLC, é considerado um dos problemas mais importantes na área computacional. O PLC é capaz de representar várias instâncias de um problema de arquitetura de redes centralizadas.

Este modelo tem como objetivo responder algumas questões como:

- Quantos concentradores são necessários?

- Onde eles devem ser localizados?
- De que forma estes concentradores são ligados até a central?
- Quais terminais serão interligados em qual concentrador?

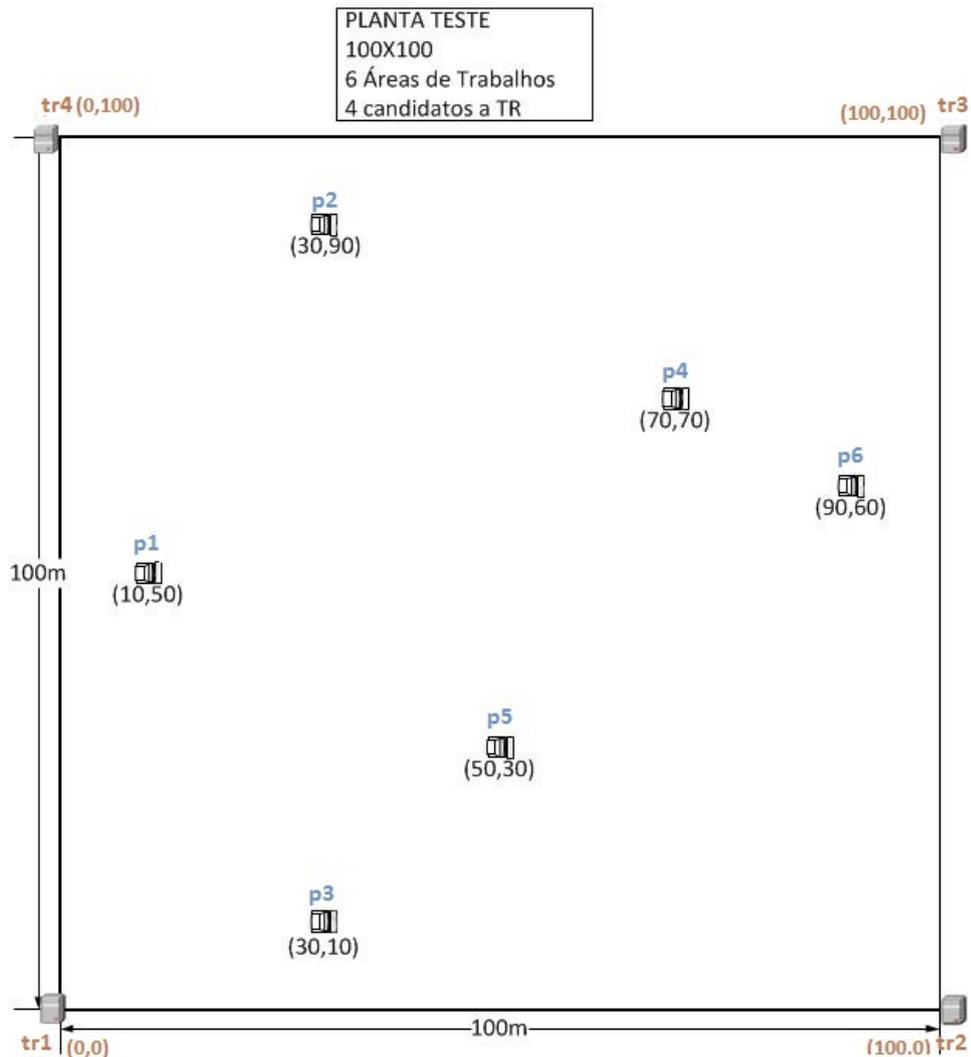
Com essas questões a serem respondidas é possível verificar várias aplicações práticas deste problema como projetos de redes comunicação até, por exemplo, a melhor localização de serviços de emergências, como ambulâncias, dentro de um bairro.

### 3 METODOLOGIA

O problema tratado neste trabalho pode ser descrito formalmente como um grafo  $G$  que é formado pelos  $n$  pontos de rede  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = \{p_i\}$  para  $i = 1, \dots, n$  e  $m$  pontos candidatos a localização das TRs que denominaremos de  $TR = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_m\} = \{tr_j\}$  para  $j = 1, \dots, m$ . Desta forma o grafo  $G$  tem a cardinalidade  $n + m$ .

Antes de definir como serão as arestas do grafo  $G$  é necessário explicitar que cada vértice é formado por coordenadas cartesianas do  $\mathbb{R}^2$ . Desta forma obtêm-se que as coordenadas de  $P$  são  $C_P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\} = \{(x_i, y_i)\}$  para  $i = 1, \dots, n$  e que as coordenadas dos candidatos a localização das TRs como  $C_{TR} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\} = \{(x_j, y_j)\}$  para  $j = 1, \dots, m$ .

Figura 3.1: Exemplo de problema teste



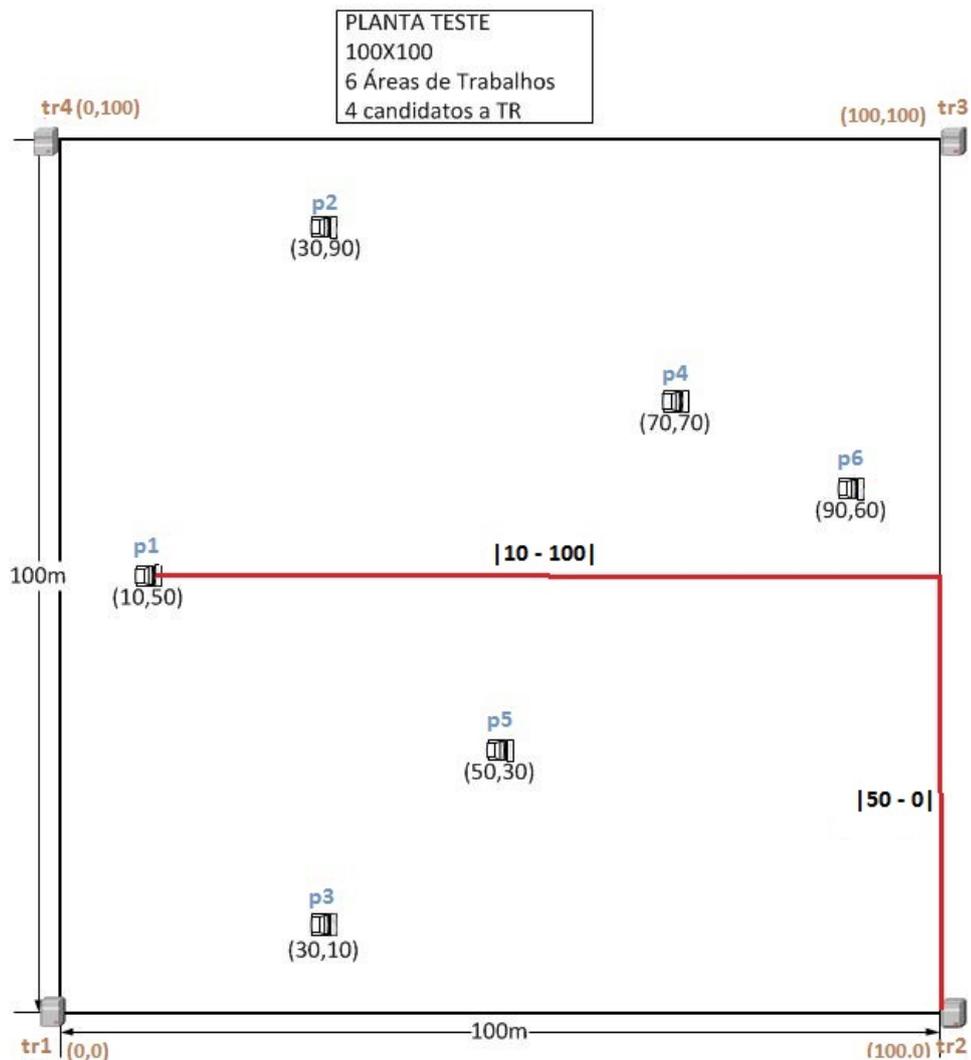
Fonte: Autor

Conforme Figura 3.1 podemos observar que  $p_1$  é formado pelas coordenadas (10, 50) e a  $tr_2$  pelas coordenadas (100, 0).

Lembrando que neste trabalho utilizou-se o índice  $i$  para os pontos de rede e o índice  $j$  para indicar a localização dos candidatos a TR. Para compreender os pesos das arestas do grafo  $G$  ponderado, este peso da aresta é dada pela distância existente do ponto  $i$  até a TR  $j$  que é calculado utilizando conceito da geometria do táxi, conforme (KALEFF, 2004) cita como método Não-Euclidiano para calcular a distância:

$$d_{ij} = |(x_i - x_j)| + |(y_i - y_j)| \quad (3.1)$$

Figura 3.2: Exemplo de problema teste apresentando como o cabo seria passado entre o ponto  $p_1$  até a  $tr_2$



Fonte: Autor

Por exemplo, conforme Figura 3.2 a distância existente entre o ponto  $p_1$  e a  $tr_2$ , ou seja,

$d_{12} = |(10 - 100)| + |(50 - 0)| = |-90| + |50| = 90 + 50 = 140$ . Após fazer todos os cálculos de distâncias é obtido a matriz de distâncias  $D = (d_{ij})_{m \times n}$  dos pontos P até a TR.

$$D = \begin{bmatrix} 60 & 140 & 140 & 60 \\ 120 & 160 & 80 & 40 \\ 40 & 80 & 160 & 120 \\ 140 & 100 & 60 & 100 \\ 80 & 80 & 120 & 120 \\ 150 & 70 & 50 & 130 \end{bmatrix}$$

Além de definir a entrada de dados do problema é necessário apresentar os custos das TRs e dos cabos que serão utilizados. Os valores destes materiais foram obtidos através de pesquisa feita em lojas online de equipamentos de rede e calculado a média de valores dos equipamentos e cabos com a mesma funcionalidade.

Foi utilizado valor médio, pois o valor é variável de acordo com a região e também é uma decisão que o projetista deve tomar juntamente com o cliente, de acordo com o orçamento disponível.

A Tabela 3.1 demonstra uma média de valores dos *switches* gerenciáveis de 8, 16 e 24 portas.

Tabela 3.1: Média de preço de *switches* gerenciáveis

<b>Fabricante</b>	<b>8 portas</b>	<b>16 portas</b>	<b>24 portas</b>
TP-Link®	R\$125,00	R\$180,00	R\$220,00
3Com - HP®	R\$229,00	R\$294,00	R\$310,00
Preço médio	R\$177,00	R\$237,00	R\$265,00

Fonte: Autor, baseado em valores das pesquisas <https://www.google.com.br/shopping> Acesso em 16/06/2017

A Tabela 3.2 demonstra uma média de valores dos cabos UTP de categoria 6.

Tabela 3.2: Média de preço dos cabos UTP- Cat6

<b>Fabricante</b>	<b>Valores</b>
Furukawa®	R\$ 2,50/m
Soho Plus®	R\$2,00/m
Nexans®	R\$1,85/m
Preço médio	R\$2,10/m

Fonte: Autor, baseado em valores das pesquisas <https://www.google.com.br/shopping> Acesso em 16/06/2017

Os valores médios apresentados nas tabelas 3.1 e 3.2 serão utilizados dentro dos modelos matemáticos desenvolvidos e apresentados nas próximas sessões deste capítulo.

### 3.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

A formulação matemática do problema foi dividida em três abordagens diferentes, cada uma dessas fez parte de um processo de entendimento geral do problema. A cada fase encontrava-se a necessidade de acrescentar detalhes importantes para a elaboração do modelo, um exemplo é que além de encontrar a melhor localização, houve a necessidade de encontrar o melhor equipamento para aquele projeto em questão, otimizar além do custo de cabos, o custo também dos equipamentos a serem utilizados.

#### 3.1.1 Modelo $\mathcal{A}$

O primeiro modelo tem como objetivo minimizar o custo dos cabos de rede que serão utilizados para atender todos os pontos  $P$  do problema e nas restrições utilizou-se o conceito apresentado nas normas (ANSI/TIA:568, 1991) e (NBR14565, 2007) que restringem a distância entre TR e  $P$  seja igual ou inferior a 90 metros.

Para esse modelo será usado a distância  $d_{ij}$  que foi definida em 3.1 que é a distância entre os pontos  $p_i$  até a  $tr_j$ , o custo  $c = R\$2,10$  de acordo com a Tabela 3.2. Além desses parâmetros de entrada temos a variável de decisão do tipo binária  $w_{ij}$  que indica se o ponto  $p_i$  está sendo atendido pela  $tr_j$ . O objetivo do nosso problema é minimizar o custo de cabo utilizado

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} 2,10 \cdot d_{ij} w_{ij}$$

ou genericamente

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} c \cdot d_{ij} w_{ij}$$

A restrição

$$\sum_{j \in TR} w_{ij} = 1$$

para todo  $i$  em  $P$  faz com que o ponto  $i$  esteja alocado apenas a um único  $j$  pertencente a TR.

A restrição

$$\sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} \leq 90$$

para todo  $i$  em  $P$  define que a distância máxima entre o ponto de rede  $i$  e a TR  $j$  seja no máximo de 90 metros.

Desta forma o Modelo  $\mathcal{A}$  genericamente será:

$$(A) \quad \text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} c \cdot d_{ij} w_{ij} \quad (3.2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in TR} w_{ij} = 1 \quad \forall i \in P \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} \leq 90 \quad \forall i \in P \quad (3.4)$$

$$w_{ij} \in \{0, 1\} \quad (3.5)$$

Este modelo  $\mathcal{A}$  tem como objetivo apenas minimizar o custo dos cabos de rede, desprezando o custo das TRs. O próximo modelo irá considerar o valor das TRs utilizadas na solução do problema.

### 3.1.2 Modelo $\mathcal{B}$

O Modelo  $\mathcal{B}$  possui o objetivo de minimizar o custo total, ou seja, o custo dos cabos e dos *switches* utilizados. Neste modelo utilizamos o custo de *switches* com 8 ( $q = 8$ ) portas de capacidade será usado  $v = R\$177,00$  conforme a Tabela 3.1. Para resolver esse novo problema foi necessário acrescentar uma nova variável  $y_j$  que irá identificar quais das  $j$  TR disponíveis serão utilizadas. Com o acréscimo do custo das TRs a função objetivo será

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} \cdot 2,1 + \sum_{j \in TR} 177 \cdot y_j$$

ou genericamente

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} c + \sum_{j \in TR} v y_j$$

tendo assim ao final o custo dos materiais utilizados para resolver o problema dos  $n$  pontos de redes.

Para esse modelo possui duas restrições idênticas ao Modelo  $\mathcal{A}$  que são as restrições (3.3) e (3.4) e possuem a mesma utilidade.

Para todo  $j$  pertencente a TR temos a restrição

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq 8 y_j$$

ou genericamente

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq q y_j$$

que irá limitar a utilização da TR  $j$  de acordo com a sua capacidade, ou seja a quantidade máxima TOs (pontos de rede) que podem ser alocados em cada TR.

É necessário ter uma restrição para todo  $i$  pertencente a P e a todo  $j$  de TR da seguinte forma

$$w_{ij} \leq y_j$$

que serve para identificar quais das TR estão sendo utilizadas, e neste modelo a variável  $y_j$  assumirá valor 1 se a TR  $j$  estiver sendo usada na solução e 0 caso contrário. Essa variável é necessária para que a função objetivo considere o valor das TR utilizadas.

Assim resumi-se o Modelo  $\mathcal{B}$  genericamente da seguinte forma:

$$(\mathcal{B}) \quad \text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} c + \sum_{j \in TR} v y_j \quad (3.6)$$

Sujeito a:

$$(3.3), (3.4)$$

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq q y_j \quad \forall j \in TR \quad (3.7)$$

$$w_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in P; \forall j \in TR \quad (3.8)$$

$$0 \leq y_j \leq 1 \quad \forall j \in TR \quad (3.9)$$

$$w_{ij} \in \{0, 1\} \quad (3.10)$$

### 3.1.3 Modelo $\mathcal{C}$

A ideia que a cada modelo seja acrescentado detalhes que são importantes serem resolvidos para auxiliar na tomada de decisão do projetista. Então para o caso da evolução dos modelos propostos ocorre sempre na incrementação de detalhes que no caso será considerado a disponibilidade de  $k$  modelos de TR (*switches*), que estão definidos como sendo  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\} = \{m_k\}$  para  $m = 1, \dots, k$ .

Também por consequência disso a variável que no Modelo  $\mathcal{B}$  foi definida como  $y_j$  receberá mais um índice para indicar qual dos  $k$  tipos de TRs será utilizado. Outra variável que terá índice  $k$  que é o valor de cada modelo de TR disponível, assim a variável será  $v_k$  que receberá o valor da  $k$  TR correspondente. Estes valores são de acordo com a Tabela 3.1. A variável  $q$  do

Modelo  $\mathcal{B}$  também terá o índice  $k$  para identificar a quantidade de portas disponíveis em cada tipo de TR que poderão ser utilizadas, que será  $q_k$ .

O Modelo  $\mathcal{C}$  têm como objetivo minimizar o custo do projeto de rede, auxiliando na tomada de decisão sobre qual *switch* mais adequado, dentre as opções existentes, para espaço que deseja-se fazer o projeto de cabeamento, e a função objetivo será da seguinte forma:

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} 2,1 \cdot d_{ij} w_{ij} + \sum_{j \in TR} (177 \cdot y_{j1} + 237 \cdot y_{j2} + 265 \cdot y_{j3})$$

ou genericamente como

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} c \cdot d_{ij} w_{ij} + \sum_{j \in TR} \sum_{k \in M} v_k y_{jk}$$

Para esse modelo também existem duas restrições idênticas ao Modelo  $\mathcal{A}$  e  $\mathcal{B}$  que são as restrições (3.3) e (3.4) e possuem a mesma utilidade.

Para garantir que na localização  $j$  seja usada apenas um dos  $k$  modelos de *switches* disponíveis, demonstra-se que

$$\sum_{k \in M} y_{jk} \leq 1$$

não irá permitir mais um modelo de TR e mais de uma TR no mesmo local.

Como cada modelo de *switch* tem uma quantidade de portas, é necessário uma restrição que não permita alocar mais do que a capacidade do *switch* definido, assim a restrição

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq (8y_{j1} + 16y_{j2} + 24y_{j3})$$

ou genericamente

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq \sum_{k \in M} q_k y_{jk}$$

considera a capacidade de cada um dos tipos de *switches* disponíveis.

Lembrando que para resolver o problema é necessário que a variável  $w_{ij}$  seja do tipo binário, ou seja, de decisão, para identificar em qual localização  $j$  da TR está alocado o ponto  $i$ . E a variável  $y_{jk}$  por consequência da variável binária  $w_{ij}$  assumirá valores entre 0 e 1.

Então a solução do modelo proposto minimiza o custo de atender  $n$  pontos de rede solicitados ao projetista e levará em conta vários modelos de TR disponíveis, com seus respectivos valores e capacidades de portas. E assim pode-se descrever genericamente o Modelo  $\mathcal{C}$  da seguinte forma:

$$(C) \quad \text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} c_{ij} w_{ij} + \sum_{j \in TR} \sum_{k \in M} y_{jk} v_k \quad (3.11)$$

Sujeita a:

$$(3.3), (3.4)$$

$$\sum_{k \in M} y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \in TR \quad (3.12)$$

$$\sum_{i \in P} w_{ij} \leq \sum_{k \in M} q_k y_{jk} \quad \forall j \in TR \quad (3.13)$$

$$0 \leq y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \in TR \quad (3.14)$$

$$w_{ij} \in \{0, 1\} \quad (3.15)$$

Desta forma finaliza-se a descrição dos modelos desenvolvidos. No capítulo seguinte serão apresentados resultados dos testes computacionais.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo estão sendo demonstrados os resultados obtidos através dos testes computacionais realizados com os modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho. Os modelos matemáticos foram desenvolvidos na linguagem de programação C++ para torná-los automáticos para a leitura das instâncias e obter a solução do problema.

Devido o problema se tratar de Programa Linear Inteira Mista (PLIM) foi utilizado o *Solver* CPLEX<sup>®</sup> na sua versão Enterprise, utilizando um computador com sistema operacional Ubuntu 16.04 LTS 64bits, 8 GB de memória RAM e processador Intel Core i5 com processamento de 2,80 GHz.

### 4.1 DADOS DE ENTRADA

Pensando-se nos conceitos de planta baixa e a questão de distância entre TR e TO utilizou-se como dados de entrada os valores das coordenadas das TRs e TOs a serem alocadas no espaço de acordo com a necessidade do cliente.

Um exemplo para o problema temos a Figura 3.1 de uma planta padrão para os testes iniciais. Temos uma sala de dimensões 100m X 100m onde possui seis TOs que precisam ser atendidas.

Quando o projetista se depara com problemas como o da Figura 3.1 algumas questões necessitam de resposta como:

- Qual a localização das TRs que se obtêm o menor custo para atender os pontos de rede?
- Quantas são necessárias para atender a demanda de pontos de acordo com as Normas de Cabeamento Estruturado?
- Qual o custo mínimo para atender todos os pontos requeridos?

Essas questões podem aumentar a complexidade de acordo com o tamanho do espaço que será feito o projeto.

Como não foi possível montar uma instância com o problema aplicado na disciplina de Cabeamento Estruturado, devido a escala mal projetada no trabalho feito em grupo da disciplina, foi necessário gerar dados de entrada (instâncias) fictícias para verificar e validar os modelos propostos.

### 4.1.1 Geração de instâncias

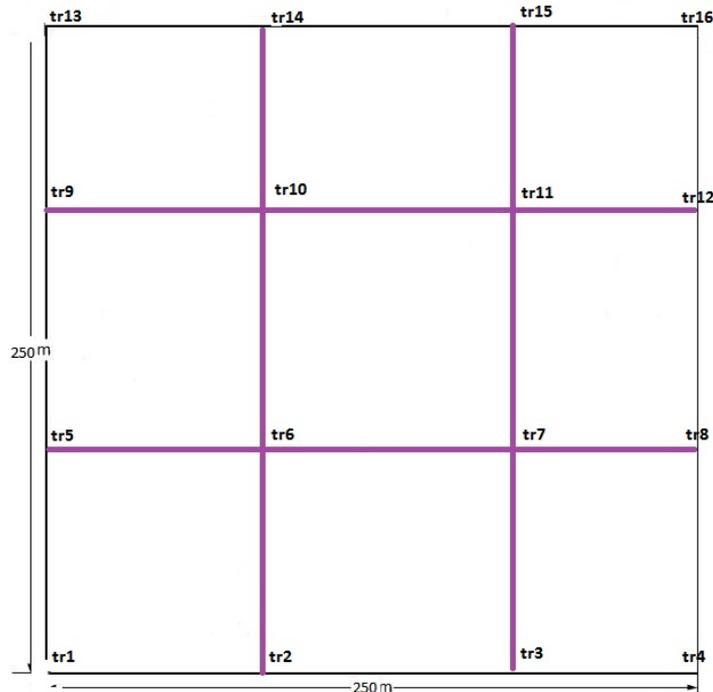
As instâncias de testes foram geradas de forma aleatória através de um software escrito em linguagem C no qual dispôs as instâncias em arquivos de formato texto padrão, .txt, em duas colunas sendo a primeira linha contendo o número de TOs da e o número de TRs. As demais linhas dos arquivos são as coordenadas das TRs e dos TOs respectivamente.

As coordenadas das TRs foram previamente estabelecidas de acordo com a necessidade de cada local. Para as TOs o software gerou as coordenadas de forma aleatória.

As instâncias variam o tamanho das salas de 10 metros x 10 metros, 250 metros x 250 metros e 500 metros x 500 metros, possuindo 10%, 30% e 50% do tamanho do espaço em TOs (pontos de redes).

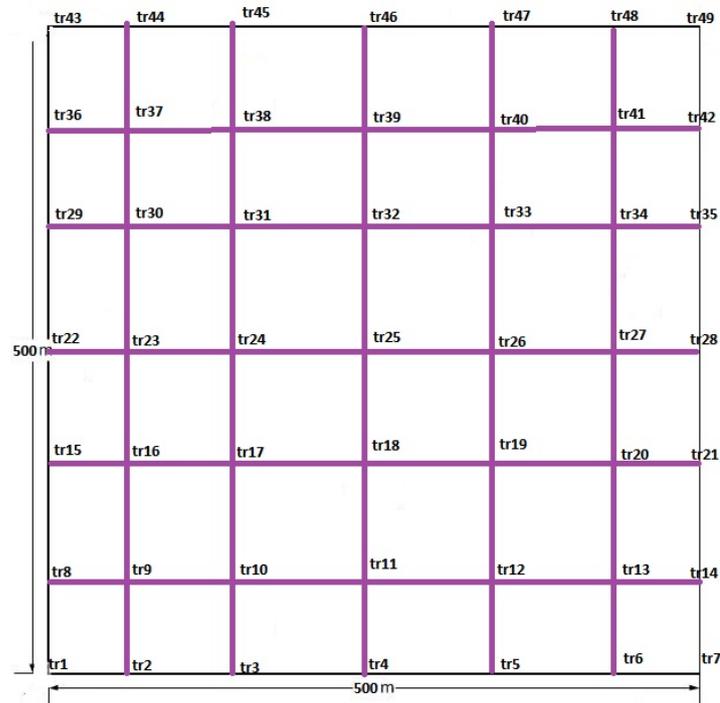
A quantidade de TRs varia de acordo com o tamanho da sala, em salas de de 10 metros definiu-se 4 localizações candidatas para TRs, nas extremidades da sala, em 250 metros 16 localizações candidatas, conforme Figura 4.1 e em 500 metros 49 localizações candidatas para TRs distribuídas de acordo com a Figura 4.2.

Figura 4.1: Distribuições das TRs candidatas para salas de 250 m x 250 m



Fonte: Autor

Figura 4.2: Distribuições das TRs candidatas para salas de 500 m x 500 m

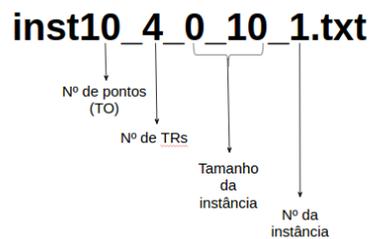


Fonte: Autor

- **Formato da instância - nome**

A Figura 4.3 explica o formato do nome da instância, para maior entendimento dos resultados posteriores.

Figura 4.3: Formato da instância



Fonte: Autor

- **Formato da instância - arquivo**

A Figura 4.4 demonstra o formato interno da instância para ser feita a leitura e a manipulação dos dados para a resolução através do *solver* CPLEX<sup>®</sup>.

Figura 4.4: Formato do arquivo instância

10 4		p tr
0 0	} coord_tr	coord tr1
0 10		coord tr2
10 10		coord tr3
10 0		coord tr4
3 6	} coord_pontos	coord p1
7 5		coord p2
3 5		coord p3
6 2		coord p4
9 1		coord p5
2 7		coord p6
0 9		coord p7
0 6		coord p8
2 6		coord p9
1 8		coord p10

Fonte: Autor.

A partir da leitura dos números de pontos (TOs) e números de TRs é possível, dentro do modelo em C++, montar as matrizes de coordenada dos pontos e das TRs. Os valores de  $p$  e  $TR$  são utilizados como índices para a montagem .

Após geradas as matrizes é feito o cálculo da distância utilizando a equação 3.1 e então sim é construído o modelo e resolvido para cada um dos casos testes utilizando resolvidor de PLIM (CPLEX<sup>®</sup>).

#### 4.1.2 Resultado do Problema Teste

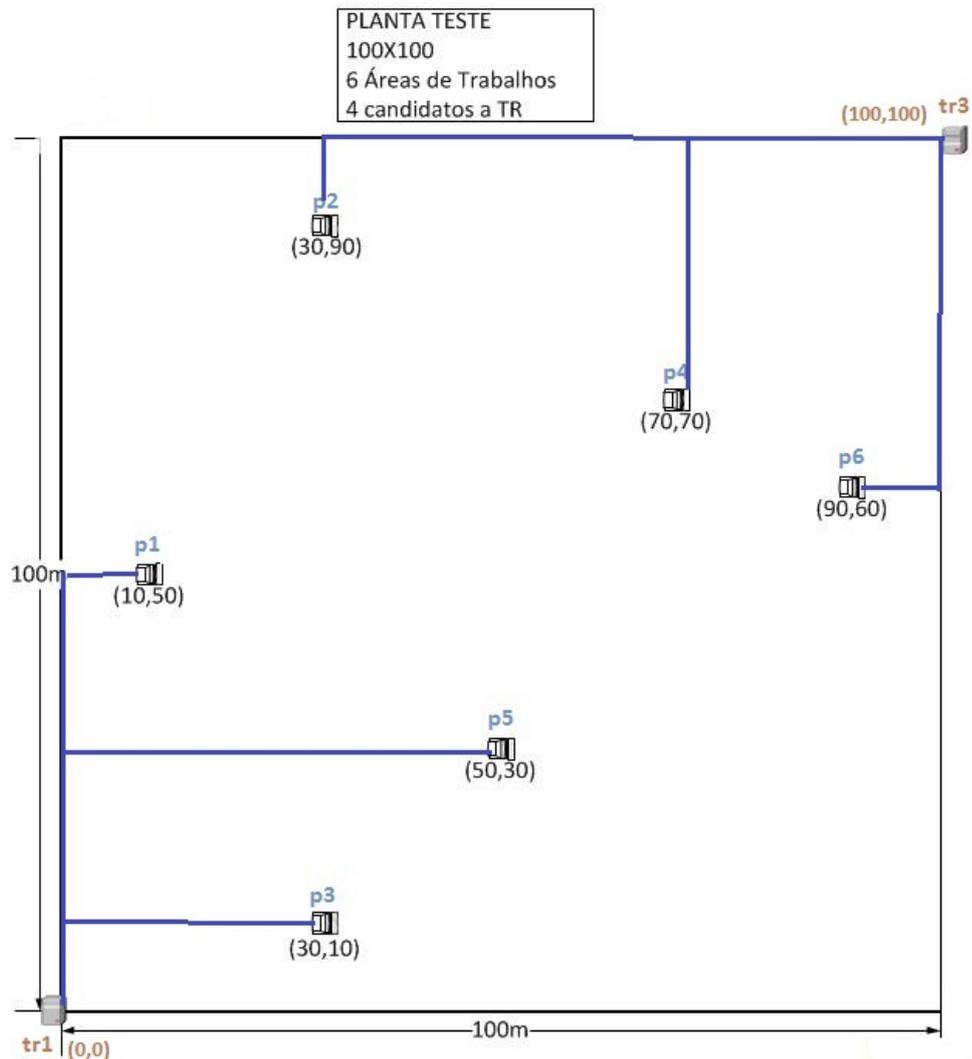
Para exemplificar a solução do Problema Teste (Figura 3.1) apresentado nesse trabalho e facilitar o entendimento dos Modelos. A solução apresentada na Figura 4.5 foi obtida através dos Modelos  $B$  e  $C$  com resultados iguais. Nas duas foram utilizadas 2 TRs, cada uma com valor de R\$177,00 e 8 portas de capacidade, custo de cabos foi de R\$777,00 e o custo total deste problema foi de R\$1131,00. Mesmo que tendo disponível mais portas não foram necessários, pois neste modelo a instância possui pequena dimensão e também poucos pontos, não sendo necessário utilizar mais TRs.

Para esse problema Teste foi encontrado a solução:

$$w_{11} = w_{23} = w_{31} = w_{43} = w_{51} = w_{63} = 1$$

e para as outras variáveis obtivemos valor igual a zero, ou seja, não foi alocado nenhum ponto  $i$  na  $tr_2$  e nem na  $tr_4$ . Essa solução pode ser visualizada em Figura 4.5.

Figura 4.5: Solução do problema teste



Fonte: Autor

Agora são apresentados os resultados para as instâncias geradas com a respectivas soluções encontradas para os três Modelos definidos neste trabalho.

#### 4.1.3 Resultados do modelo $\mathcal{A}$

O Modelo  $\mathcal{A}$  minimiza o custo dos cabos e define entre as TR candidatas qual delas auxilia na minimização do custo total. Nesse caso foi usando o valor de R\$2,10 para o metro do cabo, de acordo com a média de preços apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 4.1: Modelo  $\mathcal{A}$  - Custo do projeto

Instância	Número de TRs	Custo total (R\$)	Tempo(seg)
inst005-04-0-010-1	4	65,10	0,00
inst005-04-0-010-2	4	56,70	0,00
inst005-04-0-010-3	4	56,70	0,00
inst010-04-0-010-1	4	105,00	0,00
inst010-04-0-010-2	4	98,70	0,00
inst010-04-0-010-3	4	105,00	0,00
inst025-16-0-250-1	9	2482,20	0,00
inst025-16-0-250-2	9	2318,40	0,00
inst075-16-0-250-1	15	6701,10	0,00
inst075-16-0-250-2	16	856,50	0,00
inst175-16-0-250-1	15	15594,60	0,00
inst175-16-0-250-2	16	15634,50	0,00
inst050-49-0-500-1	25	3819,90	0,00
inst050-49-0-500-2	28	4464,60	0,00
inst150-49-0-500-1	46	12587,40	0,01
inst150-49-0-500-2	43	12978,00	0,01
inst250-49-0-500-1	47	21483,00	0,01
inst250-49-0-500-2	47	21640,50	0,01

Fonte: Valores obtidos para a execução do Algoritmo implementado utilizando o Modelo  $\mathcal{A}$ .

Nos resultados é possível observar que mesmo não existindo valor para a TR, o modelo não irá utilizar todas as TR disponíveis, pois seria economicamente mais caro devido a distância que se encontrar o ponto da TR.

Este modelo tem validade caso o objetivo do projetista é apenas minimizar o custo com cabos. Por exemplo na instância inst010-04-0-010-3 que possui com 10 pontos e 4 TR disponíveis não foi gasto nem 100 metros de cabo para realizar o serviço e neste caso foram usados 4 TRs.

No decorrer das resoluções é possível perceber que o tempo computacional é muito satisfatório, inferior a 1 segundo, tempo que um projetista provavelmente levaria horas, ou até dias, para encontrar uma boa solução.

#### 4.1.4 Resultados do modelo $\mathcal{B}$

No Modelo  $\mathcal{B}$  foi fixado o tipo de *switch* a ser utilizados nas TRs do projeto. Nos testes definiu-se um *switch* com 8 portas de valor de R\$ 177,00, conforme Tabela 3.1.

Tabela 4.2: Modelo  $\mathcal{B}$  - Custo do projeto

Instância	Número de TR	Custo TR (R\$)	Custo Cabos (R\$)	Custo Total (R\$)	Tempo (seg)
inst005-04-0-010-1	1	177,00	86,10	263,10	0,00
inst005-04-0-010-2	1	177,00	81,90	258,90	0,00
inst005-04-0-010-3	1	177,00	77,70	254,70	0,01
inst010-04-0-010-1	2	354,00	105,00	459,00	0,01
inst010-04-0-010-2	2	354,00	111,30	465,30	0,03
inst010-04-0-010-3	2	354,00	105,00	459,00	0,01
inst025-16-0-250-1	5	885,00	2872,80	3757,80	0,00
inst025-16-0-250-2	5	885,00	2734,20	3619,20	0,05
inst075-16-0-250-1	12	2124,00	7074,90	9198,90	0,01
inst075-16-0-250-2	12	2124,00	7427,70	9551,70	0,01
inst175-16-0-250-1			Inviável		
inst175-16-0-250-2			Inviável		
inst050-49-0-500-1	9	3009,00	4508,70	7517,70	0,01
inst050-49-0-500-2	12	3186,00	5103,00	8289,00	0,01
inst150-49-0-500-1	30	5310,00	13931,40	19241,40	0,03
inst150-49-0-500-2	27	4779,00	14624,40	19403,40	0,03
inst250-49-0-500-1	40	7080,00	22545,60	29625,60	0,05
inst250-49-0-500-2	38	6903,00	23110,50	30013,50	0,05

Fonte: Valores obtidos para a execução do Algoritmo implementado utilizando o Modelo  $\mathcal{B}$ .

A Tabela 4.2 demonstra os resultados do processamento das instâncias através do Modelo  $\mathcal{B}$ , nela podê-se salientar algumas questões como a diferença dos valores dos cabos com relação aos valores das TRs, importância da resolução deste problema de localização para as TRs no ambiente, pois a maior parte do custo do projeto está na quantidade de cabos que são utilizadas.

No Modelo  $\mathcal{B}$  é possível observar que, com relação aos resultados do Modelo  $\mathcal{A}$ , o custo de cabos foi maior ou igual e isso deve ao valor da variável  $v$ . A relação entre o custo da TR e custo do cabo faz com que, durante a solução do problema, seja mais viável que se utilize mais cabos do que colocar mais *switches*. Nota-se, então, que a quantidade *switches* utilizados pelo Modelo  $\mathcal{B}$  foi inferior a utilizada pelo Modelo  $\mathcal{A}$ .

Observou-se também que as instâncias **inst175-16-0-250-1** e **inst175-16-0-250-2** obtiveram resultados inviáveis. Isso se deve a capacidade alocação  $q$  pré-estabelecida. Após um teste feito com o Modelo  $\mathcal{B}$  utilizando *switches* com capacidade 16 portas o resultado para estas instâncias foi viável.

É possível notar que o tempo computacional, assim como o do modelo anterior, foi inferior a 1 segundo. Mesmo nas instâncias inviáveis para o modelo, não foi pelo tempo de

processamento, mas sim pelas restrições aplicadas no modelo como capacidade de portas dos *switches*, distância máxima de 90 metros entre os pontos de rede  $i$  e a TR  $j$ .

#### 4.1.5 Resultados do modelo $\mathcal{C}$

Para o Modelo  $\mathcal{C}$  foram acrescentados 3 tipos de *switch* que podem ser utilizados nas TRs na implementação do projeto. Nos testes foi definido um *switch* com 8 portas de valor de R\$ 177,00, outro com 16 portas com valor de R\$ 237,00 e por último um *switch* com 24 portas com valor de R\$265,00, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 4.3: Modelo  $\mathcal{C}$  - Custo do projeto

Instância	Número de TR	Custo TR (R\$)	Custo Cabos (R\$)	Custo Total (R\$)	Tempo (seg)
inst005-04-0-010-1	1 <sub>8</sub>	177,00	86,10	263,10	0,00
inst005-4-0-010-2	1 <sub>8</sub>	177,00	81,90	258,90	0,00
inst005-04-0-010-3	1 <sub>8</sub>	177,00	77,70	254,70	0,00
inst010-4-0-010-1	1 <sub>16</sub>	237,00	163,80	400,80	0,01
inst010-04-0-010-2	1 <sub>16</sub>	237,00	182,70	419,70	0,03
inst010-04-0-010-3	1 <sub>16</sub>	237,00	163,80	400,80	0,01
inst025-16-0-250-1	5 <sub>8</sub>	885,00	2872,80	3757,80	0,01
inst025-16-0-250-2	5 <sub>8</sub>	885,00	2734,20	3619,20	0,01
inst075-16-0-250-1	12 <sub>8</sub>	2124,00	7074,90	9198,90	0,02
inst075-16-0-250-2	10 <sub>8</sub> ; 2 <sub>16</sub>	2244,00	7163,10	9407,10	0,02
inst175-16-0-250-1	6 <sub>8</sub> ; 4 <sub>16</sub>	3042,00	15787,80	18829,80	0,05
inst175-16-0-250-2	5 <sub>8</sub> ; 5 <sub>16</sub> ; 4 <sub>24</sub>	3130,00	15760,50	18890,50	0,04
inst050-49-0-500-1	9 <sub>8</sub>	3009,00	4508,70	7517,70	0,01
inst050-49-0-500-2	12 <sub>8</sub>	3186,00	5103,00	8289,00	0,01
inst150-49-0-500-1	30 <sub>8</sub>	5310,00	13931,40	19241,40	0,04
inst150-49-0-500-2	27 <sub>8</sub>	4779,00	14624,40	19403,40	0,08
inst250-49-0-500-1	36 <sub>8</sub> ; 3 <sub>16</sub>	7083,01	22260,00	29343,00	0,08
inst250-49-0-500-2	33 <sub>8</sub> ; 4 <sub>16</sub>	6789,01	22791,30	29580,30	0,11

Fonte: Valores obtidos para a execução do Algoritmo implementado utilizando o Modelo  $\mathcal{C}$ .

Na segunda coluna da Tabela 4.3 apresenta-se o número de TR, o valor escrito em fonte maior é a quantidade de TRs utilizadas e o número que se encontra em subscrito é a sua capacidade.

Através da Tabela 4.3 houve a solução do problema nas instâncias **inst175-16-0-250-1** e **inst175-16-0-250-2** que eram inviável para o Modelo  $\mathcal{B}$ . Nelas foram alocados *switches* de maior capacidade como os de 16 e 24 portas. Como observado anteriormente isso acontece de

acordo com as restrições do modelo, com relação a distância percorrida ser maior que 90 metros e a quantidade de portas ser inferior a necessidade do local.

Com os resultados foi possível observar que nos casos testados para instâncias com menos de 25 pontos foi utilizados apenas TR com 8 portas, não sendo necessário e também economicamente mais caro colocar TRs de valor mais elevados e com mais portas.

Apenas em uma instância (**inst175-16-0-250-2**) foi economicamente viável utilizar 24 portas, que foi na instância que são necessários alocar 175 pontos de rede em uma sala de  $62500m^2$ , isso ocorre possivelmente devido os pontos estarem muito próximos entre si.

No caso de 250 pontos de rede (**inst250-\*\*-\*-500-\***) foi obtido um resultado interessante, se tratando de uma grande quantidade de pontos em uma sala de  $250000m^2$ . Neste projeto não foi utilizada nenhuma TR de 24 portas e isso se dá pelo fato de os pontos não estarem todos localizados na mesma região.

Para o Modelo *C* o tempo de processamento também foi inferior a 1 segundo para obter uma solução. Para ter uma ideia um pouco melhor das diferenças entre os dois últimos modelos propostos foi feito um comparativo entre seus custos através da Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Comparação de Custos dos projetos

Instância	Modelo <i>B</i>			Modelo <i>C</i>		
	Número TR	Custo TR (R\$)	Custo Total (R\$)	Número TR	Custo TR (R\$)	Custo Total (R\$)
inst005-04-0-010-1	1 <sub>8</sub>	177,00	263,10	1 <sub>8</sub>	177,00	263,10
inst005-04-0-010-2	1 <sub>8</sub>	177,00	258,90	1 <sub>8</sub>	177,00	258,90
inst005-04-0-010-3	1 <sub>8</sub>	177,00	254,70	1 <sub>8</sub>	177,00	254,70
inst010-04-0-010-1	2 <sub>8</sub>	354,00	459,00	1 <sub>16</sub>	237,00	400,80
inst010-04-0-010-2	2 <sub>8</sub>	354,00	465,30	1 <sub>16</sub>	237,00	419,70
inst010-04-0-010-3	2 <sub>8</sub>	354,00	459,00	1 <sub>16</sub>	237,00	400,80
inst025-16-0-250-1	5 <sub>8</sub>	885,00	3757,80	5 <sub>8</sub>	885,00	3757,80
inst025-16-0-250-2	5 <sub>8</sub>	885,00	3619,20	5 <sub>8</sub>	885,00	3619,20
inst075-16-0-250-1	12 <sub>8</sub>	2124,00	9198,90	12 <sub>8</sub>	2124,00	9128,90
inst075-16-0-250-2	12 <sub>8</sub>	2124,00	9551,70	10 <sub>8</sub> ; 2 <sub>16</sub>	2244,00	9407,10
inst175-16-0-250-1		Inviável		6 <sub>8</sub> ; 4 <sub>16</sub>	3042,00	18829,80
inst175-16-0-250-2		Inviável		5 <sub>8</sub> ; 5 <sub>16</sub> ; 4 <sub>24</sub>	3130,00	18890,50
inst050-49-0-500-1	9 <sub>8</sub>	3009,00	7517,70	9 <sub>8</sub>	3009,00	7517,70
inst050-49-0-500-2	12 <sub>8</sub>	3186,00	8289,00	12 <sub>8</sub>	3186,00	8289,00
inst150-49-0-500-1	30 <sub>8</sub>	5310,00	19241,40	30 <sub>8</sub>	5310,00	19241,40
inst150-49-0-500-2	27 <sub>8</sub>	4779,00	19403,40	27 <sub>8</sub>	4779,00	19403,40
inst250-49-0-500-1	40 <sub>8</sub>	7080,00	29625,60	36 <sub>8</sub> ; 3 <sub>16</sub>	7083,01	29343,00
inst250-49-0-500-2	38 <sub>8</sub>	6903,00	30013,50	33 <sub>8</sub> ; 4 <sub>16</sub>	6789,01	29580,30

Fonte: Valores obtidos para a execução do Algoritmo implementado utilizando o Modelo *B* e Modelo *C*.

Comparando os valores é possível verificar que o Modelo  $\mathcal{C}$ , mesmo possuindo mais opções de TRs para serem utilizadas, demonstra que o custo do projeto é menor ou equivalente ao custo dos projetos no Modelo  $\mathcal{B}$ .

É possível verificar, por exemplo, que instâncias como as **inst010-04-0-010-\*** possuíam a necessidade de *switches* com maior capacidade a partir das resoluções através do Modelo  $\mathcal{B}$ .

Ao resolver essas instâncias através do Modelo  $\mathcal{C}$  foi possível verificar um menor custo utilizando *switches* de 16 portas. Isso deve ao fato que os pontos provavelmente estão em uma mesma região, sendo possível alocá-los no mesmo *switch* e estando de acordo com a restrição 3.4, em que a distância entre os pontos e as TRs deve ser menor ou igual a 90 metros.

O custo se tornou equivalente em instâncias menores, onde foi possível alocar apenas *switches* com 8 portas e se tornou mais acessível a instâncias maiores em que foi alocado mais de um tipo de *switch* em todo o projeto.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O Cabeamento Estruturado de uma rede é considerado a fundação desta rede e algumas vezes comparado ao alicerce de um prédio em construção. O projetista ao formular um projeto de cabeamento deve atender tanto as Normas de Cabeamento Estruturado, quando a necessidade do cliente. Durante esta elaboração, ele se depara com a necessidade de fazer escolhas entre equipamentos, melhor utilização dos recursos necessários, manter o orçamento de acordo com a proposta do cliente, entre outros fatores.

No presente trabalho foram apresentados modelos matemáticos para a solução do problema de localização de TRs nos projetos de Cabeamento Estruturado. Cada modelo apresentado demonstra uma solução para minimizar os valores a serem gastos nos projetos. Pode-se dizer que cada modelo matemático apresentado é uma evolução do anterior, sendo que o Modelo *C* atende o principal objetivo deste trabalho

A principal contribuição do presente trabalho é auxiliar na tomada de decisão do projetista visando minimizar os custos na implementação do projeto final de Cabeamento Estruturado.

As soluções das instâncias, através dos modelos matemáticos desenvolvidos, apresentaram resultados satisfatórios, atendendo aos objetivos propostos e possuindo um tempo computacional para resolução ser baixo. Isto demonstra a possibilidade de expandir os modelos matemáticos, acrescentando novas restrições e novas variáveis de acordo com as necessidades do projetista.

Como propostas de trabalhos futuros poderá ser implementada uma forma que os testes sejam feitos diretamente de coordenadas vindas de plantas desenvolvidas pelo projetista em softwares como AutoCAD®.

Outra sugestão é o desenvolvimento de uma interface, ou uma interligação com softwares de desenvolvimento de projetos como o Microsoft Visio® e AutoCAD® para a demonstração dos resultados após a modelagem.

## REFERÊNCIAS

- ANSI/TIA:568. [S.l.]: Administration Standard For Commercial Telecommunications/Infrastructure, 1991.
- ANSI/TIA:606. [S.l.]: Administration Standard For Commercial Telecommunications/Infrastructure, 1993.
- ANTIQUERA, L. S. de. Problema de localização de falicidades aplicado ao serviço de estacionamento rotativo. **XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Bento Gonçalves, RS, Outubro 2012.
- AZEVEDO SANTOS, T. de. Heurística GRASP para o problema de p-medianas aplicado à localização de concentradores. In: VÉRTICES, INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE, Campos dos Goytacazes, RJ. **Anais...** Essentia Editora, 2011. p.31–40.
- BANOV, J. T. M. **Abordagem Evolutiva para o Planejamento da Expansão da Rede de Acesso aos Serviços de Telecomunicações**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Estadual de Campinas.
- CAMPOS TSUCHIDA, T. de. **Modelagem da localização de pólos de venda de derivados de petróleo**. 2008. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- DASKIN, M. S. **Network and discrete location: models, algorithms, and applications**. New York: Willey-Interscience, 1995.
- GOLDBARG, M. C. **Otimização Combinatória e Programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Ed. Campos, 2000.
- KALEFF, A. M. Atividades Introdutórias às Geometrias Não-Euclidianas: o exemplo da geometria do táxi. **Boletim GEPEM**, Seropédica, RJ, dezembro 2004.
- KINOSHITA, C. K. Modelos para Roteirização e Programação de Veículos aplicados a uma empresa de transporte escolar. **XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Belo Horizonte, MG, Outubro 2011.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet**: uma abordagem top-down. Trad. 3 ed..ed. São Paulo: Addison Wesley, 2006.

MARIN, P. S. **Cabeamento Estruturado**: desvendando cada passo: do projeto à instalação. 3 ed. rev. e atual.ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2009.

NBR14565. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. 90p.

OPPENHEIMER, P. **Top-down network design**. 3. ed..ed. Indianopolis: Cisco Press, 2011.

SILVA, H. A. da. **Algoritmo de Otimização Multinível Aplicado a Problemas de Planejamento de Rede**. 2012. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Pontifícia Universidade Católica, Curitiba.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. trad. 4 ed..ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.