

## 1.03.02 - Matemática da Computação

**MODELO MATEMÁTICO PARA MINIMIZAR CUSTOS DO CABEAMENTO ESTRUTURADO**Francisco M. Palemo<sup>1</sup>; Viviane C. Köhler<sup>2</sup>

1. CTISM-UFSM – Estudante do curso Técnico em Informática para Internet Integrado ao Ensino Médio do CTISM
2. CTISM-UFSM – Professora do Curso Superior de Redes de Computadores / Orientador (a)

**Resumo:**

Elaborar um projeto de cabeamento estruturado não é tão simples quanto parece, pois é necessário atender à inúmeros requisitos. Dentre os requisitos está 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 respeitar as Normas de Cabeamento Estruturado ou por aumentar significativamente o custo da implementação do projeto de rede. Além de atender todas as Normas, se observa que cada vez mais existem mais pessoas conectadas e com isso aumenta a quantidade de pontos de redes que precisam ser atendidos, dificultando a tomada de decisão qual a forma que será feito o Cabeamento Estruturado de uma sala. Para resolver o problema é apresentado neste trabalho um modelo matemático que minimize o custo de cabo de rede e o custo do modelo de TR a ser utilizada e ainda defina a melhor localização das salas de telecomunicações (TR) de um projeto de Cabeamento Estruturado. Para validação do modelo foram gerados dados de entrada para simular situações reais e encontrar uma solução para a mesma, utilizando o Solver CPLEX. Através dos testes se verificou que o modelo atende todas as necessidades de resolução do problema proposto.

**Palavras-chave:** Otimização Combinatória; Projeto de Rede; Redes de Computadores.

**Apoio financeiro:** Fundação de Apoio a Tecnologia FAT-Vitae e FIPE/UFSM.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** UFSM

**Introdução:**

Planejar um projeto de cabeamento de uma rede de telecomunicações não é uma tarefa simples (TANENBAUM, 2003), sendo 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 otimizar os recursos o máximo possível, evitando a perda de material, minimizando os custos do projeto e cumprindo as Normas de Cabeamento Estruturado (ANSI/TIA:568, 1991 e NBR14565, 2007). Para facilitar à tomada de decisão da escolha de equipamento, este trabalho apresenta modelos matemáticos que irão auxiliar na definição da melhor localização das salas de telecomunicações (TR), desse modo, diminuindo a quantidade de cabos de rede a serem utilizados, conseqüentemente minimizando os custos do projeto. Os modelos matemáticos apresentados para resolver o problema de projeto de redes foram elaborados com base no problema clássico de otimização, conhecido no ramo da Pesquisa Operacional, que é a localização de facilidades.

Analisando projetos de cabeamento estruturado é possível encontrar vários problemas para serem revolidos dentre os quais temos: definir e atender todos pontos de telecomunicações e melhorar localização das salas de telecomunicações, afim de atender todas as tomadas de telecomunicações e seguir o projeto de acordo com as Normas de Cabeamento Estruturado (MARIN, 2009). Logo, os incentivos para realização desse projetos são de usufruir das técnicas de Otimização Combinatória para otimizar o custo de um projeto de cabeamento estruturado.

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo matemático de programação linear inteira. Esse modelo irá minimizar o custo de instalar uma rede estruturada em uma sala, atendendo todos os pontos que deverão ser atendidos, com o objetivo de minimizar custo de implementação de uma rede cabeada em uma sala (TORMANN, 2017). Serão considerados diversos tipos de salas e escritórios, desse modo, definindo uma melhor localização para as salas de telecomunicações e uma maior prudência na escolha dos equipamentos utilizados e por fim, minimizar o custo de implementação do projeto respeitando as normas de Cabeamento Estruturado.

**Metodologia:**

A modelagem matemática do problema de Cabeamento Estruturado é necessário saber quantos pontos de rede deverão ser atendidos, o número de salas de telecomunicações (TR) candidatas. Para saber a localização dos pontos de redes é necessário definir as coordenadas de cada ponto de rede e também as coordenadas de cada TR candidata.

**Parâmetros:**

$n$ : Número de pontos de Redes a serem atendidos.

$m$ : Número de pontos candidatos a localização das TRs.

Conjuntos:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = \{p_i\}$ : Conjunto de pontos de Redes que deverão ser atendidos.

$C_P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\} = \{(x_i, y_i)\}$  para  $i = 1, \dots, n$  coordenadas dos pontos de Redes.

$C_{TR} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\} = \{(x_j, y_j)\}$  para  $j = 1, \dots, m$  coordenadas dos candidatos a localização das TRs.

Dadas as coordenadas é possível calcular a distância entre os pontos de rede e as TR candidatas, obtendo assim a matriz de distâncias. O cálculo da distância utiliza a geometria do taxi, e não distância Euclidiana entre dois pontos, devido a forma que se faz o cabeamento estruturado. A distância entre o ponto de Rede  $i$  com a localização candidata a TR  $j$  é dada por  $d_{ij} = |(x_i - x_j)| + |(y_i - y_j)|$ .

Para resolver o problema é necessário definir o custo do metro de cabo de redes e quais modelos de TR disponíveis que se pretende utilizar e a quantidade de portas disponíveis em cada modelo de TR.

Variáveis definidas pelo Projetista para o Problema:

$c$  = valor do cabo de rede, no caso usamos  $c = R\$ 2,10$ .

$v_k$  = valor do modelo  $k$  de TR, no caso usamos:

$$v_k = \begin{cases} v_1 = R\$177,00; \\ v_2 = R\$237,00; \\ v_3 = R\$265,00. \end{cases}$$

$q_k$  = quantidade de portas disponíveis no modelo  $k$  de TR, usamos:

$$q_k = \begin{cases} q_1 = 8; \\ q_2 = 16; \\ q_3 = 24. \end{cases}$$

Já as variáveis de decisão, verificam se um determinado ponto de rede está alocado à uma determinada TR e confirmam se uma TR escolhida está enquadrada em um determinado modelo. Essas variáveis de decisão, quando verdadeiras, recebem o valor 1 e quando falsas recebem o valor 0.

Variáveis de Decisão:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o ponto de rede } i \text{ está alocado na TR } j \text{ candidata} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{se a TR } j \text{ está alocada ao modelo } k \text{ das TRs definidas como candidatas} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Desta forma é possível definir uma formulação matemática para o problema descrito e definido no artigo.

Formulação Matemática:

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in TR} c \cdot d_{ij} w_{ij} + \sum_{j \in TR} \sum_{k \in M} y_{jk} v_k \quad (1.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in TR} w_{ij} = 1 \quad \forall i \in P \quad (1.2)$$

$$\sum_{j \in TR} d_{ij} w_{ij} \leq 90 \quad \forall i \in P \quad (1.3)$$

$$\sum_{k \in M} y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \in TR \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in P} w_{ij} - \sum_{k \in M} q_k y_{jk} \leq 0 \quad \forall j \in TR \quad (1.5)$$

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

A função objetivo tem o objetivo de minimizar o custo da implementação de uma rede de acordo com a necessidade da sala que se pretende instalar, que leva em consideração o valor do cabo a ser utilizado e também o custo das TR utilizadas para resolver o problema. A restrição (1.2) faz com que o ponto  $i$  esteja alocado apenas em um único  $j$  pertencente a TR. A restrição (1.3) faz com que a distância máxima entre o ponto de rede  $i$  e a TR  $j$  seja no máximo de 90 metros. A restrição (1.4) é utilizada para permitir que somente um das  $k$  TR disponível na localização  $j$  seja utilizada. Para a identificação da TR utilizada a variável  $y_{jk}$  assumirá 1 se a TR  $j$  for instalada, 0 caso contrário. Na restrição (1.5) é para serve para decidir que modelo de TR será usada, de acordo com a quantidade de portas disponíveis.

Os valores dos cabos de rede, das salas de telecomunicações, entre outros equipamentos, foram definidos com base em pesquisa feita em lojas online e calculando uma média entre os valores. Como resultado, o preço médio do cabo ficou em R\$ 2,50 e o preço médio de cada modelo ficou R\$ 177,00 para 8 portas, R\$ 237,00 para 16 portas e R\$ 265,00 para 24 portas, esses valores podem ser alterados de acordo com as necessidades e disponibilidade financeira para a implementação da rede cabeada em questão.

Os modelos matemáticos foram desenvolvidos na linguagem de programação C++ para torná-los automáticos para a leitura das instâncias e para obter a solução do problema e devido o problema se tratar de Programa Linear Inteira Mista (PLIM) foi utilizada a ferramenta Solver CPLEX 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.

### Resultados e Discussão:

Os testes foram feitos testes para salas quadradas de 10, 250 e 500 metros, considerando de 5 a 250 pontos de rede a serem atendidos. O modelo matemático proposto, que resolve o problema, utiliza menos de 1 segundo para encontrar a solução. Caso os mesmos problemas fossem resolvidos por um projetista levaria dias para encontrar uma solução e, possivelmente, com solução menos eficaz do que o algoritmo propõe. Isso ocorre devido o modelo apresentar a melhor solução possível, considerando o conjunto de restrições dadas no momento da modelagem do problema. Este trabalho apresenta uma ferramenta importante para tomada de decisão de um projetista de redes, fazendo com que ocorra a minimização dos custos de implementação de uma rede estruturada cabeada. Na Tabela 1 de resultados é possível perceber os custos de uma implementação de uma rede estruturada, logo, um projeto mal otimizado pode gerar um grande prejuízo para uma instituição.

Tabela 1: Testes realizados para validar Modelo Matemático Proposto.

Instância	Número de TRs	Custo TR (R\$)	Custo Cabos (R\$)	Custo Total (R\$)	Tempo (segundos)
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	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: Dados obtidos usando Solver Cplex.

### Conclusões:

Portando, analisando resultados e fazendo experimentações, concluímos que o modelo consegue otimizar de pequenos a grandes projetos de rede, otimizando materiais e equipamentos utilizados, respeitando as Normas de Cabeamento Estruturado e fazendo todos os cálculos necessários rápido e precisamente, o que gera uma maior confiança e agilidade em um projeto de cabeamento estruturado. É viável usar esse modelo matemático na prática, pois é possível encontrar uma solução em menos de um segundo, enquanto se um projetista fosse propor uma solução para um local poderia levar dias ou até semanas para chegar a uma solução tão otimizada quanto a conseguida por esse modelo.

**Referências bibliográficas:**

ANSI/TIA:568. [S.l.]: Administration Standard For Commercial Telecommunications/Infrastructure, 1991.

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

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

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

TORMANN, Suzianne M., Otimização para projetos de cabeamento de redes estruturadas; Trabalho Conclusão de Curso de Redes de Computadores, UFSM, Santa Maria: 2017.