



ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ANTENAS DE REDES SEM FIO UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR

Tamires Gabriela Silva Goveia (UEPA) tamires39.pbs@gmail.com
Marcos Wigui Ferreira Lopes (UEPA) marcoswigue.mw@gmail.com
John Jackson França de Sousa (UEPA) jjjj.johnic@gmail.com
Rodrigo Rangel Ribeiro Bezerra (UEPA) rodrigo.bezerra@uepa.br
Diego Moah (UEPA) moah6@hotmail.com

Resumo

Esta pesquisa expõe a necessidade de aplicação de modelos matemáticos para a melhor definição dos conjuntos de antenas transmissoras de internet via rádio em torres já instaladas na cidade de Parauapebas/PA. Desse modo, o intuito é de aumentar a qualidade de sinal, atender a demanda existente, reduzir os custos de aplicação e, conseqüentemente, aumentar os lucros da empresa. Diante disso, se faz necessário o uso de técnicas e estudos de pesquisa operacional, utilizando de modelagem matemática e conhecimento da área de redes sem fio, para definir de forma assertiva e quantitativa as melhores combinações de antenas. Para tal, fez-se o uso da linguagem de programação Julia 1.5.0. e outros recursos de software para implementação do modelo matemático e para a organização dos dados. Portanto, os resultados da implementação do modelo matemático foram satisfatórios, dado que houve uma redução nos custos de locação de antenas, isto é, o cenário atual gera um custo de R\$ 46,427.00 e o resultado do modelo gera um custo de 40.408,61, de modo que todos os critérios continuam sendo respeitados, ou seja, qualidade e cobertura de sinal.

Palavras-Chaves: (**Pesquisa Operacional, Programação Linear, rede sem fio, Julia**)

1. Introdução

O avanço tecnológico impulsiona cada vez mais o uso de redes sem fio, a chamada tecnologia wireless, de maneira que tornou uma necessidade entre os cidadãos de todo mundo, havendo assim diversas aplicações para esta, como: Wi-fi, Bluetooth, indústria 4.0 entre outros. Contudo, diante do cenário pandêmico, no Brasil notou-se um aumento significativo do uso do Wi-fi, sendo considerado recurso necessário para o funcionamento da sociedade perante o distanciamento social (ACCESS PARTNERSHIP, 2020).

Não é recente a descoberta da importância do Wi-Fi, dado que ele fornece conectividade de internet para os mais variados exemplares de dispositivos. Entretanto, o agravamento da pandemia do COVID-19, causada pelo vírus SARS-Cov-2, fomentou a aquisição de banda larga doméstica, uma vez que houve restrições referente ao deslocamento e a aglomeração de

peessoas em um mesmo ambiente, além disso grande parte das empresas e escolas se adaptaram ao ensino remoto (TIINSIDE, 2020).

Segundo Wiziack e Soprana (2020) diante da mudança brusca do uso da internet, isto é, o aumento no tráfego está de 10% a 40% maior do que o esperado, os provedores tiveram que se adaptar rapidamente à demanda que aumenta continuamente, uma das ações tomadas foi a diminuição de taxa de bits, a fim de evitar congestionamento nas redes. Diante disso, a qualidade do serviço prestado por empresas provedoras de internet diminuiu, bem como os custos de tomar decisões rápidas, muitas das vezes, são elevados o que pode levar a falência de organizações.

Portanto, o uso de métodos matemáticos tais como: Pesquisa Operacional e Logística, são de tamanha relevância para as entidades, dado que seus resultados são pautados através de dados estatísticos e de confiabilidade elevada, reduzindo assim o erro envolto nas tomadas de decisão, bem como auxiliam na fidelização e no aumento da qualidade do serviço prestado. A empresa estudada nessa pesquisa se trata de uma organização da área de tecnologia, atuando como provedora de Internet Banda Larga no Estado do Pará, contudo o estudo em questão trata somente da atuação no município de Parauapebas/PA. A entidade possui acesso a 6 (seis) torres espalhadas pela cidade, cada torre possui diversas antenas de modelos diferentes, de modo que não há uma padronização e nem justificativa lógica para o uso delas.

Logo, o objetivo dessa pesquisa é de analisar se as torres de internet, no município de Parauapebas, estão posicionadas na locação ideal a fim de garantir maior qualidade de sinal para os usuários, bem como atingir o maior número de clientes de maneira que reduza os custos com instalações. Assim, através do modelo matemático criado para a obtenção desses resultados e dos dados recolhidos com a empresa, tem-se por problema de pesquisa o questionamento: É possível determinar as melhores antenas e as melhores localizações para atender o maior número possível de clientes garantindo a qualidade de sinal e a redução dos custos?

A presente pesquisa se estrutura através de tópicos que são: Introdução, onde tem uma breve introdução do tema abordado, contendo o contexto da pesquisa, as justificativas e os objetivos da mesma; Referencial Teórico, este detalha sobre os principais temas que dão embasamento para o artigo; Metodologia e Método, descreve sobre como a pesquisa foi elaborada, todos os requisitos que foram tidos como ideias, além disso o método usado para a escrita e o

desenvolvimento do estudo de caso; Empresa, detalha informações sobre a empresa, a forma como ela executa suas atividades; Modelo proposto, descreve e explica o modelo matemático elaborado para gerar os resultados na pesquisa; Resultados, composto por todos os resultados obtidos através da implementação do problema ao modelo matemático; Considerações finais e Referências.

2. Referencial teórico

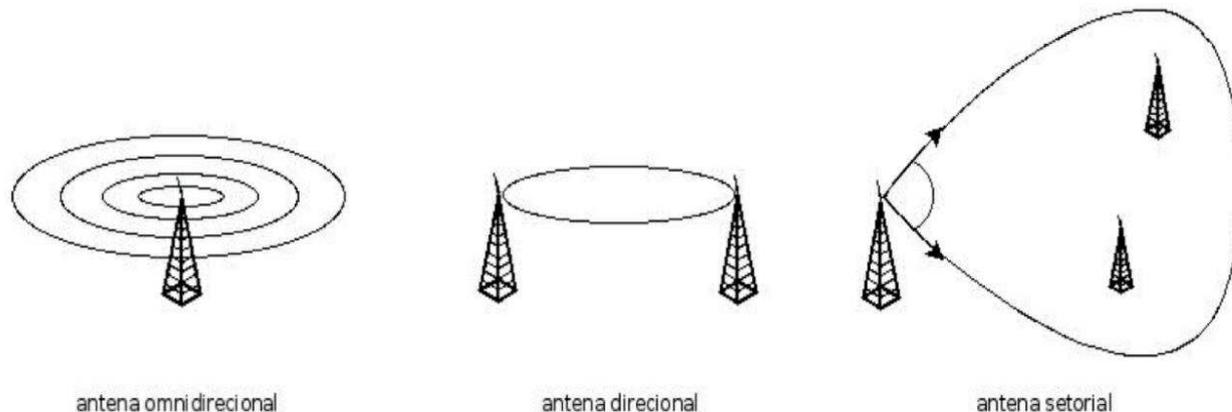
2.1. Antenas

A antena é um dispositivo que é utilizado para a recepção ou radiação das ondas de rádio, ela faz uso do ambiente como um meio transmissor para transmitir e receber sinais, com isso não é necessário fazer uso de estruturas “guiantes” como linhas de transmissão e guias de onda (SILVA e MOURA, 2013).

O uso da antena tem como objetivo a conversão de uma corrente elétrica em uma onda de radiofrequência ou vice versa. A onda de radiofrequência é advinda da aceleração ou desaceleração dos elétrons que geram a radiação que é formada por um campo magnético e elétrico. Quando a onda de radiofrequência ou onda eletromagnética atinge uma antena, gera uma corrente elétrica que possui as mesmas características que a corrente original (VLIEGER, 2013).

O direcionamento dos sinais emitido vai depender do modelo de antenas, sendo elas omnidirecionais, semi-direcionais (setoriais) ou direcionais, no qual se difere pela forma de propagação de sinal (SELADA, 2008). Desse modo, a antena omnidirecional tem como o seu conceito uma propagação do seu sinal de uma forma de 360° no eixo horizontal, porém não tem a sua amplitude de 360° na vertical, assim tendo o seu formato semelhante a uma elipsoide. Já a do tipo semi-direcional é usado para cobrir uma vasta área, sendo aplicada para atender uma determinada direção. Por fim, a antena direcional é aplicada para direcionar os seus sinais em uma direção específica, como se fosse um feixe, dessa forma tendo como exemplo as comunicações com o satélite, nas quais as informações são direcionadas pela antena. Na figura 2 está ilustrando os três tipos de antenas e a sua forma de propagação.

Figura 1 - Tipos de antenas



Fonte: Peres (2010).

2.2. Estudo de localização das torres de redes sem fio

O estudo de posicionamento das torres é de suma importância para o fornecimento do sinal, pois a partir dela podemos definir quais tipos de antenas devem ser usadas. Trabalhando com o alcance de fornecimento do sinal como a forma mais sustentável para atender a demanda. Diante disso, o desenvolvimento de técnicas para tratar esse assunto tem como denominação de geoprocessamento.

O geoprocessamento está baseado em métodos cartográficos, que destrincha a sua aplicação com as coletas de dados, tratamentos, manipulação e análise espacial que se apresenta dentro de um mapa (CARVALHO, 2000). Posto isto, há várias ferramentas que facilita os gerenciamentos dos dados geográficos de uma determinada região, no qual tem a tecnologia que usa os parâmetros do geoprocessamento.

A ideia do estudo de localidade é tratada da forma que melhor atenda a necessidade de transmissão para os clientes. Assim, obtendo o melhor serviço que otimize uma região crítica e respeite a limitação do meio (HOFFMANN e GÓMEZ, 2003).

2.3. Redes sem fio

Devido à grande leva de dispositivos como smartphones, computadores de mesa, computadores portáteis, tablets e entre outros, em que é usado constantemente no cotidiano

das pessoas, houve um aumento no uso de internet. Além disso, há uma demanda crescente na densidade de informações e acesso a rede sem fio, já que com os dispositivos móveis o acesso à internet, como smartphones tornou-se mais fáceis as atividades de acesso ao e-mail, transações bancárias, pesquisas, acompanhar, reportagem etc. Portanto, a comunicação ocorre através de estações, em que estão distribuídas em locais públicos, para transação de dados que conecta as pessoas à internet (VLIEGER, 2013, p. 20).

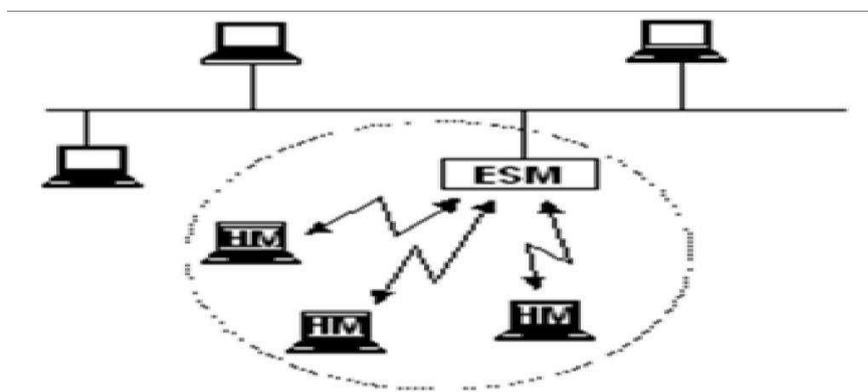
Por conta disso, o sistema vem passando por processo de inovação da comunicação sem fio, assim havendo mudança do 4G para o 5G, pois há uma aprimoração de desempenho em requisitos de taxa de transferência de dados, latência e consumo de energia (QIAO, 2015).

2.3.1 Redes sem fio em conexão com as demais redes

A infraestrutura das redes também tem um padrão estabelecida na norma 802,11 e a comunicação da rede sem fio passa por uma transferência de informações da estação até um ponto de acesso – AP (Access Point). Essas estações são dispositivos com acesso direto a rede wireless, como smartphones, notebooks ou laptops, tendo a sua comunicação associada apenas um ponto de acesso, ou seja, para conseguir entrar em um outro ponto é necessário desvincular com o outro. Desse modo, o AP (Access Point) é responsável por intermediar a comunicação, no qual capta a mensagem e transmite até a estação. Segundo Maudonet (2007) a comunicação entre estações nunca ocorre de forma direta.

Diante disso, a infraestrutura da rede sem fio se resume na questão de ser o ponto de acesso, com a função de captar informação e transmitir. Além disso, essa comunicação não se limita apenas a rede sem fio, mas também tem a função de interligar com a rede cabeada, assim fazendo a conversão dos sinais. Na figura 3 ilustra como ocorre a infraestrutura das redes.

Figura 2 - Infraestrutura das redes



Fonte: Pinheiro (2005)

3. Metodologia e método

Este estudo foi idealizado através de um estudo de caso, uma vez que se estrutura por uma pesquisa exploratória, isto é, se trata de uma pesquisa que busca reparar as lacunas do problema deste estudo de forma aprofundada. O estudo de caso é analisado em pesquisas de teor exploratório, se trata de um modelo flexível, portanto é utilizado nas fases primárias dos estudos para a construção de hipóteses ou reformulação do problema (VENTURA, 2007).

O trabalho faz o uso de modelagem matemática para analisar os dados coletados anteriormente através da análise exploratória, dessa forma se caracteriza como sendo um modelo quantitativo, uma vez que se trata de uma metodologia para tomada de decisões racionais, o que tem relação com o objetivo desta pesquisa, sendo este definir o melhor mix de antenas para cada torre. As informações foram coletadas em uma empresa provedora de internet que se situa na cidade de Parauapebas/PA, foi realizado o levantamento dos dados de localização das torres, os tipos de antenas, alcance, angulação e preço. Baseado na localização das torres para a instalação das antenas transmissoras de sinal foi definido as áreas de cobertura de sinal que atenda toda a demanda da cidade de Parauapebas. Para tanto utilizou-se o Google Maps e o Google Earth, que possibilitaram a visualização da área e a demarcação do possível alcance que determinadas antenas devem ter para cobrir toda a área demandada da cidade, assim como houve o uso de planilha eletrônica para a reunião de dados de angulação e modelo de antenas.

No desenvolvimento desta pesquisa, afim de auxiliar na aplicação do modelo matemático para a definição dos melhores conjuntos de antenas e seus métodos de solução, realizou-se as seguintes etapas:

- a) Coleta de dados: coletou-se, através de visitas in loco na empresa, as informações relacionadas aos modelos, custo e estoque das antenas, a demanda dos clientes e outros. Este estudo considerou distâncias reais. Para tal, realizou-se um levantamento de informações como distâncias das torres até o perímetro da área que se planeja atingir os clientes. Para essa coleta externa não relacionada à empresa foi utilizado o aplicativo Google Earth.
- b) Revisão da literatura: realizou-se uma breve revisão da literatura para identificar os modelos mais eficientes para a determinação de antenas roteadoras de internet, considerando a diversidade de modelos com diferentes restrições, mas que têm os mesmos

objetivos. Assim como, buscou-se informações sobre as qualidades de cada antena e a melhor maneira de criar o modelo matemático, as bases de dados utilizadas, foram: SCOPUS, Web of Science, Google Acadêmico.

c) Escolha do modelo matemático: Após análise sobre alguns modelos existentes na literatura, criou-se um modelo próprio para essa definição, isto pois não havia nas bases de dados modelos que contemplavam o problema da pesquisa.

d) Implementação do modelo no Julia e verificação do modelo: Implementou-se o modelo utilizando a linguagem de modelagem Julia. Aplicou-se um teste ao modelo com os dados existentes, a fim de definir se o modelo estava de acordo.

e) Análises de resultados: Por fim realizou-se análises e comparações dos resultados gerados com os resultados atuais. Alguns dos parâmetros foram: custo total, estoques e entre outros.

4. Modelo matemático proposto

A modelagem matemática está inclusa nas abrangências da pesquisa operacional (PO), uma vez que é através dela que se faz grande parte das análises necessárias de PO. Segundo Ignácio e Filho (2004) os inúmeros modelos de algoritmos de otimização contribuíram para o desenvolvimento da PO, uma vez que todos possuíam o objetivo de encontrar soluções nas áreas como: a logística, produção, otimização etc. Matura *et al.* (2004) afirma que modelos matemáticos são trabalhados de duas formas distintas, sendo que uma faz a utilização no nível estratégico e a outra maneira é a aplicação no nível tático/operacional, representado por problemas que necessitam de um espaço de tempo limitado. Como o objetivo dessa pesquisa é de analisar se as torres de internet, no município de Parauapebas, estão posicionadas na locação ideal afim de garantir maior qualidade de sinal para os usuários, bem como atingir o maior número de clientes de maneira que reduza os custos com instalações. Elaborou-se: conjuntos, parâmetros, variáveis, função objetivo (FO) e restrições para que se tornasse possível encontrar um resultado ótimo para a pesquisa (Vide tabela 1, 2 e 3 respectivamente).

Tabela 1 – Conjuntos e índices do Modelo.

Conjuntos	Conjuntos	Índices
Antenas	I	i
Torres	J	j

Fonte: Autores (2021)

Tabela 2 – Parâmetros do Modelo.

Parâmetros	Descrição
c_i	Custo da antena i
G_i	Graus que antena “i” tem de capacidade
K_i	Antenas disponíveis para utilização
p	Graus que cada torre deve receber

Fonte: Autores (2021)

Tabela 3 – Variáveis do Modelo.

Variáveis	Descrição	Domínio
x_{ij}	Antena “i” está alocada na torre “j”	Z^+
y_j	Graus atendidos na torre “j”	Z^+

Fonte: Autores (2021)

Sujeito à:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} G_i = y_j \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$y_j = p \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq K_i \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

A função objetivo (1) está sujeita a algumas restrições como: a Equação 2 se faz necessária, pois é ela que determina que o somatório do produto das antenas que são usadas pelo número de graus, devem ser iguais a 360°; a Inequação 3 considera que Y_j é igual a p (360°); a Equação 4 limita a capacidade de antenas disponíveis; as Restrições 5 e 6 são de não negatividade.

5. Resultados

No estudo é levado em consideração duas modelos de resultados elaborados para analisar as mesmas situações, que é a necessidade do fornecimento de internet na cidade de Parauapebas.

Diante disso, foi nos apresentados os tipos de antenas disponível para atender a demanda, ilustrado na Tabela 4, e os posicionamentos das torres distribuídas ao longo da cidade.

Tabela 4 – Disponibilidades de antenas

Modelo de antena	Raio	Angulação	Valor da antena	Estoque
NanoBeam M5	8 KM	45°	R\$ 1.430,00	6
Rocket M5	20 KM	120°	R\$ 2.560,67	16
PowerBeam M5	20 Km	10°	R\$ 1.210,00	9
NanoStation M5	10 Km	60°	R\$ 920,00	5
NanoStation Loco	7 Km	60°	R\$ 503,98	5

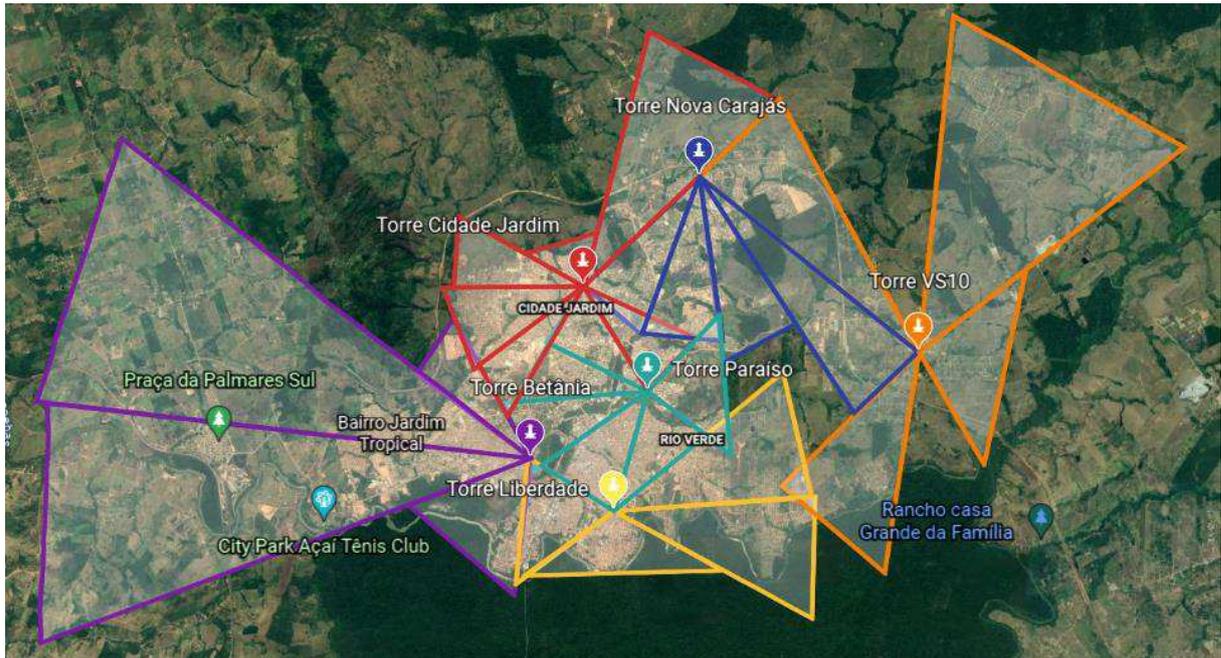
Fonte: Autores (2021)

Adiante do tema proposto foi trabalhado o método empírico, que resultou no trabalho de fazer a cobertura pela visão cartográfica, onde é trabalhada de forma prática como ter a cobertura de sinal em toda a cidade, levando em conta a questão da qualidade. Em contrapartida, no estudo é trago uma abordagem diferente para dispor a perspectiva de um outro arranjo das antenas, sendo ele um modelo matemático de desenvolvimento, em que é trabalhada nas mesmas condições de aplicação. Sendo assim, ao fim da aplicação é possível observar os dois modelos e abordar as vantagens e desvantagens de cada resultado proposto.

5.1. Posicionamento das antenas de forma heurística e lógica

Com os dados relacionados aos custos, alcances, ângulo e disponibilidade no estoque, foi realizado de forma empírica o posicionamento das antenas transmissoras de sinal de internet, de modo a atender a demanda da cidade e possibilitar um sinal de qualidade. Na figura 3 é apresentado por cores, de acordo com a torre, o perímetro de sinal que as antenas devem atender.

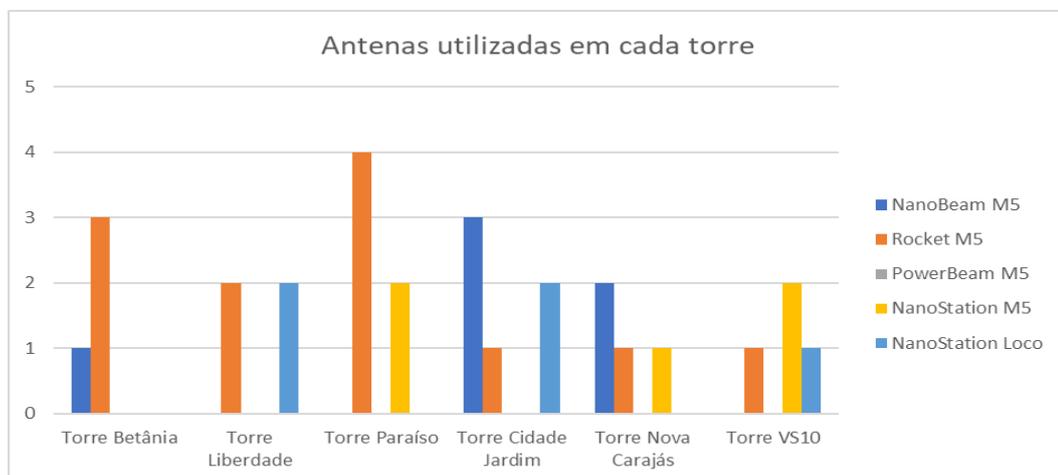
Figura 3 – Cobertura de sinal



Fonte: Autores (2021).

O posicionamento das antenas busca fornecer sinal de qualidade aos clientes, com isso as antenas são posicionadas levando em consideração o limite de usuários que se pode atender por unidade instalada, sem a perda de qualidade do serviço. Levando em consideração a qualidade como um fator determinante, as antenas não são posicionadas com sua utilização máxima de angulação e alcance, pois com uma cobertura maior elas enfraqueceriam a qualidade do sinal já que este sinal estaria disponível para uma maior quantitativo de usuários. Na figura 4 é apresentado os modelos de antenas e a quantidade que cada torre utiliza para a transmissão do sinal.

Figura 4 – Antenas X Torres



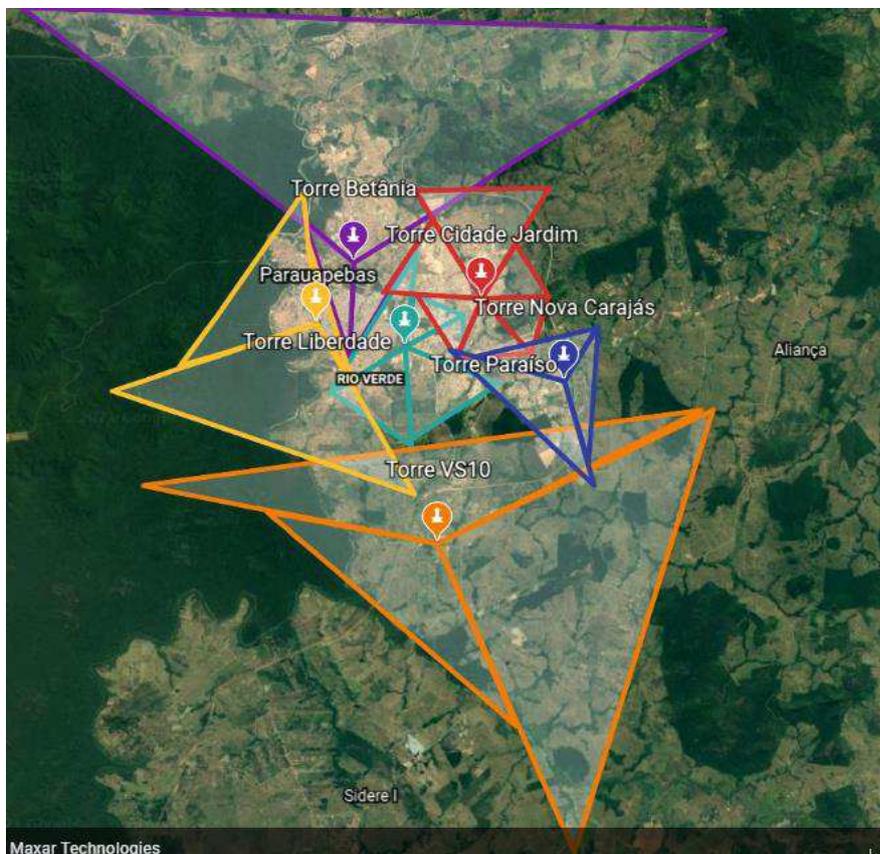
Fonte: Autores (2021).

Esse modelo empírico de posicionamento das antenas transmissoras de sinal de internet que foca nas necessidades dos clientes em relação a qualidade, buscar atender essa necessidade levando em consideração sua capacidade e os custos das antenas. Com a utilização de um quantitativo de 28 antenas, de variados modelos, este investimento custará a empresa um total de R\$ 46,427.00. Apesar que o modelo Rocket M5 seja o de maior custo ele é o mais utilizado, com um total de 12 unidades, devido sua disponibilidade no estoque e ter maior custo-benefício comparado ao modelo PowerBeam M5, que tem angulação de apenas 10°, e devido isso e seu custo o modelo PowerBeam M5 não tem nenhuma unidade utilizada. Os modelos NanoStation M5 e NanoStation Loco são os modelos com maior custo-benefício, mas com baixa disponibilidade no estoque.

5.2. Posicionamento das antenas de acordo com o modelo matemático

A figura 5 representa o resultado do posicionamento de antenas com base no modelo matemático, isto é, as antenas estão alocadas de forma a reduzir os custos gerados, continuando oferecendo qualidade do serviço e respeitando os estoques existentes de antenas.

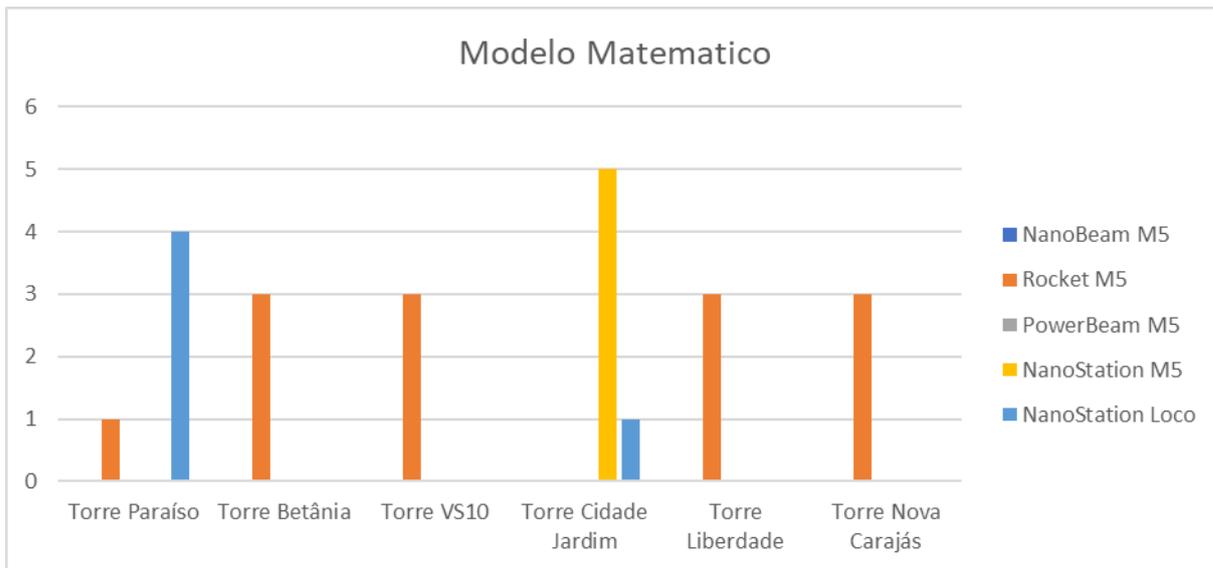
Figura 5 – Definição de antenas pelo modelo



Fonte: Autores (2021)

Cada cor representa o alcance da torre selecionada, por exemplo, a “Torre VS10” possui 3 (três antenas), os modelos de cada antena estão representados na Figura 6. De acordo com os resultados emitidos pelo modelo matemático, foi possível definir quais as antenas que ficariam dispostas nas torres disponíveis.

Figura 6 - Quantidade de antenas por torre



Fonte: Autores (2021)

Os resultados do modelo matemático atribuem um quantitativo de 24 (vinte e quatro) antenas, de modelos variados (Figura 6), a utilização do modelo remete a um investimento de R\$ 40.408,61. Segundo a Figura 6, nota-se que a antena mais recomendada é a “NanoStation M5” com um total de 5 (cinco) unidades, esta possui uma angulação de 60°, vale ressaltar que todas as antenas deste modelo foram encaminhadas para a mesma torre. Em paralelo a isso, somente 3 (três) modelos de antenas (NanoStation Loco, Rocket M5, NanoStation M5) são recomendados pela simulação e estas possuem as maiores angulações, podendo assim atingir a maior demanda e reduzir os custos em longo prazo.

6. Considerações Finais

O objetivo desta pesquisa se faz através da necessidade de organizar as informações obtidas para obter os melhores resultados a respeito da seleção ideal de antenas, de maneira a atingir os requisitos exigidos pela organização, que são: diminuição de custo, aumento de qualidade e atendimento da demanda.

Logo, para analisar as locações ideais na perspectiva de melhorar e qualificar o sinal de internet para os usuários, realizando tais serviços de maneira estruturada a fim de atingir o

maior número de clientes, de modo a reduzir os custos envolvidos com instalações. Todos os dados utilizados nesta pesquisa foram extraídos de bases reais, contribuindo para que os resultados sejam os mais próximos da realidade possível. A pesquisa se trata de uma análise quantitativa, ocorrida na cidade de Parauapebas/PA, verificando que o modelo escolhido para a otimização do sistema foi satisfatório.

O estudo conclui que a forma como estavam alocadas as antenas anteriormente gerava um maior custo para a empresa (R\$ 46,427.00) e o uso dos resultados do modelo matemático seria uma alternativa economicamente mais viável (R\$ 40.408,61), além de respeitar as restrições e garantir qualidade de serviço. Dessa forma, tendo como base os resultados quantitativos, as antenas ideais seriam: NanoStation Loco, Rocket M5, NanoStation M5.

O uso do software Julia, tornou o processo mais ágil e simples, no que tange a tomada de decisão, pois trata os dados através do modelo e apresenta os resultados de maneira clara e objetiva. Contudo, houve dificuldades no tratamento manual dos dados, pois foram encontradas incoerências na coleta dos dados, assim como a dificuldade na conversão dos dados.

REFERÊNCIAS

ACCESS PARTNERSHIP (Brasil). Wi-Fi como tecnologia chave para atender ao aumento da atividade online, no Brasil, em decorrência das restrições impostas pela COVID-19. **Dynamic Spectrum Alliance**, [S. l.], p. 1-15, 1 out. 2020. Disponível em: <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2-DSA-Relatorio-Aumento-da-atividade-online-Brasil-COVID-19-1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

CARVALHO, M.S.; Pina, M.F.; Santos, S.M. "Conceitos Básicos de Sistema de Informações Geográficas e Cartografia Aplicados à Saúde". Organização Panamericana da Saúde / Ministério da Saúde, Brasília, 2000.

CUNHA, S. A. **Análises Microestrutural e Eletromagnética de Cerâmicas BaM com aplicações em radome**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

HOFFMANN, Leandro Toss; GÓMEZ, Arthur Tórgo. Uma abordagem do problema de localização de torres de rádio transmissão auxiliado por um sistema de informação geográfica. A pesquisa Operacional e os Recursos Renováveis, [s. l.], 7 nov. 2003.

IGNÁCIO A., Filho V. (2004). O uso de software de modelagem aimms na solução de problemas de programação matemática. **Pesquisa Operacional**. v.24, p. 197-210

MAUDONET, Roger Luporini. Estudo Comparativo entre Redes Sem Fio e Redes Cabeadas. Jaguariúna, 2007.



MATURA A., Ferrer J. C., Barañao F. (2004). Design and implementation-based decision support system generator. **European Journal of Operational Research**, v.154, p.170-183.

PERES, André. **Mecanismo de Autenticação Baseado na Localização de Estações Sem Fio Padrão IEEE 802.11**, Tese de Doutorado. UFRGS, 2010.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. **Redes Móveis Ad Hoc**. 2005. Disponível em: <http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_moveis_ad_hoc.php>. Acesso em: 21 nov. 2021.

QIAO, J. Enabling millimeter wave communication for 5G cellular networks: MAC-layer perspective. University of Waterloo, University of Waterloo, 2015.

RIOS, Luis Gonzaga; PERRI, Eduardo Barbosa. Engenharia de Antenas. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

SELADA, Rodrigo Sastre Cordeiro. **Redes Wireless de Banda Larga**. Dissertação (Mestrado em Informática). Vila Real, 2008. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

SILVA, Israel Franke; MOURA, Paulo Henrique Duarte. **Estudo das antenas e da propagação do sinal da rádio nacional da Amazônia**. Projeto Final de Graduação em Engenharia Elétrica Brasília, [s. l.], 23 jul. 2013.

TIINSIDE (Brasil). Cresce uso de internet durante a pandemia e número de usuários chega a 152 milhões no Brasil. **TI inside**, [S. l.], 18 ago. 2020. Disponível em: <https://tiinside.com.br/18/08/2021/cresce-o-uso-de-internet-durante-a-pandemia-e-numero-de-usuarios-chega-a-152-milhoes-no-brasil/>. Acesso em: 15 set. 2021.

VENTURA, Magda. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Pedagogia Médica**, [s. l.], p. 383-386, 2007. Disponível em: http://sociedades.cardiol.br/socerj/revista/2007_05/a2007_v20_n05_art10.pdf. Acesso em: 25 nov. 2021.

VLIEGER, M. T. **Desenvolvimento de um modelo matemático aplicado ao problema de cobertura de área em redes sem fio**. Dissertação (Mestrado). Ijuí, 95p., 2013 - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

WIZIACK, Julio; SOPRANA, Paula. Em três dias de quarentena, consumo de internet fixa sobe 40%: Preocupação das operadoras é que pico atinja entre 150% e 200%, o que provocaria a falência da rede. *In*: FOLHA DE SÃO PAULO (Brasil). **Coronavírus**. [S. l.], 19 mar. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/03/em-tres-dias-de-quarentena-consumo-das-redes-de-telefonias-subiu-40.shtml>. Acesso em: 15 set. 2021.