

UNIVERSIDADE POLITÉCNICA
A POLITÉCNICA
INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITÁRIO DE TETE (ISUTE)

DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 5G EM MOÇAMBIQUE
OPERADORA TMCEL, CIDADE DE TETE

Bruno Nelson Gonçalves dos Santos

Tete
2024

Bruno Nelson Gonçalves dos Santos

DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 5G EM MOÇAMBIQUE
OPERADORA TMCEL, CIDADE DE TETE

Monografia apresentada à Universidade Politécnica, Instituto Superior Universitário de Tete como requisito parcial para a obtenção do Grau de Licenciado em Engenharia Informática e de Telecomunicações.

Tutor: MSc. Faztudo Languisse

Tete

2024

Tutor: MSc. Faztudo Languisse

Parecer do Tutor:

Eu, Faztudo Languisse, Mestre em Tecnologia de Informação graduado pela Universidade Católica de Moçambique, docente a tempo parcial no Instituto Superior Universitário de Tete, avaliei o trabalho intitulado "Desafios na Implementação da Tecnologia 5G em Moçambique, caso de estudo: Operadora Tmcel, Cidade de Tete", elaborado pelo estudante Bruno Nelson Gonçalves dos Santos como requisito para conclusão do curso de Engenharia Informática e de Telecomunicações, apresento o meu parecer.

O trabalho apresentado pelo referido estudante representa um contributo significativa para o entendimento dos desafios enfrentados na implementação da tecnologia 5G em Moçambique, com foco na Operadora Tmcel. O estudante demonstrou profundo conhecimento teórico sobre a tecnologia 5G e sua aplicação, além de apresentar uma análise detalhada do contexto moçambicano em termos de aspectos técnicos gerais da área de estudo, da infra-estrutura de telecomunicações, assim como da regulamentação.

Destaco a qualidade da pesquisa realizada, que incluiu uma variedade de fontes relevantes e actualizadas. A escolha de realizar um estudo de caso da Operadora Tmcel permitiu uma compreensão mais aprofundada dos desafios práticos enfrentados pela empresa na implementação do 5G.

O estudante também demonstrou habilidades analíticas ao identificar e discutir os principais obstáculos, como questões de infra-estrutura, regulamentação e adaptação do mercado.

Em suma, o trabalho reúne todos os requisitos técnicos e regulamentares, com mérito que contribui grandemente para a área de telecomunicações e tecnologia em Moçambique, pelo que, recomendo sua aprovação, ressaltando a qualidade da pesquisa realizada e a relevância do tema abordado.

Tete, 23 de Agosto de 2024

(Faztudo Languisse, MSc.)

Dedicatória

Em primeiro lugar, dedico este trabalho a mim mesmo, símbolo da minha perseverança, superação e busca incessante pelo conhecimento. Que este seja um testemunho do meu esforço e comprometimento ao longo desse percurso acadêmico, lembrando-me de que sou capaz de superar desafios e alcançar metas.

Dedico também, a minha família que é a minha principal fonte de inspiração, pelas palavras de incentivo, compreensão, apoio e encorajamento que foi fundamental em todos os momentos da minha formação.

Agradecimentos

O presente trabalho representa a conclusão de uma etapa e o alcance de um objectivo muito importante para mim. Foi um percurso marcado por muito trabalho, esforço e dedicação, mas não teria conseguido chegar até aqui sem o apoio e ajuda de algumas pessoas, às quais não quero deixar de agradecer.

Começo por agradecer a minha família, cujo apoio incondicional, carinho, motivação, paciência e compreensão foram essenciais para a conclusão desta fase na minha formação académica, em especial a minha esposa, minha mãe e minhas filhas.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, que me ajudaram a crescer, a ultrapassar dificuldades e a melhorar a minha postura enquanto futuro profissional, pelos conselhos que sempre deram no decorrer das aulas.

Aos meus colegas do Instituto Superior Universitário de Tete (ISUTE), em especial aos meus colegas de turma, por toda ajuda, companheirismo e amizade ao longo deste percurso.

Agradeço ao meu Tutor, MSc. Faztudo por me ter acolhido e contribuído para o sucesso desse trabalho, com o seu apoio, a sua disponibilidade e atenção.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos pela força, motivação, compreensão e o carinho que sempre demonstraram.

Epígrafe

“Grande salto na conectividade avançada, rumo a internet do futuro: Desafios e oportunidades da tecnologia 5G, os moçambicanos vão começar a sentir, quando efectivamente for implementado em Moçambique”

(Bruno dos Santos)

Resumo

Este estudo analisou os desafios na implementação da tecnologia 5G pela operadora TmCel na Cidade de Tete. A pesquisa foi orientada pela pergunta de investigação: "Quais são os principais desafios e estratégias necessárias para a implementação bem-sucedida da tecnologia 5G pela operadora TmCel na Cidade de Tete?" Os objectivos incluíram um estudo comparativo entre as tecnologias 4G e 5G, caracterização dos aspectos técnicos do 5G, avaliação da infra-estrutura actual da TmCel em Tete, análise dos pontos fortes do 5G e questões de segurança associadas. Utilizando uma abordagem mista de pesquisa, foram realizadas revisões de literatura, análises qualitativas e entrevistas com funcionários da TmCel. Os resultados destacaram que o 5G oferece melhorias significativas em velocidade, capacidade e baixa latência em comparação com o 4G. A infra-estrutura existente necessita de melhorias para suportar eficientemente o 5G. A implementação do 5G pode transformar a economia local ao melhorar a conectividade, reduzir a desigualdade digital e promover o crescimento de negócios. A análise conclui que, a transição para o 5G é crucial para superar as limitações tecnológicas actuais e posicionar Moçambique no cenário tecnológico global, contribuindo para o desenvolvimento económico e social do país.

Palavras Chaves: Tecnologia 5G, Desafios de implementação, Infra-estrutura, Tmcel, Cidade de Tete

Abstract

This study analyzed the challenges in implementing 5G technology by the operator TmCel in the City of Tete. The research was guided by the research question: "What are the main challenges and strategies necessary for the successful implementation of 5G technology by the operator TmCel in Tete, Mozambique?" The objectives included a comparative study between 4G and 5G technologies, characterization of the technical aspects of 5G, assessment of TmCel's current infrastructure in Tete, analysis of the strengths of 5G and associated security issues. Using a mixed research approach, literature reviews, qualitative analyzes and interviews with TmCel employees were carried out. The results highlighted that 5G offers significant improvements in speed, capacity and low latency compared to 4G. The existing infrastructure needs improvements to efficiently support 5G. The implementation of 5G can transform the local economy by improving connectivity, reducing the digital divide and promoting business growth. The analysis concluded that the transition to 5G is crucial to overcome current technological limitations and position Mozambique on the global technological scene, contributing to the country's economic and social development.

Key-words: 5G technology, Implementation challenges, Infrastructure, Tmcel, Tete City

Lista de Figuras

Figura 1: Medições da rede 4G da Tmcel em comparação com a Vodacom e Movitel	25
Figura 2: Ilustração da arquitectura básica de comunicação móvel.....	28
Figura 3: Ilustração de arquitectura de comunicação móvel e fixa.....	31
Figura 4: Evolução de comunicações móveis e serviços conectados.....	33
Figura 5: Aprimoramento dos principais recursos do IMT-Advanced para o IMT-2020.....	37
Figura 6: Rede de comunicações móveis 5G e respectivos serviços	38
Figura 7: Arquitectura 5G StandAlone	42
Figura 8: Arquitectura 5G Non-StandAlone	43
Figura 9: Pirâmide de Serviços oferecidos pela tecnologia 5G	47
Figura 10: Ondas Milimétricas no 5G.....	49
Figura 11: Diferença entre 4G e 5G na forma de distribuição de sinal aos usuários	50
Figura 12: Antenas inteligentes de uma rede 5G distribuindo sinal beamforming.....	50
Figura 13: Mimo Massivo no 5G	51
Figura 14: Redução de níveis de latência nos sistemas de comunicação móvel.....	52
Figura 15: Exemplo de serviços e conectividade na IoT	54
Figura 16: Requisitos do IoT segundo ITU.....	54
Figura 17: Comparação de velocidade de download entre a tecnologia 4G e a 5G.....	56
Figura 18: Mapa de cobertura da rede 5G em todo mundo.....	62
Figura 19: Cobertura populacional por tipo de rede móvel	62
Figura 20: Infra-estrutura vandalizada em Huddersfield, norte da Inglaterra.....	64
Figura 21: Antenas disfarçadas 4G LTE instaladas nos EUA e Brasil	64

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultados de medições do sinal 4G da Tmcel, Cidade de Tete.....	25
Tabela 2: Tabela comparativa de 5G SA e 5G NSA.....	41
Tabela 3: Preço de equipamentos da Huawei e Nokia.....	57
Tabela 4: Lançamento das tecnologias 3G e 4G em Moçambique.....	59
Tabela 5: Participantes do Inquérito.....	69

Lista de Siglas

1G - Primeira Geração
2G - Segunda Geração
3G - Terceira Geração
4G - Quarta Geração
5G - Quinta Geração
CCC - Central de Comutação e Controle
ERB - Estação Radio Base
EM - Estação Móvel
CPA - Central com Programa Armazenado
CN - Core Network
RAN - Radio Access Network
EU - User Equipment
RSR - Relação Sinal Ruído
HLR - Home Location Register
AUC - Authentication Center
RNC - Radio Network Controller
UTRAN - Rede de Acesso por Rádio Terrestre
USIM - Universal Subscriber Identity Module
MS - Mobile Station
NMT - Nordisk Mobile Telephony
AMPS - Advanced Mobile Phone System
RTMI - Radio Telefono Mobile Integrato
TACS - Total Access Communication System
FM - Modulação em Frequência
GSM - Global System for Mobile Communications
CDMA - Code Division Multiple Access
TDMA - Time Division Multiple Access
GPRS - General Packet Radio Services
SMS - Short Message Service
CSD - Circuit Switch Data
EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution
HSCSD - High-Speed Circuit Switched Data

IMSI - International Mobile Subscriber Identity
SIM - Subscriber Identity Module
BSC - Base Station Controller
NSS - Network Switching System
MSC - Mobile services Switching Center
VLR - Visitor Location Register
AuC - Authentication Center
EIR - Equipament Identity Register
BTS - Base Station Transceiver
OMS - Operations and Maintenance System
PSTN - Public Switched Telephone Network
PCU - Packet Control Unit
SGSN - Serving GPRS Support Node
GGSN - Gateway GPRS Support Node
8-PSK - 8-state Phase Shift Keying
EGPRS - Enhanced General Packet Radio Services
MIMO - Multiple Input e Multiple Output
GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying
PCMCIA - Personal Computer Memory Card International Association
USB - Universal Serial Bus
HSPA - High Speed Packet Access
WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access
ETSI - European Telecommunication Standards Institute
UMTS - Universal Mobile Telecommunication System
FDD - Frequency Division Duplex
EU - User Equipment
LTE - Long Term Evolution
IP - Internet Protocol
TDD - time division duplex
FDD - frequency division duplex
EPC - Evolved Packet Core
eNodeB - evolved NodeB, Estação Radio-Base da Rede LTE
VoLTE - Voice Over LTE
IoT - Internet das Coisas

SA - Standalone
NSA - Non-Standalone
DSS - Dynamic Spectrum Sharing
3GPP - 3rd Generation Partnership Project
E2E - End to End
NR - New Radio
GHz - Gigahertz
MHz - Megahertz
kHz - Kilohertz
GFDM - Generalized Frequency Division Multiplexing
FBMC - Filter Bank Mult-Carrier
UFMC - Universal Filtered Mult-Carrier
f-OFDM - Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing
M2M - Machine to Machine
IA - Inteligência Artificial
Gbps - Gigabit por segundos
Mbps - Megabit por segundos
Kbps - Kilobit por segundos
ms - Milissegundos
UHF - Ultra High Frequency
MTN - Mobile Telecommunications Network
eMBB - banda larga móvel aprimorada
URLLC - Comunicações Ultra Confiáveis de Baixa Latência
mMTC - Comunicações Massivas do Tipo de Máquina
EE - Everything Everywhere
BT - British Telecom
gNodeB - Next-Generation NodeB
RRH - Remote Radio Heads
5GC - 5G Core 5GC
UPF - User Plane Function
AMF - Access and Mobility Management Function
SMF - Session Management Function
OTN - Optical Transport Networks
IDS - Intrusion Detection Systems

NMS - Network Management Systems

OSS - Operational Support Systems

BSS - Business Support Systems

nPoints - Número de Pontos

CEO - Chief Executive Officer

Tmcel - Moçambique Telecom

INCM - Instituto Nacional de Comunicações de Moçambique

TDM - Telecomunicações de Moçambique

Mcel - Moçambique Celular

ITU - International Telecommunication Union

IMT - International Mobile Telecommunications

OMS - Organização Mundial da Saúde

IARC - Agência Internacional de Pesquisa Sobre o Câncer

ICNIRP - Comissão Internacional de Protecção contra a Radiação não Ionizante

CEI - Comunidade dos Estados Independentes

FDA - Food and Drug Administration

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers

NGMN - Next Generation Mobile Network

Sumário

CAPÍTULO I.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.2. JUSTIFICATIVA.....	20
1.3. OBJECTIVOS.....	21
1.3.1. Objectivo geral.....	21
1.3.2. Objectivos específicos.....	21
1.4. HIPÓTESES.....	21
1.5. CARACTERIZAÇÃO DO OBJECTO DE ESTUDO.....	22
1.5.1. Operadora Tmcel.....	22
1.5.1.1. Estado Actual da Rede 4G da Tmcel na Cidade de Tete.....	24
1.5.1.2. Possíveis Desafios da Tmcel na Implantação da Tecnologia 5G na Cidade de Tete.....	25
CAPÍTULO II.....	28
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	28
2.1. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR.....	28
2.2. EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	32
2.2.1. Primeira geração de comunicação móvel celular (1G).....	33
2.2.2. Segunda geração da comunicação móvel celular (2G).....	34
2.2.3. Terceira geração da comunicação móvel celular (3G).....	34
2.2.4. Quarta geração da comunicação móvel celular (4G).....	35
2.2.5. Quinta geração das comunicações móveis (5G).....	36
2.2.5.1. Tipos de internet 5G.....	39
2.2.5.2. Diferenças entre 5G SA e 5G NSA.....	40
2.2.5.3. Arquitectura da rede 5G.....	42
2.2.5.4. Arquitecturas Stand Alone e Non-Standalone.....	42
2.2.5.5. Prós e contras do 5G SA vs 5G NSA.....	43
2.2.5.6. Vantagens do 5G SA sobre o 5G NSA:.....	44
2.2.5.7. Vantagens do 5G NSA sobre o 5G SA:.....	44
2.2.5.8. Equipamentos que compõem a infra-estrutura da rede 5G.....	44
2.2.5.9. Requisitos de segurança na arquitectura 5G.....	46
2.2.5.10. Serviços integrados no 5G.....	47
2.2.5.11. Espectro de rádio no 5G.....	47
2.2.5.12. Ondas milimétricas no 5G.....	48
2.2.5.13. Beamforming no 5G.....	49
2.2.5.14. MIMO massivo no 5G.....	51
2.2.5.15. Formas de onda no 5G.....	52
2.2.6. Impacto da Tecnologia 5G na Sociedade e na Economia.....	52
2.2.7. Internet of Things (IoT).....	53
2.2.8. Relação entre IoT e Tecnologia 5G.....	55
2.2.9. Análise Comparativa de Velocidade de Internet das Redes 4G e 5G.....	55

2.2.10.	Tecnologia 5G e a Saúde Humana	56
2.2.11.	Custos de Implementação da Rede 5G.....	57
2.3.	HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA REDE MÓVEL EM MOÇAMBIQUE	59
2.3.1.	Lançamento das tecnologias 3G e 4G em Moçambique	59
2.3.2.	Lançamento da tecnologia 5G em Moçambique.....	60
2.4.	COBERTURA DA REDE 5G EM ÁFRICA E NO MUNDO	60
2.5.	FACTORES QUE INFLUENCIARAM NA EXPANSÃO E ACEITAÇÃO DA REDE 5G	63
CAPÍTULO III		66
3.	MÉTODO.....	66
3.1.	TIPO DE INVESTIGAÇÃO	66
3.2.	NATUREZA DA PESQUISA	66
3.3.	POPULAÇÃO E AMOSTRA	67
3.4.	INSTRUMENTOS.....	67
3.5.	PROCEDIMENTO	68
3.6.	CARACTERÍSTICAS METÓDICAS DA PRESENTE PESQUISA	68
CAPÍTULO IV		69
4.	APRESENTAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS.....	69
CAPÍTULO V		74
5.	ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	74
5.1.	CONSTATAÇÕES RESULTANTES DO INQUÉRITO	74
5.2.	PROPOSTA DE SOLUÇÕES	75
CAPÍTULO VI.....		77
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
6.1.	CONCLUSÕES	77
6.2.	RECOMENDAÇÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		81
APÊNDICES		86
Apêndice A:	Questionário para Gestores do INCM	87
Apêndice B:	Questionário para Gestores da Tmcel	88
Apêndice C:	Questionário para Técnicos da Tmcel.....	93
ANEXOS.....		96
Anexo I:	Protocolos das cartas submetidas ao INCM e Tmcel.....	97

CAPÍTULO I

1. Introdução

Desde a chegada dos primeiros aparelhos celulares ao mercado, a necessidade de comunicação das pessoas tem aumentado exponencialmente, abrangendo não apenas a telefonia, mas também a troca de dados via internet. Esse crescimento demanda que o sector de telecomunicações possua infra-estrutura necessária para suportar o grande volume de dados trafegados diariamente pelas redes.

Nas décadas de 1980 e 1990, as primeiras gerações de telefonia móvel focavam em fornecer serviços de voz de qualidade, principalmente através da comutação por circuitos. O surgimento da transmissão de dados sem fio mudou drasticamente a maneira como a sociedade se comunica e se conecta. O avanço tecnológico e a crescente conectividade entre pessoas e dispositivos permitiram o desenvolvimento de novas tecnologias que atendem às necessidades dos usuários com melhor qualidade e velocidade.

Com a implantação do 3G, o foco passou a ser a troca de dados via IP e a oferta de serviços pela internet. As redes 4G, por sua vez, foram projectadas exclusivamente para a comutação por pacotes, melhorando ainda mais a troca de dados, Martin (2017). Agora, a tecnologia 5G surge com o objectivo de proporcionar aos usuários internet de alta velocidade com uma latência muito baixa. Essa nova geração de telefonia móvel acompanha o avanço exponencial de tecnologias como inteligência artificial e automação, representando um marco significativo na evolução das comunicações móveis.

Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem sido essencial para o desenvolvimento socioeconómico global. Entre as inovações mais recentes, a tecnologia 5G promete transformar radicalmente a conectividade e a comunicação, oferecendo novas formas de interação entre máquinas, objectos e pessoas. O 5G é a rede celular mais dinâmica e flexível já projectada, utilizando extensivamente aplicativos e núcleos nativos em nuvem, com potencial para evoluir continuamente, (Mário, 2017).

A implementação do 5G envolve a virtualização de serviços e uma conectividade dinâmica, operando em uma rede híbrida que integra e coexiste com outros sistemas de forma surpreendente. Diversos países já iniciaram o desenvolvimento de redes 5G para proporcionar

ao público a experiência esperada com essas novas tecnologias. No entanto, a implementação bem-sucedida dessa tecnologia enfrenta uma série de desafios, especialmente em países em desenvolvimento como Moçambique.

Em Moçambique, a Tmcel foi a primeira operadora a realizar o pré-lançamento da tecnologia 5G, seguida pela Vodacom, que oficializou o lançamento da rede móvel 5G. Isso colocou Moçambique no mapa dos países com a 5ª geração de internet na África e no mundo. O estudo de caso da Tmcel na Cidade de Tete oferece uma oportunidade valiosa para analisar os desafios específicos enfrentados por uma empresa de telecomunicações em um contexto local. Ao examinar os obstáculos e as estratégias adotadas para superá-los, podemos obter percepções importantes sobre a implementação do 5G em Moçambique e sobre os padrões mais amplos de desenvolvimento tecnológico em países em desenvolvimento.

1.1. Definição do Problema

A infra-estrutura da tecnologia 4G e suas antecessoras, ainda em expansão na TmCel, apresenta limitações significativas que impedem a perfeita integração e conectividade de novos serviços. A complexidade das aplicações modernas e a crescente dependência da internet exigem que o sector de telecomunicações melhore continuamente seus produtos e serviços, atendendo a um número cada vez maior de usuários e proporcionando uma internet mais rápida.

No entanto, a tecnologia 4G é caracterizada por níveis elevados de latência, tornando-a inadequada para acompanhar a evolução exponencial de tecnologias modernas que dependem de sistemas de comunicações móveis, como a inteligência artificial e a automação industrial. Essa inadequação se traduz em uma incapacidade de suportar eficazmente o desenvolvimento de serviços associados ao uso massivo e diversificado da virtualização e outras comunicações inteligentes.

A incapacidade das tecnologias actuais em suportar novos paradigmas de conectividade e a necessidade de uma infra-estrutura robusta para aplicações emergentes encontram na tecnologia 5G uma solução promissora. O 5G foi desenvolvido para resolver esses problemas, oferecendo baixa latência, alta capacidade de atendimento de usuários, e suporte a uma vasta gama de novas aplicações e serviços. Portanto, a implementação do 5G na TmCel é essencial para superar as limitações das tecnologias actuais e promover um avanço significativo nas telecomunicações em Moçambique.

Diante desse cenário, a pesquisa procura responder à seguinte pergunta:

"Quais são os principais desafios e estratégias necessárias para a implementação bem-sucedida da tecnologia 5G pela operadora TmCel na Cidade de Tete?"

1.2. Justificativa

A implementação da tecnologia 5G pela TmCel justifica-se pela capacidade desta nova tecnologia de superar as actuais limitações da rede e atender às crescentes demandas dos usuários. Com o 5G, a TmCel poderá oferecer suporte a um número massivo de conexões e aplicações multimídia de alta qualidade, respondendo eficazmente ao aumento da demanda por capacidade de rede.

O 5G foi projectado para impulsionar a inovação e a evolução dos sistemas celulares, enfrentando desafios que exigem processamento em larga escala e conectividade com um maior número de dispositivos. Este estudo visa promover a instalação da rede 5G em Moçambique, especificamente na Cidade de Tete, visando melhorar a conectividade e a qualidade dos serviços de telecomunicações.

A implementação do 5G permitirá que mais pessoas estejam conectadas, proporcionando maior qualidade nos serviços oferecidos e incentivando o desenvolvimento e adoção de novos produtos e serviços que facilitem e melhorem a vida dos usuários. Além de que, a tecnologia 5G pode impulsionar o desenvolvimento socioeconómico, ao proporcionar uma infra-estrutura de comunicação avançada que suporte inovações em diversos sectores, como saúde, educação e negócios.

Com a implementação da rede 5G, a TmCel estará posicionada para liderar a transformação digital em Moçambique, promovendo a inclusão digital e contribuindo para o crescimento sustentável do país. Este estudo é fundamental para identificar e superar obstáculos que possam surgir durante a implementação do 5G, garantindo uma transição eficiente que promova avanços significativos nas telecomunicações em Moçambique.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- Analisar os desafios de implementação da tecnologia 5G em Moçambique, especificamente, na operadora de telefonia móvel TmCel, Cidade de Tete.

1.3.2. Objectivos específicos

- Fazer estudo comparativo da tecnologia 4G e suas antecessoras com a tecnologia 5G nas redes de comunicação móvel;
- Caracterizar os aspectos técnicos da tecnologia 5G;
- Avaliar o estado actual da infra-estrutura da Tmcel em Tete, e sua adequação para suportar a tecnologia 5G;
- Verificar os pontos fortes da tecnologia 5G e as faixas de frequências que serão utilizadas em Moçambique;
- Verificar questões de segurança e privacidade de dados relacionadas à tecnologia 5G e como a Tmcel está lidando com essas preocupações.

1.4. Hipóteses

H₁: A implantação da tecnologia 5G pela Tmcel em Tete terá um impacto significativo no desenvolvimento económico, melhorando a conectividade e promovendo o crescimento de negócios local;

H₂: A implementação do 5G pela Tmcel irá reduzir a desigualdade digital, proporcionando maior acesso à internet e melhorando a qualidade de vida da população em Tete.

1.5. Caracterização do Objecto de Estudo

A tecnologia 5G é a quinta geração de redes móveis, projectada para oferecer melhorias significativas em comparação com as gerações anteriores, como o 4G. Suas características distintivas incluem alta velocidade, baixa latência e capacidade de conexão massiva de dispositivos. Essas características tornam a tecnologia 5G não apenas mais rápida, mas também mais responsiva e capaz de suportar uma ampla gama de aplicativos e serviços inovadores, desde comunicações avançadas até a automação industrial e o desenvolvimento de cidades inteligentes.

A infra-estrutura de telecomunicações na Cidade de Tete está em constante desenvolvimento para atender às necessidades crescentes da população e do sector empresarial. As principais operadoras de telecomunicações, como Tmcel, Vodacom e Movitel, oferecem serviços móveis na cidade.

A cobertura de rede móvel em Tete é relativamente boa, com redes 3G e 4G disponíveis em muitas áreas urbanas. No entanto, em algumas áreas suburbanas, a cobertura é irregular devido à falta de infra-estrutura.

Além dos serviços de telefonia móvel, também há uma crescente demanda por serviços de Internet de banda larga, e as operadoras estão expandindo suas redes de fibra óptica para fornecer acesso à Internet de alta velocidade em toda a cidade.

De uma forma geral, Tete é uma cidade estrategicamente localizada, com uma economia diversificada e uma população em crescimento. Sua infra-estrutura de telecomunicações está em desenvolvimento para acompanhar as demandas crescentes por conectividade digital.

1.5.1. Operadora Tmcel

A Moçambique Telecom, SA – TmCel é uma sociedade anónima resultante da fusão entre a TDM – Telecomunicações de Moçambique, SA e a mCel- Moçambique Celular SA. O seu principal objectivo é de prestar serviços de telecomunicações, em todo território nacional e na Região. A modernização e inovação tecnológica constituem uma das maiores apostas da TmCel, traduzidas na oferta de produtos e serviços de telefonia fixa, móvel, trunking, comunicações por satélites, serviço comutado de transmissão de dados, serviço de transmissão e recepção de sinais de rádio e televisão, serviços de programação de televisão por assinatura e

serviços audiovisuais. A TmCel oferece igualmente serviços de importação e comercialização de equipamentos de telecomunicações e respectivos acessórios, Tmcel (2024).

Refira-se que, esta a fusão foi uma tentativa do governo de salvar duas empresas que se encontravam à beira da falência.

Missão

Conectar e empoderar pessoas e organizações através de soluções digitais integradas.

Visão

Liderar a transformação digital em Moçambique.

Valores

- Foco no Cliente
- Inovação
- Agilidade
- Respeito
- Integridade
- Sustentabilidade

Slogan

Estamos Juntos.

A Tmcel tem uma presença significativa no mercado de telecomunicações de Moçambique, embora tenha enfrentado algumas dificuldades financeiras e uma competição crescente de operadoras privadas, como Vodacom e Movitel, nas últimas décadas. Sua participação de mercado é influenciada por factores como cobertura de rede, qualidade de serviço e estratégias de preços.

A Tmcel possui uma cobertura de rede abrangente em todo o território de Moçambique, com uma presença particularmente forte nas áreas urbanas e semiurbanas. Sua rede móvel oferece serviços de voz, mensagens de texto e dados em tecnologias como 2G, 3G e 4G. No entanto, a cobertura em áreas rurais e remotas pode ser limitada devido a desafios de infraestrutura.

Apesar das dificuldades, é notório que a TmCel tem implementado algumas estratégias de negócio, como:

Modernização da infra-estrutura: A Tmcel tem investido consistentemente na modernização de sua infra-estrutura de rede, incluindo a actualização de tecnologias de rede e implementação de fibra óptica para melhorar a conectividade;

Diversificação de serviços: Como forma de expandir a sua base de clientes, a Tmcel tem diversificado seus serviços, oferecendo uma variedade de pacotes e planos para atender às necessidades dos consumidores individuais e empresariais, incluindo serviços de voz, dados móveis, Internet fixa e soluções corporativas;

Investimento em tecnologia: Como parte de sua estratégia de negócios, a Tmcel continua a investir em tecnologias emergentes, como a implantação de redes 4G e a preparação para a implementação efectiva da tecnologia 5G, a fim de oferecer serviços de alta qualidade e acompanhar as tendências globais do sector de telecomunicações.

Basicamente, a Tmcel desempenha um papel crucial no mercado de telecomunicações de Moçambique, oferecendo uma ampla gama de serviços e mantendo uma presença significativa em todo o país. Suas estratégias de negócios focam na expansão da infra-estrutura, diversificação de serviços, parcerias estratégicas e investimento em tecnologia para atender às necessidades em constante evolução dos consumidores e impulsionar o crescimento da indústria de telecomunicações em Moçambique.

1.5.1.1. Estado Actual da Rede 4G da Tmcel na Cidade de Tete

Como forma de avaliar a qualidade da infra-estrutura existente, sendo esse um dos requisitos importantes para rápida implantação da rede 5G na Cidade de Tete, realizou-se testes do sinal da rede 4G, velocidade de transmissão, latência e outras métricas relevantes como a taxa de desempenho (navegação, streaming), tendo-se feito a comparação do resultado com o sinal das principais concorrentes, nomeadamente, as operadoras Vodacom e Movitel.

De acordo com as medições realizadas no Bairro Chingodzi e no centro da Cidade de Tete obteve-se os seguintes valores:

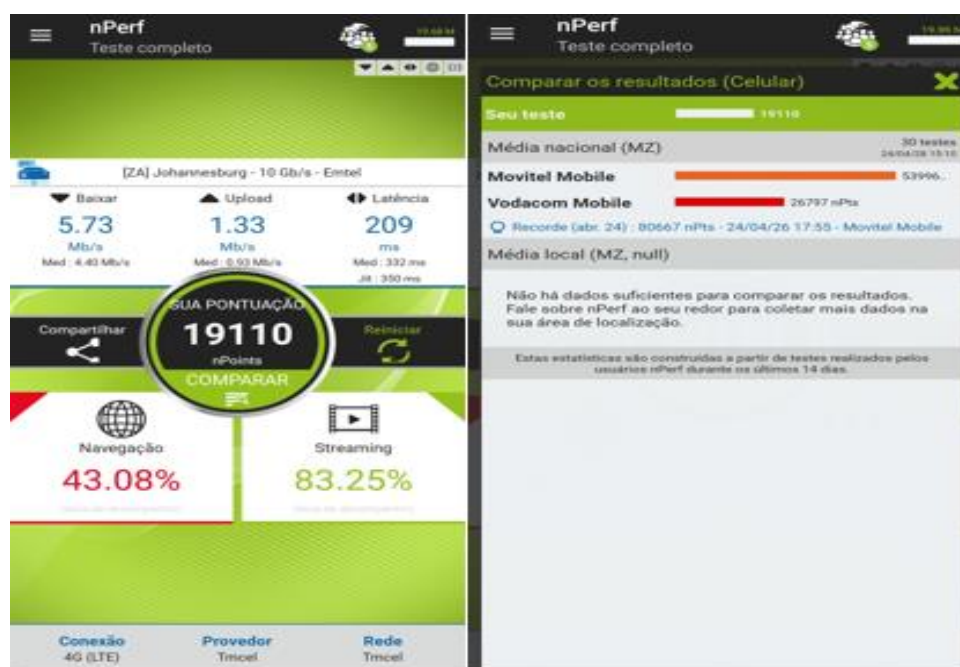
Tabela 1: Resultados de medições do sinal 4G da Tmcel, Cidade de Tete

Download	Upload	Latência
5.73Mbps	1.33Mbps	209ms
Taxa de Desempenho		
Navegação	43.08%	
Streaming	83.25%	
Pontuação		
19110nPoints		

Fonte: Bruno dos Santos (2024)

A pontuação de 19110nPoints apresentada na tabela acima, esta abaixo da pontuação das operadoras Vodacom e Movitel que tem uma pontuação de 26797nPoints e 53996nPoint respectivamente, conforme ilustra a imagem a seguir:

Figura 1: Medições da rede 4G da Tmcel em comparação com a Vodacom e Movitel



Fonte: Aplicativo nPerf (2024)

1.5.1.2. Possíveis Desafios da Tmcel na Implantação da Tecnologia 5G na Cidade de Tete

A implantação da rede 5G continua sujeita a alguns desafios, sendo, a segurança, custos de implementação, questões relacionadas com a privacidade, possíveis riscos a saúde e potenciais impactos ambientais, continua a ser discutidas. O acesso equitativo também é uma preocupação, já que a implementação pode não ser uniforme em todas as regiões.

A Moçambique Telecom, SA – TmCel pode enfrentar vários desafios ao implementar a rede 5G. Abaixo estão alguns dos desafios mais comuns que a empresa pode enfrentar durante esse processo:

Investimentos em infra-estrutura e equipamentos

A implementação da rede 5G requer investimentos significativos em infra-estrutura, como torres de transmissão, equipamentos de rede e actualizações das estações base. A Tmcel precisará fazer investimentos substanciais para garantir que sua rede esteja adequadamente equipada para suportar a tecnologia 5G;

Disponibilidade de frequências

A implantação do 5G requer acesso a frequências específicas do espectro de radiofrequência. A empresa pode enfrentar desafios ao adquirir as frequências necessárias e coordenar com as autoridades regulatórias para garantir que o espectro adequado esteja disponível;

Questões regulatórias

A implementação do 5G pode estar sujeita a regulamentações e normas governamentais. A Tmcel deve cumprir os requisitos regulatórios e garantir que esteja em conformidade com as políticas e directrizes estabelecidas pelas autoridades reguladoras em Moçambique;

Cobertura e alcance

A tecnologia 5G pode exigir mais antenas e estações base em comparação com redes anteriores. Isso pode ser um desafio logístico, especialmente em áreas rurais ou remotas, onde a cobertura pode ser difícil de alcançar;

Capacitação da equipe técnica

A implementação do 5G requer conhecimentos técnicos avançados. A Tmcel pode precisar treinar sua equipe técnica para lidar com os desafios específicos associados ao 5G, como configuração, manutenção e solução de problemas da rede;

Segurança cibernética

Com a expansão da conectividade e o aumento de dispositivos conectados, a segurança cibernética se torna uma preocupação crucial. A Tmcel deve estar preparada para enfrentar

potenciais ameaças e adoptar medidas de segurança robustas para proteger sua rede e os dados dos usuários;

Aceitação do público

Introduzir novas tecnologias pode gerar resistência ou preocupações por parte do público em relação a questões de saúde, privacidade e radiação electromagnética. A empresa precisará garantir ao público sobre os benefícios e segurança do 5G para obter aceitação geral.

Superar esses desafios requer uma abordagem estratégica e colaborativa entre a Tmcel, o governo, as partes interessadas e a comunidade. Ao enfrentar esses desafios de maneira eficaz, a Tmcel poderá implementar com sucesso a rede 5G, proporcionando benefícios significativos para seus usuários e a sociedade como um todo.

CAPÍTULO II

2. Revisão de Literatura

2.1. Sistema de Comunicação Móvel Celular

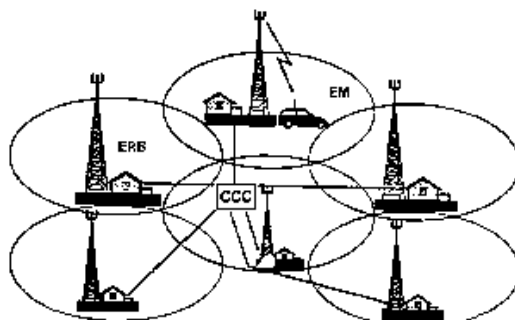
Um sistema de comunicação de rádio, por definição, consiste em uma infra-estrutura de telecomunicações que atende usuários que, em princípio, estão em movimento, embora não necessariamente, sendo a comunicação entre os usuários e a infra-estrutura seja feita através de um meio sem fio conhecido como canal de rádio, (Zaki, 2013).

O início desta tecnologia, ainda que de forma rudimentar, foi graças ao Italiano Guglielmo Marconi que ensaiou com sucesso a primeira comunicação sem fio em 1897, estabelecendo transmissões de sinal de rádio através do Oceano Atlântico, Rappaport (2009). A partir deste primeiro registro de comunicação móvel, a estrutura da rede móvel foi mudando gradualmente, conforme as demandas de novas tecnologias. Conseqüentemente, novos componentes físicos e virtuais foram sendo adicionados à rede com o objectivo de tornar o sistema de telefonia móvel mais confiável, seguro e robusto.

A arquitectura de um sistema de comunicação móvel, independentemente da tecnologia utilizada, é composta por três componentes principais para o seu funcionamento:

- Central de Comutação e Controle (CCC);
- Estação Radio Base (ERB);
- Estação Móvel (EM).

Figura 2: Ilustração da arquitectura básica de comunicação móvel



➤ **Central de Comutação e Controle (CCC)**

A CCC é uma central telefónica do tipo CPA (central com programa armazenado), expandida para operar com software próprio de serviço móvel celular. As funções de uma CPA da rede fixa e da CCC são basicamente as mesmas e os serviços oferecidos também, (Lopes, 2024).

A CCC, devido a inúmeras funções extras de processamento, necessárias ao acompanhamento da EM, é equipada com hardware e software adicionais.

As funções principais de uma CCC são:

- Prover a interface entre a rede telefónica e o sistema celular;
- Comunicar-se com outros sistemas celulares;
- Controlar as ERB's;
- Monitorar e controlar as chamadas;
- Interligar as várias ERB's;
- Supervisionar o estado do sistema;
- Controlar e comutar o hand-off de chamadas;
- Administrar o sistema.

Uma CCC se liga a várias ERB's por meio de linhas telefónicas e de dados privativos (canais pcm, fibras ópticas, rádios digitais, etc). Para cada canal de voz ou de dados deve existir uma linha privativa e, além disso, devem existir linhas de reserva para uma maior segurança, (Lopes 2024).

A capacidade de uma CCC depende basicamente do número de canais rádio disponíveis nas ERB's, do número de células, da dimensão das células e de alguns outros factores. Por exemplo, se o número de células for grande e suas dimensões muito pequenas, teremos vários "hand-off" o que acarretará em sobrecarga no processador da CCC, (Lopes, 2024).

Uma CCC típica apresenta as seguintes capacidades:

- Até 21 grupos de canais;
- Até 1.000 canais;
- Até 50.000 usuários.

➤ **Estação Rádio Base (ERB)**

A ERB é a interface entre as EM's e a CCC sua função básica é:

Para dados:

Converter a sinalização proprietária que liga a CCC a ERB no protocolo AMPS entre ERB's e EM's.

Para voz:

Converter os sinais digitalizados de voz que trafegam nos enlaces entre CCC e ERB em sinais analógicos para transmissões FM entre ERB e EM's.

Para supervisão do canal de rádio:

Monitorar canais de voz em conversação para aferir a intensidade RF do sinal e a RSR do sinal de voz, para controlar o processo de “hand-off”.

Para que a ERB tenha um desempenho satisfatório, devemos observar as seguintes funções:

- Prover a interface de rádio entre EM's e o sistema;
- Converter sinais de rádio em sinais de áudio e vice-versa;
- Controlar e informar as EM's em sua área de cobertura;
- Verificar e reportar a qualidade do sinal em sua área de cobertura;
- Verificar e reportar a presença de novas EM's em sua área;
- Responder a comandos recebidos da CCC.

A ERB pode se ligar a CCC de forma analógica ou digital. No caso da ligação analógica os dados serão transmitidos via modem a 9.6kbps (o que é muito lento), mas dá-se preferência a transmissão em um canal digital a 64kbps, (Lopes, 2024).

Uma ERB tem em média 128 canais, podendo, em algumas configurações, chegar a 144 canais.

Conforme o tamanho da célula atendida pela ERB, a potência do transmissor pode variar de 10 a 50 W.

Para melhorar o ganho na recepção, é praticamente obrigatório o uso de diversidade de espaço, o que dependendo da polaridade, dá um ganho de 6 a 10 dB.

➤ Estações Móveis (EM)

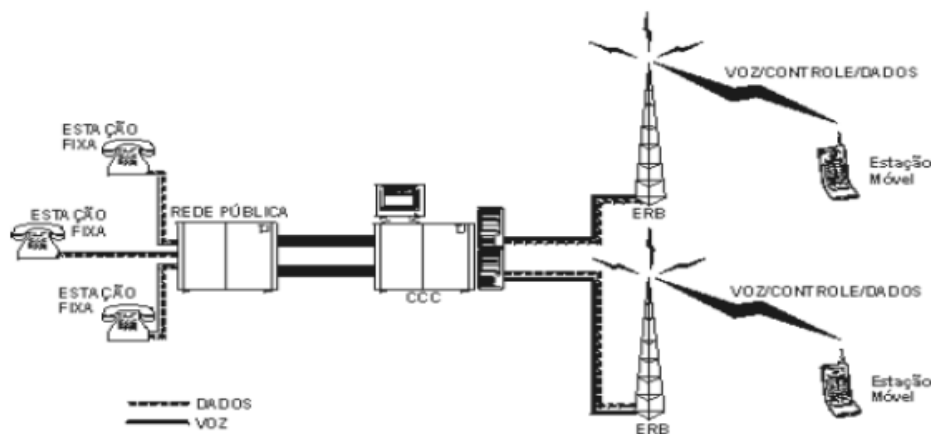
A EM é o terminal móvel do usuário. Estes, podem realizar diversas funções, dependendo do modelo e da complexidade da unidade. (Lopes, 2024)

As funções básicas são:

- Prover a interface entre o usuário e o sistema;
- Converter sinais de áudio em sinais de RF e vice-versa;
- Alertar o usuário sobre chamadas recebidas;
- Alertar o sistema sobre tentativas de originar chamadas.

Esta configuração interligada com a rede pública forma um sistema completo de comunicação sem fio, possibilitando a comunicação entre telefones celulares e o terminal fixo convencional.

Figura 3: Ilustração de arquitectura de comunicação móvel e fixa



Fonte: Disponível em, <http://www.worknets.com.br/2016/05/28/funcionamento-basico-da-telefonica-celular>

A partir da tecnologia 2G que passou a incorporar módulos digitais para o seu funcionamento, esta arquitectura introduziu novos componentes como os seguintes:

- Core Network (CN);
- Radio Access Network (RAN);
- User Equipament (EU).

Core Network (CN): É o componente central do sistema de comunicação móvel, responsável por funções como comutação de circuitos e pacotes, tarifação, sinalização com outras redes e bancos de dados de registro de informações, (MDPI, 2024).

Radio Access Network (RAN): Refere-se à interface aérea que conecta os terminais móveis à rede, sendo responsável por gerenciar os recursos de rádio, controle de potência e handover, entre outras funções, (MDPI, 2024).

User Equipment (UE): Inclui dispositivos como telefones móveis e módulos de identidade de assinante (SIM), sendo essencial para a conectividade dos usuários com a rede, (MDPI, 2024).

2.2. Evolução da Comunicação Móvel Celular e suas Principais Características

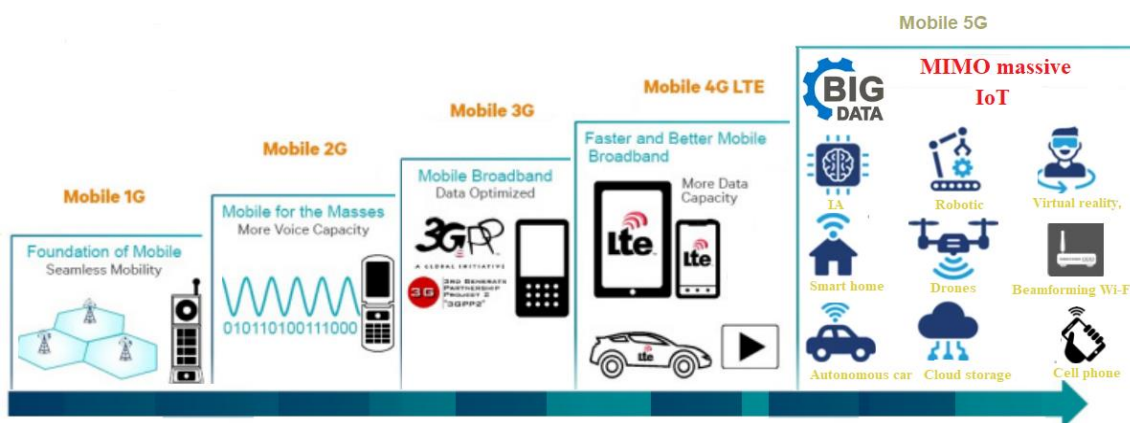
Desde os primórdios da civilização humana, houve necessidade ou desejo de comunicar-se entre pontos distantes, portanto, telecomunicar-se, Dias (2001). Tal desejo envolveu, naquele momento, o uso de sinais de fumaça como forma de comunicação, toques de batuques ou tambores, conforme o caso, desembocando nos experimentos de ondas rádio por volta de 1897. A partir de então, a evolução dos sistemas de telefonia móvel transformou, não somente a forma como nos comunicamos uns com os outros, mas também causaram uma revolução na forma como vivemos. A primeira geração de comunicação móvel celular propriamente dita foi baseada nos Walkie-talkie, (Vinhal, 2020).

Por volta de 1940, nos Estados Unidos, começaram a surgir os primeiros ensaios rumo ao uso tecnologia de sistemas de comunicação móvel. Nos anos seguintes fabricantes e operadoras do mundo envolveram-se em corrida tecnológica que além de impulsionar o aumento da capacidade, velocidade e confiabilidade das redes móveis, promoveram também a

competitividade de países e organizações, desde a implementação da tecnologia 1G, 2G, 3G, 4G e actualmente, 5G.

A International Telecommunication Union (ITU) é uma agência das Nações Unidas especializada em Telecomunicações responsável por desenvolver e aprovar as especificações e faixas de radiofrequências dos sistemas IMT (International Mobile Telecommunications), que inclui três padrões: IMT-2000 (tecnologia 3G), IMT-Advanced (4G) e IMT-2020 (5G).

Figura 4: Evolução de comunicações móveis e serviços conectados



Fonte: Disponível em, <https://techspaceofatul.wordpress.com/tag/wcdma>

2.2.1. Primeira geração de comunicação móvel celular (1G)

A primeira geração, denominada 1G, é a geração de telefonia móvel que surgiu nos anos de 1980. Diversos padrões foram adoptados em diferentes países. Era um sistema analógico apenas para transmissão de voz, sujeito a ruídos e interferências, (Vinha, 2020).

Na rede 1G, actualmente extinta, seu sistema analógico usava canais de voz de Modulação em Frequência (FM), onde a voz do usuário era transmitida em radiofrequência, na faixa de UHF.

Principais Características:

- Introdução de chamadas de voz móvel
- Sistemas baseados em AMPS (Advanced Mobile Phone System)
- Qualidade de som e segurança limitadas

2.2.2. Segunda geração da comunicação móvel celular (2G)

Em 1990, surgiu a segunda geração de redes móveis (2G), deixando de lado o sistema analógico e migrando para um sistema digital, sendo mais estável, com maior imunidade a ruídos, novas formas de múltiplo acesso melhorando a eficiência espectral, roaming internacional, tráfego de dados na rede, serviço de mensagens, podendo ser implantadas codificações do sinal, com maior acessibilidade para população e abrangendo uma maior área de cobertura, (Vinhai, 2020).

Principais Características:

- Utilização de tecnologias GSM (Global System for Mobile Communications);
- Introdução do GPRS (General Packet Radio Services) no GSM;
- Melhor qualidade de voz e maior capacidade de rede;
- Velocidades de dados limitadas (até 64 kbps);
- Introdução de SMS (Short Message Service), CSD (Circuit Switch Data) e o serviço de comutação por pacote.

Contudo, apesar de todos estes avanços e evolução, a velocidade não ultrapassava a marca dos 100 Kbps. A evolução de GSM para o GPRS (2.5G), que posteriormente evoluiu para EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) (2.75G) e a migração de GSM para o HSCSD (2.5G), foi uma tentativa para melhor suporte de maiores taxas de transmissão de dados, no entanto ainda era insuficiente para prover mais serviços de valor agregado, (Sverzut, 2005).

Em suma, o 2G difere da geração anterior em seu uso de transmissão digital em vez de transmissão analógica, capacidade para codificar facilitando o envio e o recebimento de informações, e criptografia da informação transmitida. Com a sua digitalização na origem e reconversão no aparelho de destino, a tecnologia trouxe maior eficiência espectral.

2.2.3. Terceira geração da comunicação móvel celular (3G)

A rede 3G surgiu no início dos anos 2000, Tecnologia digital com suporte a dados, responsável pela popularização da internet móvel no mundo. As faixas de frequência que

actuaem o sistema 3G variam de acordo com a região, podendo ser de 850MHz até 2170 MHz, (Vinhaal, 2020).

Principais Características:

- Introdução de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System);
- Suporte a dados móveis mais rápidos;
- Possibilitou navegação na internet, videochamadas, streaming de áudio e vídeo e conectividade contínua de pacotes para melhorar o tempo de vida da bateria.

A evolução para esta nova geração, a internet passou a ter alta velocidade, se comparada ao 2G. Através do 3G, não somente os celulares passaram a ter essa tecnologia, como também modems para serem conectados em computadores, por meio de portas USB, (Vinhaal, 2020).

O 3G é baseado nos padrões WCDMA ou CDMA e oferece velocidades mínimas de 200Kbps, mas foi muito além. Com tecnologias como HSPA (3.5G) e sua evolução, o HSPA+ (3.75G), as transmissões de dados chegaram a até 21 Mbps e ficaram conhecidas como 3G+, (Vinhaal, 2020).

2.2.4. Quarta geração da comunicação móvel celular (4G)

Em 2010, surgiu a actual tecnologia 4G, padrão desenvolvido pelo 3GPP é o mesmo que Long Term Evolution (LTE) que é uma evolução da família GSM (Global System for Mobile Communications). O LTE é uma tecnologia IP (Internet Protocol), projectada para obter baixa latência e uma alta eficácia no aproveitamento do espectro quando comparados a sistemas de gerações anteriores. Esta geração caracteriza-se por uma alta velocidade de tráfego de rede, superando a da rede 3G. A primeira geração do LTE, na verdade, denominou-se por 3.9G, já que de acordo com os requisitos da ITU para redes de quarta geração, portanto 4G, não foram plenamente alcançados pela tecnologia LTE, (Vinhaal, 2020).

Para corresponder cabalmente os requisitos do 4G, estabelecidos pela ITU, foi desenvolvido o padrão LTE Advanced. O LTE Advanced utiliza um espectro de frequência de até 100 MHz, possuindo então, largura de banda requisitada pelo ITU, maior que 70 MHz para downlink, oferecendo taxas 1 gigabit e 40 MHz para uplink, oferecendo taxas de 500 megabits,

usando MIMO. Além de ser eficiente no suporte de antenas com a tecnologia MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), também apresenta mudanças em seu núcleo de comunicação, permitindo a utilização da tecnologia VoIp (Voice Over Internet Protocol), graças a componente IP, (Vinha, 2020).

Principais Características:

- Uso de tecnologias LTE (Long Term Evolution);
- Altas velocidades de dados (até 100 Mbps podendo atingir 1 Gbps);
- Melhor suporte para aplicativos intensivos em dados, como vídeos HD e jogos online;
- Melhor latência e eficiência de rede.

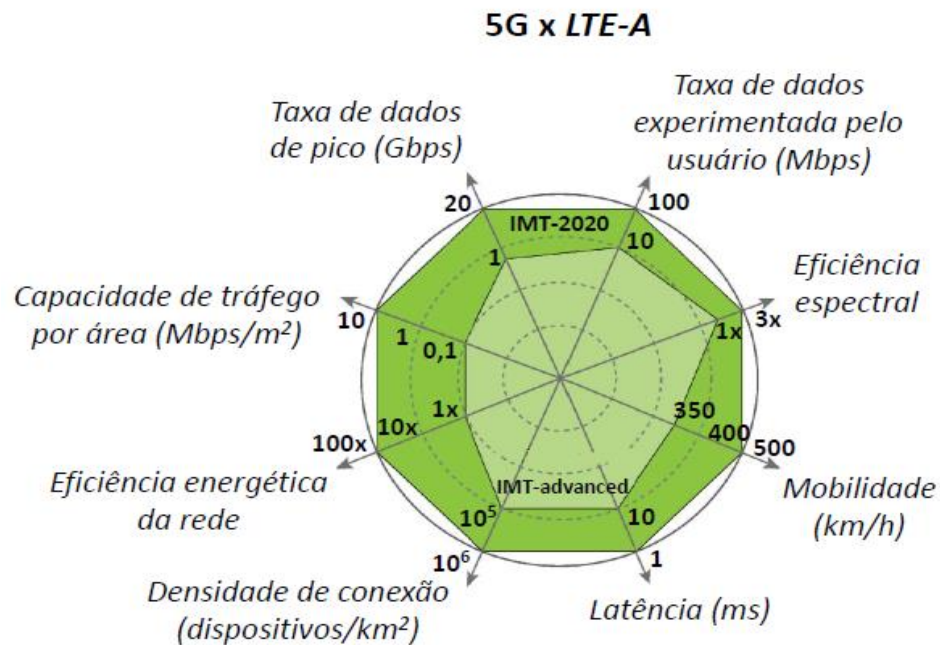
2.2.5. Quinta geração das comunicações móveis (5G)

O relatório sobre 5G da Next Generation Mobile Network, afirma que, o 5G é um ecossistema de ponta a ponta para permitir uma sociedade totalmente móvel e conectada, (NGMN, 2015).

No início de 2012, a ITU iniciou um projecto para desenvolver o “IMT for 2020 and beyond”, delineando o cenário para as redes 5G.

Em 2015, publicou a RECOMMENDATION ITU-R M.2083-0 (2015) “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond” que estabelecia objectivos globais para as novas redes IMT-2020, considerando oito indicadores: taxa de dados de pico, taxa de dados experimentada pelo usuário, eficiência espectral, mobilidade, latência, densidade de conexões, eficiência energética e capacidade de tráfego por área, (ITU, 2015).

Figura 5: Aprimoramento dos principais recursos do IMT-Advanced para o IMT-2020



Fonte: [https://www.ic.unicamp.br/~edmundo/MC822/mc822/MO655/Semin%C3%A1rio%205G-Conceitos%20B%C3%A1sicos-v1-rev3%20\(2\).pdf](https://www.ic.unicamp.br/~edmundo/MC822/mc822/MO655/Semin%C3%A1rio%205G-Conceitos%20B%C3%A1sicos-v1-rev3%20(2).pdf) (2019)

Também denominada tecnologia 5G, a quinta geração refere-se a mais nova tecnologia móvel. Baseado no padrão ITU IMT-2020 pode fornecer velocidades de até 20Gbps, demonstrado com ondas milimétricas de alta frequência (15 gigahertz ou superiores). Esta tecnologia é caracterizada por MIMO Massimo combinado com Beamforming, e uma multiplexação diferente da tecnologia 4G, que utiliza o OFDM, (Viavi solutions, 2021).

Principais Características:

- Maior velocidade de conexão;
- Menor latência;
- Suporte a mais dispositivos;
- Desenvolvimento de novas tecnologias.

Enquanto as quatro primeiras gerações das redes móveis esforçaram-se para oferecer comunicação de voz e dados eficientemente, conectando pessoas, a rede de quinta geração 5G promete fazer muito mais, isto é, não só conecta pessoas e coisas como também redefini uma nova dinâmica na telefonia móvel. Várias novas áreas de aplicação podem ser identificadas, superando de longe as redes sem fio actuais.

Os novos serviços da rede 5G incluem:

- Sistemas de transporte autónomo;
- Aplicações de automação industrial e utilitários;
- Carros autónomos;
- Serviços de saúde;
- Serviços de realidade virtual aumentada, para consumidores e empresas;
- Aplicações de cidades inteligentes;
- Computação em Nuvem;
- Casas inteligentes, e uma série de usos para a banda larga móvel, incluindo a entrega de conteúdo em todos os lugares.

Figura 6: Rede de comunicações móveis 5G e respectivos serviços



Fonte: Disponível em, https://pt.123rf.com/photo_160614809_ind%C3%BAstria-inteligente-4-0-internet-industrial-das-coisas-fabrica%C3%A7%C3%A3o-inovadora-e-ind%C3%BAstria.html

O 5G tonará possível introduzir e dar sequência às amplas aplicações inovadoras, com possíveis cenários de caso de uso. Será possível viabilizar a Internet das Coisas (IoT) dinamizando cada vez a inteligência artificial, passando a conectar dispositivos electrónicos e

incorporar sensores de medir pressão, temperatura, e incluir actuadores para ligar e desligar dispositivos ou fazer remotamente configurações em tempo real. Edifícios, pontes e estradas podem ser monitorados de forma contínua, corporações e governos podem passar a monitorar continuamente a poluição do ar, na área da saúde, podem monitorar sinais vitais do paciente.

Num futuro próximo, prevê-se as tecnologias vestíveis (calças, camisas, relógios, óculos, todos conectados, interagindo com o usuário, enviando e recebendo dados do ambiente, obtendo informações da nossa saúde) além da viabilização do conceito de Internet Táctil que permitirá uma interação entre sentidos humanos e máquinas, a partir do tacto, sendo possível a integração do corpo humano à robótica e a realidade virtual, isso tudo devido a uma operação de latência muito baixa, esperado 1ms em comunicações ultra confiáveis, como uma das aplicações a telemedicina que poderá permitir a realização de operações complexas remotamente, com o paciente e o médico localizados em diferentes partes do mundo.

2.2.5.1. Tipos de internet 5G

Existem diferentes tipos de internet 5G, o que interfere na forma de propagação e na velocidade da tecnologia, sendo elas:

5G SA (Standalone)

A rede móvel 5G SA, também chamada de "5G puro", representa a tecnologia mais moderna, que precisa de infra-estrutura própria e sem a dependência das antenas utilizadas no sistema antigo. Com isso, ela conta com uma radiofrequência exclusiva, Moreira (2022). O 5G SA permite menor latência (ping) e possibilita a criação de várias sub-redes através da técnica de slicing, (Braga, 2023).

5G NSA (Non-Standalone)

O padrão 5G NSA usa o mesmo núcleo de rede do actual sistema 4G. Com a adopção desse tipo de infra-estrutura, ele é classificado como "impuro". Actualmente, ele está em uso em mais de 200 operadoras de telefonia pelo mundo, (Moreira, 2022).

5G DSS (Dynamic Spectrum Sharing)

O 5G DSS é um modelo que usa toda a infra-estrutura de rede do padrão de internet móvel das gerações anteriores. Isso significa que os clientes 5G vão se conectar à mesma rede que actualmente também atende o 4G, 3G e 2G, Moreira (2022). As antenas compatíveis vão liberar velocidade maior quando detectarem aparelhos com a disponibilidade de conexão para o DSS. Apesar de trazer o indicador do "5G" no celular, o 5G DSS é uma tecnologia intermediária e não traz todo o potencial da nova conexão.

Sendo assim, tanto o 5G SA como o 5G NSA se sobressaem ao 5G DSS, que utiliza frequências compartilhadas com tecnologias anteriores e permite menores velocidades de download em comparação com redes com espectro dedicado (5G puro). No entanto, o 5G DSS pode ser utilizado em frequências menores, como 700MHz, que possuem maior penetração de sinal em comparação com o 5G tradicional.

Nem todo celular 5G é compatível com os dois padrões (SA e NSA). Para utilizar a quinta geração de internet móvel, o usuário precisa ter um dispositivo compatível com a tecnologia. Além disso, alguns dispositivos ainda vão precisar de uma actualização de sistema para que os aparelhos se conectem ao chamado 5G "puro".

2.2.5.2. Diferenças entre 5G SA e 5G NSA

O 5G SA e o 5G NSA podem apresentar diferenças em velocidade, latência, confiabilidade, consumo de energia, infra-estrutura, implementação e compatibilidade, (Braga, 2023).

Velocidade

O 5G SA e 5G NSA podem atingir as mesmas taxas de transferência, com velocidade máxima teórica de até 20 Gb/s (gigabits por segundo) segundo os requisitos do ITU. No entanto, o smartphone que conecta no padrão 5G NSA consegue agregar a capacidade do 4G, permitindo melhorias na velocidade de download e upload.

Latência

O 5G SA permite latência mínima teórica de 1 milissegundo (ms). Por utilizar núcleo de rede dedicado, o desempenho do ping no 5G SA tende a ser melhor que no padrão 5G NSA, uma vez que os dados não precisam comutar entre diferentes infra-estruturas.

No entanto, é importante destacar que a latência de 1ms é relativa à conexão do dispositivo (smartphone, por exemplo) até a antena da operadora. Outros factores influenciam na latência de uma conexão, como a distância até o servidor de acesso.

Consumo de energia

O padrão 5G SA possui maior eficiência e gasta menos energia que o 5G NSA, de acordo com um estudo publicado pelo IEEE. No padrão 5G NSA, o smartphone precisa manter conexão com a torre tanto na tecnologia 4G como no 5G, enquanto no 5G SA dispensa a dupla comunicação.

Infra-estrutura

O 5G SA exige núcleo de rede dedicado para a quinta geração, enquanto o 5G NSA permite utilizar a infra-estrutura do 4G. Por esse motivo, o padrão 5G NSA permite implementações mais rápidas com um menor custo em comparação com o 5G Standalone.

Compatibilidade

Nem todo celular 5G é compatível com os dois padrões (SA e NSA). Para utilizar a quinta geração de internet móvel, o usuário precisa ter um dispositivo compatível com a tecnologia. Além disso, alguns dispositivos ainda vão precisar de uma actualização de sistema para que os aparelhos se conectem ao chamado 5G "puro", como no caso do iPhone.

Tabela 2: Tabela comparativa de 5G SA e 5G NSA

	5G SA	5G NSA
Versão	Mais moderna	Mais antiga
Velocidade	Até 20 Gb/s	Até 20 Gb/s Permite agregar velocidades do 4G
Latência	Menor	Maior
Confiabilidade da rede	Maior	Menor

Fonte: Bruno dos Santos (2024)

2.2.5.3. Arquitectura da rede 5G

As redes 5G foram desenvolvidas com a finalidade de explorar novas funcionalidades das comunicações móveis. A partir disso, e considerando a orientação dada pelo ITU-R a respeito dos requisitos técnicos e critérios de avaliação, o 3GPP, em 2015, deu início à padronização do 5G e em Junho de 2018, foi lançada a primeira padronização de um novo sistema 5G, que incluía a nova interface aérea (NR) e a rede de core 5G (5GC). Este é o chamado 5G Standalone (SA), que promete oferecer todos os recursos da tecnologia 5G.

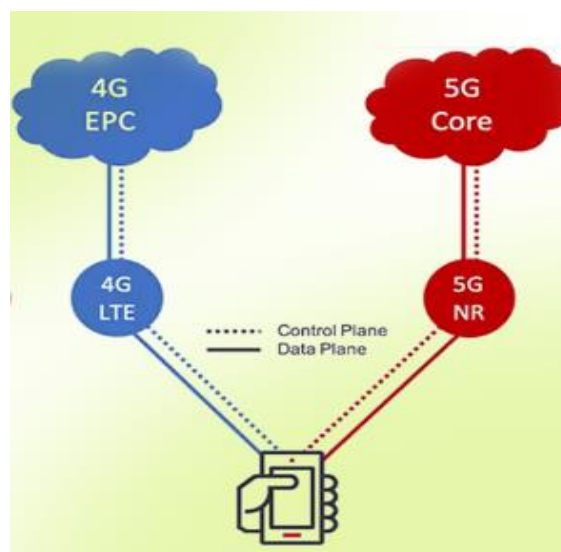
Basicamente, a arquitectura do 5G pode ser Stand alone e Non-standalone, conforme a opção dos operadores e mediante as suas necessidades, (Braga, 2023).

2.2.5.4. Arquitecturas Stand Alone e Non-Standalone

Ao decidir a implantação da tecnologia 5G as operadoras escolhem entre implantar uma rede 5G Standalone (SA) completa que ofereça experiência E2E (end to end) 5G, ou implantar uma rede 5G Non-Stand Alone (NSA) para ser complementada e suportada pela rede LTE.

Uma rede Stand Alone refere-se a ter uma rede independente 5G com uma nova interface aérea 5G, New Radio (NR). Dessa forma, uma rede 5G independente fornece ao usuário uma experiência 5G de ponta a ponta e ainda terá interoperabilidade com a rede 4G/LTE existente para fornecer continuidade de serviço entre as duas gerações de rede, conforme pode ser observado na figura abaixo.

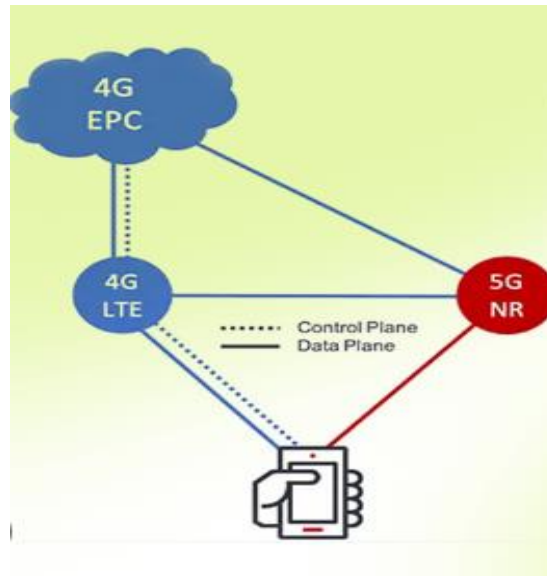
Figura 7: Arquitectura 5G StandAlone



Fonte: Adaptada por Bruno dos Santos (2024)

A rede 5G com arquitectura Non-Stand Alone, utiliza apenas células 5G. Nesta opção arquitectónica, as operadoras irão implantar células 5G e depender inteiramente da rede LTE existente para todas as funções de controle e serviços adicionais, conforme a figura abaixo.

Figura 8: Arquitectura 5G Non-StandAlone



Fonte: Adaptada por Bruno dos Santos (2024)

2.2.5.5. Prós e contras do 5G SA vs 5G NSA

O 5G SA é o padrão mais avançado de quinta geração: tem tecnologia URLLC, que permite melhor latência e maior confiabilidade da conexão; além disso, o padrão Standalone permite menor consumo de energia e suporta sub-redes para utilização industrial, (Braga, 2023).

No entanto, o 5G SA exige núcleo de rede dedicado, o que pode dificultar a implementação e encarecer a construção da infra-estrutura de rede.

Já o 5G NSA não exige núcleo de rede próprio, permitindo implementações mais rápidas e com menor custo para levar conexão de alta velocidade por rede móvel.

Além disso, trata-se do padrão com maior compatibilidade em smartphones e pode estar disponível para todos os usuários do 4G sem exigir mudanças de plano e chip.

2.2.5.6. Vantagens do 5G SA sobre o 5G NSA:

- Menor consumo de energia;
- Menor latência;
- Maior confiabilidade de conexão;
- Slicing (criação de sub-redes para uso industrial).

2.2.5.7. Vantagens do 5G NSA sobre o 5G SA:

- Menor custo e tempo para implementação da rede;
- Maior compatibilidade de aparelhos;
- Não exige troca de SIM Card (chip);
- Maior velocidade devido a agregação do 4G.

2.2.5.8. Equipamentos que compõem a infra-estrutura da rede 5G

A infra-estrutura da rede 5G envolve uma variedade de equipamentos essenciais para seu funcionamento eficiente e robusto. Abaixo está uma lista detalhada dos principais componentes dessa infra-estrutura:

Antenas 5G:

Antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output): Utilizam múltiplas antenas para aumentar a capacidade e a cobertura.

Antenas Beamforming: Direcionam os sinais em feixes específicos para melhorar a eficiência e reduzir a interferência.

Torres e células pequenas (Towers e Small Cells):

Macrocell Towers: Grandes torres que cobrem áreas amplas.

Small Cells: Antenas menores que cobrem áreas menores, essenciais para a densificação da rede em áreas urbanas.

Estações base (Base Stations):

gNodeB (gNB): Equivalente às estações base das redes 4G (eNodeB), responsáveis pela comunicação entre os dispositivos móveis e a rede central.

Remote Radio Heads (RRH): Unidades de rádio remotas que se conectam às gNodeB para expandir a cobertura.

Equipamentos do núcleo da rede (Core Network Equipments):

5G Core (5GC): O núcleo da rede 5G que gerência a autenticação, mobilidade, e sessões dos usuários.

UPF (User Plane Function): Gerência o tráfego de dados dos usuários.

AMF (Access and Mobility Management Function): Gerência a mobilidade e a conexão inicial.

SMF (Session Management Function): Gerência as sessões de dados dos usuários.

Equipamentos de transporte (Backhaul e Fronthaul):

Routers: Equipamentos de roteamento para gerenciar o tráfego de dados entre diferentes partes da rede.

Switches: Dispositivos que conectam diversos equipamentos de rede, facilitando a comunicação interna.

Optical Transport Networks (OTN): Utilizados para transporte de dados em alta velocidade entre diferentes locais da rede.

Computação de Borda (Edge Computing):

Edge Nodes: Servidores localizados próximos aos usuários finais para reduzir a latência e processar dados localmente.

Equipamentos de Segurança:

Firewalls: Protegem a rede contra ataques cibernéticos.

Intrusion Detection Systems (IDS): Sistemas que monitoram a rede para detectar actividades suspeitas.

Gerenciamento de rede (Network Management Systems - NMS):

OSS (Operational Support Systems): Sistemas que suportam operações, como monitoramento de desempenho e manutenção.

BSS (Business Support Systems): Sistemas que gerenciam as operações de negócios, como cobrança e facturamento.

Dispositivos de usuário (User Equipment - UE):

Smartphones 5G: Equipados com modems compatíveis com 5G.

IoT Devices: Dispositivos de Internet das Coisas que se conectam à rede 5G.

Cada um desses componentes desempenha um papel crucial na construção e manutenção da rede 5G, garantindo que ela ofereça alta velocidade, baixa latência e conectividade robusta.

2.2.5.9. Requisitos de segurança na arquitectura 5G

A implementação do 5G produzirá muitos benefícios de desempenho e diversidade de aplicações por meio do amplo uso de recursos baseados na nuvem, virtualização, fatiamento da rede e outras tecnologias emergentes. Com essas mudanças esperam-se também novos riscos de segurança e mais “superfícies de ataque” expostas dentro da arquitectura de segurança 5G. O 5G tem como base as práticas de segurança das gerações passadas da tecnologia móvel, entretanto, o modelo de confiança tornou-se muito mais abrangente, com mais participantes envolvidos no processo de fornecimento de serviços.

Entre os requisitos de segurança para o 5G, especificados pelas normas do 3GPP (3rd Generation Partnership Project), destacam-se autenticação unificada para desacoplar a autenticação dos pontos de acesso, protocolos de autenticação expansíveis para acomodar transacções seguras, políticas de segurança flexíveis para tratar mais user cases e identificadores permanentes de assinantes para garantir a privacidade na rede.

Conforme a implementação do 5G avança e nodes de desempenho crítico tornam-se cada vez mais virtualizados, as operadoras vão precisar monitorar e avaliar continuamente o desempenho da segurança, já que seguir boas práticas significa monitorar a segurança de rede de ponta a ponta em toda a arquitectura, nos dispositivos e nas aplicações do sistema.

2.2.5.10. Serviços integrados no 5G

O 5G se baseia em três pilares tecnológicos, eMBB (banda larga móvel aprimorada), mMTC (Comunicações Massivas do Tipo de Máquina) e URLLC (Comunicações Ultra Confiáveis de Baixa Latência), sendo este último o que promete maior revolução na maneira como utilizamos serviços de conexões móveis. Isso se dá ao facto de que, pela primeira vez, temos uma latência próxima ao observado nas fibras ópticas e com uma confiabilidade próxima a 99,999%, (Puppín, 2023).

A disponibilidade do sinal, a segurança, as altas velocidades e a baixa latência prometidas pelo 5G, impulsionam o volume de negócios e dinamizam o modo de vida rumo a uma nova sociedade de informação. A figura abaixo ilustra a variedade de serviços beneficiários graças a tecnologia 5G.

Figura 9: Pirâmide de Serviços oferecidos pela tecnologia 5G



Fonte: Rtic - Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, Vol. 8, No. 2 (2018)

2.2.5.11. Espectro de radio no 5G

A diversidade de requisitos e as necessidades de espectro mostram que há muitas opções e desafios para introdução do 5G. Diferentes bandas de espectro são necessárias para suportar todos os casos de uso. Diante desta nova tecnologia, as operadoras de telefonia móvel devem, portanto, considerar a viabilidade de diferentes opções para atender aos casos de uso

inicialmente pretendidos e garantir a interoperabilidade de suas redes. Em termos de características físicas, o espectro pode ser dividido em três faixas de frequência: até 1 GHz, até 6 GHz e acima de 6 GHz, (Farias, 2019).

Cada intervalo de espectro tem características específicas que o tornam adequados para determinados cenários de implantação. A faixa de baixo espectro tem aspectos de propagação muito bons que a tornam viável para a cobertura de grandes áreas, como ambientes rurais. A faixa intermediária do espectro (até 6 GHz), fornece um tipo de cobertura mais viável para a implantação em áreas urbanas e com maior capacidade de dispositivos conectados. Por último, a faixa de alto espectro (acima de 6 GHz) é mais limitada na cobertura, porém pode fornecer uma capacidade muito alta devido à quantidade de espectro não utilizado e disponível nessas frequências, (Farias, 2019).

Assim, com diferentes características para cada faixa de espectro, não é possível utilizar apenas uma única banda que seja possível de atender os requisitos das redes 5G. Os requisitos técnicos estabelecidos pelo ITU, especificam que as operadoras de telefonia precisam de pelo menos 100 MHz de banda para garantir as aplicações e casos de uso inicialmente definidos. Para frequências acima de 6 GHz, o requisito é de até 1 GHz de banda por operadora, (Farias, 2019).

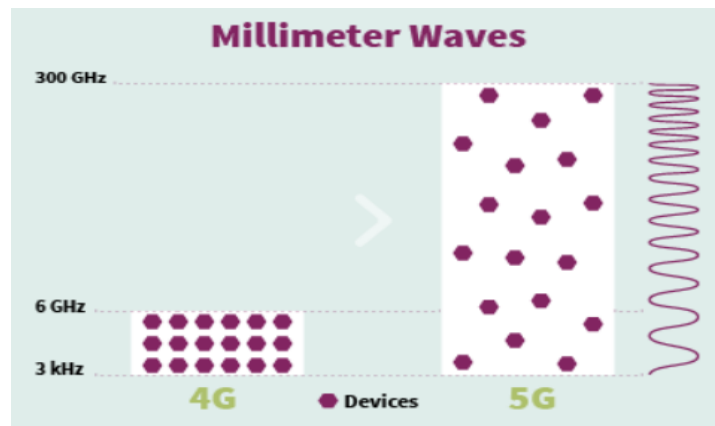
2.2.5.12. Ondas milimétricas no 5G

A implementação da tecnologia 5G não só permitirá o uso de frequências mais altas na faixa de 3 a 6 GHz para macro/pequenas células, como também abrirá novas oportunidades de largura de banda móvel para ondas milimétricas (mmWave). A grande disponibilidade de espectro nessas altas frequências é capaz de fornecer velocidades e capacidade de dados extremas que revolucionarão e reformularão a experiência de todo o sistema de comunicação móvel, (Farias, 2019).

Até o momento, os smartphones e outros dispositivos eletrônicos usam uma faixa de frequência muito estreita, entre 3 kHz e 3 GHz. No entanto, um número cada vez maior de dispositivos móveis e conectados partilha este alcance – conduzindo inevitavelmente a velocidades de transmissão de dados cada vez mais lentas e aumentando a susceptibilidade da ligação a falhas. A solução é utilizar frequências na faixa inferior a 6 GHz, mas principalmente na faixa de ondas milimétricas com frequências entre 30 e 300 GHz, em que os dispositivos

móveis ainda não transmitem dados. Largura de banda suficiente está disponível aqui para a Internet das Coisas. No entanto, as ondas milimétricas têm uma desvantagem: não conseguem penetrar nas paredes das casas de pedra e podem ser absorvidas pelas árvores ou pela chuva forte.

Figura 10: Ondas Milimétricas no 5G



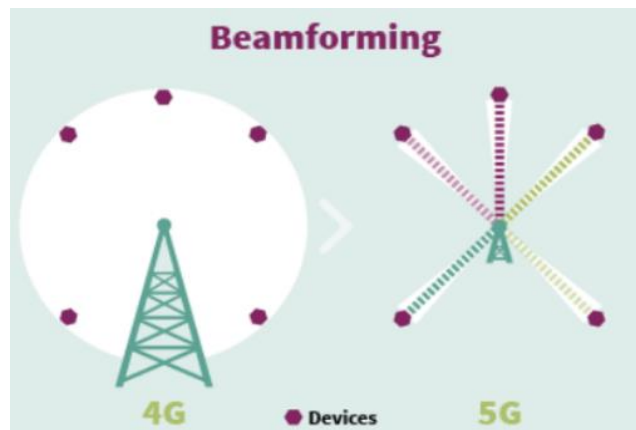
Fonte: 5G – The high-speed mobile network of the future (2018). Disponível em: <https://www.ectasia.com/5g-the-high-speed-mobile-network-of-the-future>

2.2.5.13. Beamforming no 5G

Nas redes anteriores a 5G, o tipo de antena usado na irradiação de onda electromagnética se propaga homogeneamente através do uso de antena omnidireccional. Não existe uma técnica que permita concentrar o sinal numa linha específica, em direcção ao usuário, ou aos usuários e acompanhar a deslocação destes usuários. Esta distribuição homogenea de sinais, é susceptível á ruídos e interferência, já que nas antenas omnidireccionais há somente um transmissor enviando o sinal por meio de ondas electromagnéticas que se propagam em todas as direcções, o tipo de antena tem uso facilitado por não precisar de direccionamento, (Moreira, 2018).

Com um sistema utilizando o beamforming, a distribuição de sinal ocorre de uma maneira diferente, onde é possível direccionar o sinal ao equipamento específico de uma rede. Nela é possível visualizar o sinal sendo irradiado em formato de feixe, no qual o sinal é mais concentrado e não espalhado, diferente de um sistema omnidireccional, conforme a figura a seguir, (Moreira, 2018).

Figura 11: Diferença entre 4G e 5G na forma de distribuição de sinal aos usuários



Fonte: 5G – The high-speed mobile network of the future (2018). Disponível em: <https://www.ectasia.com/5g-the-high-speed-mobile-network-of-the-future/>

Na rede Wi-Fi 5G, o beamforming permite que a rede se adeque com o ambiente em que se encontra e a quantidade de usuários que atende. O sinal é transmitido de forma direccional, com otimização de tráfego. No MIMO (múltiplo input, múltiplo output), o beamforming pode auxiliar os arrays de antenas de MIMO massivos, que são estações base, montadas com dúzias ou centenas de antenas individuais, para fazer uso mais eficiente do espectro ao seu redor, (Moreira, 2018).

Nesta tecnologia moderna a onda deverá seguir o dispositivo que estiver conectado, onde sua forma de onda terá que se deslocar, acompanhando qualquer movimento do dispositivo, e cada célula terá que suportar centenas de ondas, (Moreira, 2018).

Portanto, o beamforming é a técnica utilizada para concentrar sinais de rádio na direcção dos clientes com os quais estão se comunicando, a fim de ganhar melhor capacidade e taxa de transferência, como mostra a Figura abaixo, (Moreira, 2018).

Figura 12: Antenas inteligentes de uma rede 5G distribuindo sinal beamforming



Fonte: Fall Technical Forum, SCTE-ISBE Cable-TE Expo (2018)

2.2.5.14. MIMO massivo no 5G

MIMO é uma rede sem fio que permite a transmissão e recepção de mais de um sinal de dados simultaneamente através do mesmo canal de rádio. Duas ou quatro antenas são utilizadas nas redes MIMO.

O MIMO é responsável por reaproveitar sinais reflectidos, aumentando a taxa de transferência (throughput) ao invés de perdê-los no meio. São utilizados múltiplos transmissores e receptores, (Intel, 2021).

Por outro lado, o MIMO massivo é um sistema com um número especialmente alto de antenas (mais de 100 antenas por estação base). Como os sistemas MIMO agrupam fisicamente mais antenas em uma pequena área, exige a utilização de frequências mais altas (e, portanto, comprimentos de onda menores) do que os padrões actuais de redes móveis.

O MIMO massivo foi originalmente planejado para a operação duplex de divisão de tempo (TDD), mas pode ser aplicado também na operação duplex de divisão de frequência (FDD). A rede MIMO faz uso extensivo de componentes de baixo consumo de energia, latência reduzida e robustez à interferência pelo grande número de antenas. Deve-se notar, também, que as redes Massive MIMO utilizarão a tecnologia beamforming, permitindo o uso direccionado do feixe de sinal. Na tecnologia 5G o MIMO massivo em conjunto com o beamforming, optimizam de forma muito mais inteligente e eficiente as velocidades e a latência dos dados, uniformizando a rede para os usuários, (Moreira, 2018).

Figura 13: Mimo Massivo no 5G



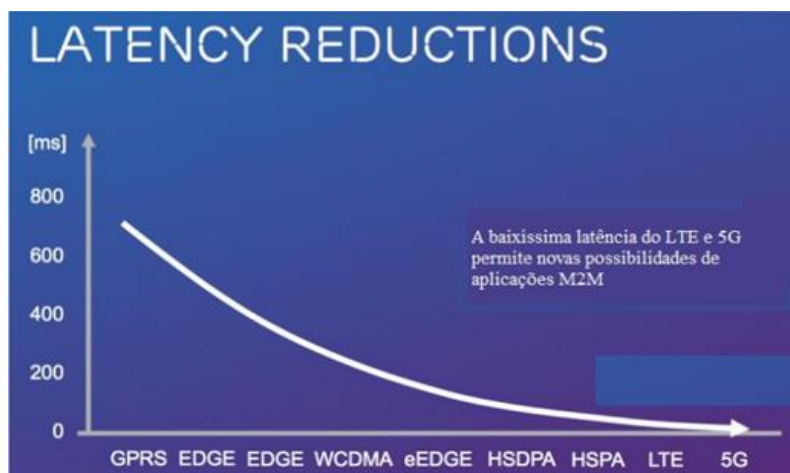
Fonte: 5G – The high-speed mobile network of the future (2018), disponível em, <https://www.eetasia.com/5g-the-high-speed-mobile-network-of-the-future/>

2.2.5.15. Formas de onda no 5G

Nas redes LTE e LTE- Advanced utiliza-se a multiplexação OFDM/OFDMA que consistem em duas formas de ondas separadas utilizadas para obter acesso à rede: O acesso OFDM (OFDMA) no downlink, e o acesso múltiplo por divisão de frequência de portadora única, no uplink. Essas duas formas de onda se beneficiam do sistema OFDM por esta ser uma tecnologia de transmissão de multiportadora. As limitações apresentadas pelo OFDM levantaram a possibilidade da utilização de novas formas de onda no 5G, (Moreira, 2018).

O 5G é uma tecnologia que busca uma latência muito menor para permitir novos serviços e aplicações, como a condução autónoma de veículos, que demanda uma latência significativamente baixa e um link de comunicação absolutamente resiliente. Para atingir esses objectivos, recorre-se a 4 formas de ondas ser utilizada no 5G: GFDM, FBMC, UFMC e f-OFDM, de acordo com a União Internacional de Telecomunicações (ITU), (Moreira, 2018).

Figura 14: Redução de níveis de latência nos sistemas de comunicação móvel



Fonte: Disponível em, <https://pt.quora.com/O-que-%C3%A9-a-tecnologia-5G>

2.2.6. Impacto da Tecnologia 5G na Sociedade e na Economia

A tecnologia 5G tem impactos significativos na sociedade e na economia. No entanto, também levanta preocupações relacionadas à segurança cibernética e privacidade de dados, que devem ser cuidadosamente gerenciadas para garantir benefícios sociais e económicos sustentáveis, (Silva, 2024).

- **Na sociedade**

Ela possibilita maior velocidade de conexão a internet, maior capacidade de transmissão de dados e menor latência, melhorando a experiência do usuário em diversos sectores, como saúde, educação e entretenimento, (Silva, 2024).

- **Na economia**

Na economia, o 5G impulsiona a inovação em vários sectores, incluindo agricultura, transporte, cidades inteligentes e na indústria melhorando a automação. O 5G cria oportunidades para novos modelos de negócios, aumenta a eficiência operacional e contribui para o crescimento económico. Além disso, a tecnologia 5G é fundamental para o desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT), permitindo a interconexão de dispositivos e sistemas em larga escala, (Silva, 2024).

Para que isso aconteça, a necessidade de infra-estruturas robustas e investimentos significativos precisam ser superados para garantir uma implementação ampla e eficaz, (Silva, 2024).

2.2.7. Internet of Things (IoT)

De acordo com Peter Waher (2015), a Internet das Coisas é algo que obtemos quando conectamos as coisas, não operadas por seres humanos, à Internet. Actualmente a principal forma de comunicação da Internet é humana e segundo o autor a IoT pode ser considerada como a futura avaliação da Internet que realiza aprendizagem M2M (Machine to Machine), fornecendo conectividade para todos e tudo.

A ITU (International Telecommunication Union) define IoT como uma infra-estrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados através da interconexão (física e virtual) de coisas baseadas em tecnologias interoperáveis de informação e comunicação, existentes e em evolução, ITU (2012). Sua infra-estrutura de rede global é dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde coisas físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais com interfaces inteligentes.

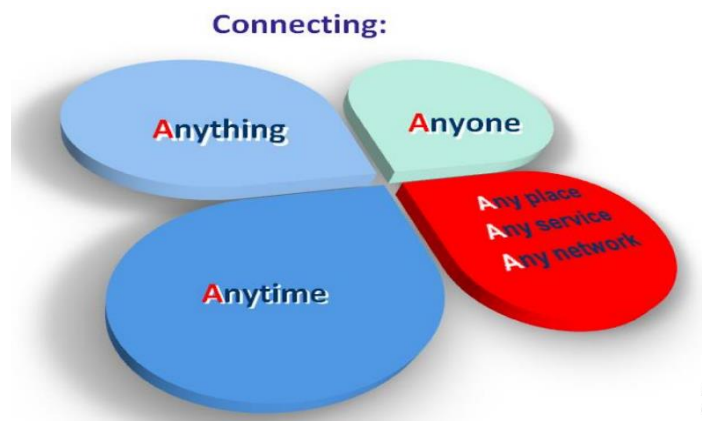
Figura 15: Exemplo de serviços e conectividade na IoT



Fonte: Disponível em, <https://datascience.eu/pt/wiki-pt/uma-simples-explicacao-sobre-a-internet-das-coisas/>

Partindo do pressuposto de que tecnologia do 5G caracterizada pela aceleração da velocidade, conectividade capaz de impulsionar o desenvolvimento da indústria, logística, robótica, cuidados de saúde à distância e cirurgias remotas, sector automóvel, como carros conectados, agricultura de precisão, cidades inteligentes, sector da energia, e outros, pode se vislumbrar que a tecnologia 5G irá repercutir de forma intensa no desenvolvimento de serviços associados à Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), Inteligência Artificial (IA), realidade virtual e realidade aumentada. O casamento de 5G com IoT na vida das pessoas, na gestão pública e no mundo dos negócios será bastante significativo, impactando positivamente a actividade económica, serviços sociais, educacionais, lazer, culturais e ambientais, em especial, em avanços sensíveis na automação robótica.

Figura 16: Requisitos do IoT segundo ITU



Fonte: Disponível em, <https://www.internet-of-things.no/iot.html>

2.2.8. Relação entre IoT e Tecnologia 5G

Aplicações do IoT integradas em redes com tecnologia 5G apresentam um cenário de alta conectividade gerando aplicações capazes de transformar a vida das pessoas, Rosa (2017). O bom desempenho do IoT demanda que a rede tenha uma infra-estrutura para suprir a necessidade de atender a um grande número de dispositivos conectados, fornecer comunicação com alta confiabilidade e com baixo atraso, e que a rede 5G é altamente capaz de suprir tais necessidades e se torna superior às gerações anteriores. Devido à maior largura de banda oferecida pela utilização da banda de frequência de ondas milimétricas e ao uso de células pequenas, o 5G revela-se capaz de atender à uma alta densidade de conexão de dispositivos por unidade de área. Desta forma, a rede 5G será capaz de atender à crescente demanda de conectividade provinda das aplicações de IoT como: carros conectados e autônomos, cidades inteligentes, automação industrial, casas inteligentes, realidade virtual, área de saúde, serviços domésticos, etc, (Rosa, 2017).

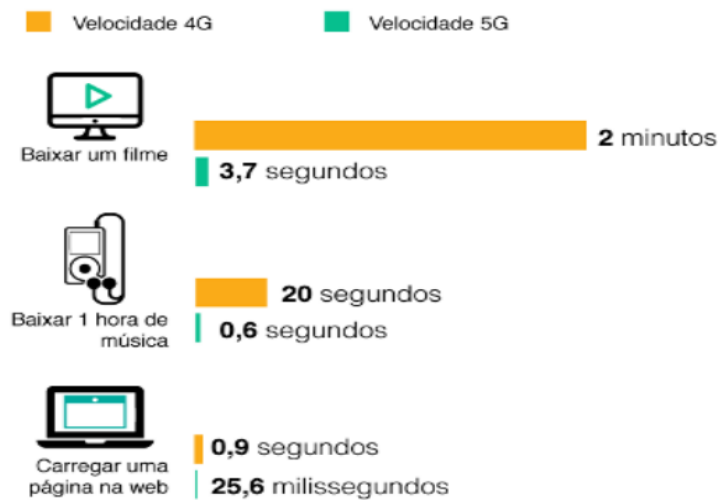
2.2.9. Análise Comparativa de Velocidade de Internet das Redes 4G e 5G

4G LTE (Long Term Evolution “evolução a longo prazo”) - A média é 10-100 Mbps, enquanto a tecnologia de 4G+ mais avançada pode alcançar até 450 Mbps e 1Gbps em repouso em alguns locais, com uma latência de 50 a 80 ms. Na prática as operadoras oferecem uma velocidade que varia entre 25 a 50 Mbps, e uma latência maior.

5G – A velocidade é de 10Gbps podendo alcançar 20 Gbps, com uma latência de 1 a 4 ms. Mas na prática, a média pode variar entre 100 a 400 Mbps, com latência de 10 a 30 Mbps.

O 5G mais rápido é conhecido como mmWave. Em 3 de Julho de 2019, mmWave tinha uma velocidade máxima de 1.8 Gbps na rede 5G da AT&T. O 5G sub-6 GHz (banda média do 5G), de longe o mais comum, normalmente fornecerá entre 100 e 400 Mbps, mas terá um alcance muito maior do que mmWave, especialmente ao ar livre.

Figura 17: Comparação de velocidade de download entre a tecnologia 4G e a 5G



Fonte: Disponível em, https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Comparativo-de-velocidade-de-download-entre-a-tecnologia-4G-e-a-5G_fig1_343404923

2.2.10. Tecnologia 5G e a Saúde Humana

Segundo a Mitsuura (2019), as redes 5G dependem de sinais de rádio por meio de ondas electromagnéticas, assim como nas tecnologias móveis anteriores. Ondas electromagnéticas também estão presentes nos serviços de rádio e televisão, assim como em várias outras tecnologias, incluindo os smartphones. A tecnologia 5G usa ondas electromagnéticas de frequências mais altas quando comparadas com as tecnologias móveis anteriores, o que permite que um maior volume de dispositivos tenha acesso à rede. Frequências altas possibilitam também o aumento da velocidade de conexão. As frequências altas percorrem distâncias mais curtas e desta forma, necessitam de mais antenas e equipamentos de propagação de sinais, quando comparados com as tecnologias anteriores.

De acordo com Mitsuura (2019) a organização responsável pela regulação de alimentos e medicamentos FDA, sigla em inglês (Food and Drug Administration – Administração de Medicamentos e Alimentos) até agora, não existem indicativos confirmados de problemas de saúde relacionados à exposição às ondas de radiofrequência, embora algumas fontes não confirmadas tendam a contradizer.

2.2.11. Custos de Implementação da Rede 5G

O custo dos equipamentos para a infra-estrutura da rede 5G pode ser bastante significativo devido a vários factores, que incluem a complexidade tecnológica, a necessidade de inovação e as exigências de desempenho e segurança.

Tabela 3: Preço de equipamentos da Huawei e Nokia

Categoria	Equipamento	Preço Huawei (USD)	Preço Nokia (USD)	Descrição
Estações Base (Base Stations)	Unidade RAN (Radio Access Network)	50.000 - 100.000	40.000 - 80.000	Inclui unidades de rádio, controladores de estação base e antenas
	Antenas 5G - Antenas Macro	5.000 - 10.000	5.000 - 10.000	Antenas para cobertura de grandes áreas, suporte a MIMO massivo
	Antenas 5G - Antenas Micro	3.000 - 7.000	3.000 - 7.000	Antenas menores para cobertura em áreas específicas
	Antenas 5G - Antenas Pico	1.000 - 3.000	1.000 - 3.000	Antenas para pequenas células em ambientes densos
	Antenas 5G - Antenas Milimétricas (mmWave)	7.000 - 15.000	7.000 - 15.000	Antenas para frequências de onda milimétrica, proporcionando alta capacidade
Equipamentos de Backhaul	Roteadores e Switches	30.000 - 70.000	25.000 - 60.000	Equipamentos para transporte de dados de alta capacidade
	Links de Fibra Óptica	15.000 - 30.000 por km	15.000 - 30.000 por km	Conectividade de fibra para alta velocidade e baixa latência
Servidores e Data Center	Servidores de Alta Performance	200.000 - 500.000	150.000 - 400.000	Processamento central para gerenciar a carga de dados da rede
	Equipamentos de Armazenamento (Storage)	100.000 - 250.000	100.000 - 250.000	Armazenamento robusto para suportar grandes volumes de dados
	Sistemas de Resfriamento	50.000 - 100.000	50.000 - 100.000	Sistemas para manter a temperatura ideal dos equipamentos
	No-breaks e UPS (Uninterruptible Power Supply)	30.000 - 60.000	30.000 - 60.000	Protecção contra interrupções de energia

Transmissão e Recepção	Transceptores (Transceivers)	20.000 - 40.000	20.000 - 40.000	Equipamentos para transmissão e recepção de sinais
	Filtros de Frequência e Amplificadores	10,000 - 20,000	10.000 - 20.000	Componentes para melhorar a qualidade do sinal
Rede e Segurança	Firewalls e Equipamentos de Segurança	50.000 - 100.000	50.000 - 100.000	Protecção contra ameaças e gerenciamento de segurança
	Sistemas de Monitoramento e Gestão de Rede	80.000 - 150.000	80.000 - 150.000	Monitoramento e controle da infraestrutura de rede
Infra-estrutura Física	Torres de Comunicação	150.000 - 300.000	150.000 - 300.000	Estruturas físicas para suporte a antenas e outros equipamentos
	Cabos e Conectores	5.000 - 15.000 por instalação	5.000 - 15.000 por instalação	Cabos e conectores para interligação de equipamentos
	Instalação e Configuração	200.000 - 500.000	200.000 - 500.000	Custos de mão-de-obra e serviços para instalação e configuração

Fonte: Bruno dos Santos (2024)

Para o caso específico em estudo, os custos de investimento da Tmcel na implantação da rede 5G podem variar amplamente, dependendo de diversos factores. Ao avaliar as necessidades da empresa, é crucial considerar os seguintes aspectos:

- A possibilidade de aproveitar a infra-estrutura actual para reduzir custos, reutilizando torres e equipamentos já existentes;
- Identificação das áreas prioritárias para cobertura e determinação do número de usuários que serão atendidos;
- Especificações e tipos de equipamentos necessários, incluindo antenas, estações base e equipamentos de núcleo;
- Escolha entre marcas de renome ou opções mais económicas para os equipamentos;
- Necessidade de mão de obra especializada para instalação e manutenção da rede;
- Consideração dos custos associados ao licenciamento e conformidade regulatória exigidos para operar uma rede 5G;
- Implementação de medidas de segurança da rede e sistemas de gerenciamento eficientes para garantir a integridade e a confiabilidade do serviço.

Todos esses factores combinados desempenham um papel crucial na determinação do investimento necessário para a implementação bem-sucedida de uma rede 5G eficiente pela Tmcel.

2.3. História e Evolução da Rede Móvel em Moçambique

Moçambique Celular (mCel), foi a primeira operadora de telefonia móvel em Moçambique. Fundada em Novembro de 1997, a mCel foi responsável pelo crescimento do serviço de telefonia móvel celular no nosso País.

Em 2003, foi fundada a Vodacom Moçambique, a segunda operadora móvel em Moçambique tendo como principal objectivo oferecer uma rede móvel de alta qualidade, fiável e através das novas tecnologias de comunicação.

No ano 2011, a Movitel, SA terceira operadora de telecomunicações móveis, começou a montar a sua infra-estrutura em todas as províncias, no início com o total de 12.500 quilómetros de extensão em fibra óptica e 1.800 antenas que suportassem serviços em 2G e 3G.

Em 2018, foi fundada a Moçambique Telecom, SA (TmCel), empresa do Estado que resultou da fusão das empresas Telecomunicações de Moçambique (TDM) e Moçambique Celular (Mcel).

2.3.1. Lançamento das tecnologias 3G e 4G em Moçambique

A tabela abaixo ilustra os anos de lançamento das tecnologias 3G e 4G nas diferentes operadoras de telefonia móvel em Moçambique.

Tabela 4: Lançamento das tecnologias 3G e 4G em Moçambique

Operadora	Tecnologia	
	3G	4G
TmCel	2009	2019
Vodacom	2010	2018
Movitel	2011	2019

Fonte: Bruno dos Santos (2024)

Actualmente o País conta com três operadoras de telefonia móvel, sendo a Vodacom e Movitel as principais concorrentes no fornecimento de serviços móveis (Dados e Voz), através das tecnologias 3G e 4G.

2.3.2. Lançamento da tecnologia 5G em Moçambique

Em Março de 2022, A Moçambique Telecom, SA. (Tmcel) procedeu ao pré-lançamento da tecnologia 5G, na sequência da modernização e expansão tecnológica em parceria com a Huawei, enquadrada no contexto da estratégia de desenvolvimento da Rede Nacional de Telecomunicações, (O País, 2022).

Em Abril de 2023 a Vodacom em parceria com a Nokia lançou oficialmente a tecnologia 5G visando melhorar o serviço de telecomunicações ao nível local, (O País, 2023).

2.4. Cobertura da Rede 5G em África e no Mundo

As redes de telecomunicações 5G começaram a chegar ao mercado mundial no final de 2018, quando empresas pioneiras de tecnologia e telecomunicações anunciaram as boas novas sobre a expansão desta nova tecnologia, (Bantumen 2021).

Quanto ao continente africano, na África do Sul a tecnologia já é uma realidade, enquanto testes e investimentos em infra-estruturas estão a ser feitos em países como Gana, Quênia, Nigéria, Egipto, Uganda, Cabo-Verde, Moçambique e Angola, (Bantumen, 2021).

Se tivermos em conta a lentidão que foi a expansão desta nova tecnologia resultante dos embargos e sanções aplicados pelos Estados Unidos à Huawei, consórcio chinês que tinha um avanço considerável sobre esta rede em relação às outras empresas de telecomunicações do mundo inteiro – o 5G está a se expandir muito rápido no continente africano, (Bantumen, 2021).

Várias operadoras lançaram as suas redes em 2020, como as empresas de telefonia MTN, Vodacom e a chinesa Huawei, que não foi banida pelo país, aliou-se à operadora local Rain. O auge da instalação das redes 5G na África do Sul foi motivado pelos três primeiros meses de quarentena em 2020, quando a utilização do tráfego móvel subiu 40 por centos nas estatísticas funcionando como luz verde para a Vodafone apostar forte nesta tecnologia e conectar a África do Sul, (Bantumen, 2021).

As redes 5G implantadas no mundo atingiram um total de 2.497 cidades em 92 países até abril de 2023, com os Estados Unidos liderando a cobertura, superando a China pela

primeira vez, segundo o novo relatório 'The State of 5G', elaborado pela VIAVI, (Convergência digital, 2023).

Segundo o estudo, o 5G chega actualmente a 92 países, incluindo 47 das 70 maiores economias do mundo. Além disso, estima-se que outros 23 países tenham testes pré-comerciais de 5G em andamento e 32 países anunciaram suas intenções de implantação, deixando apenas 48 países ainda sem planos para 5G, (Convergência digital, 2023).

Em 2022, 18 países anunciaram as primeiras implantações de 5G, incluindo duas das maiores economias em desenvolvimento, Índia e México, além de outras economias emergentes, como Angola, Etiópia e Guatemala, (Convergência digital, 2023).

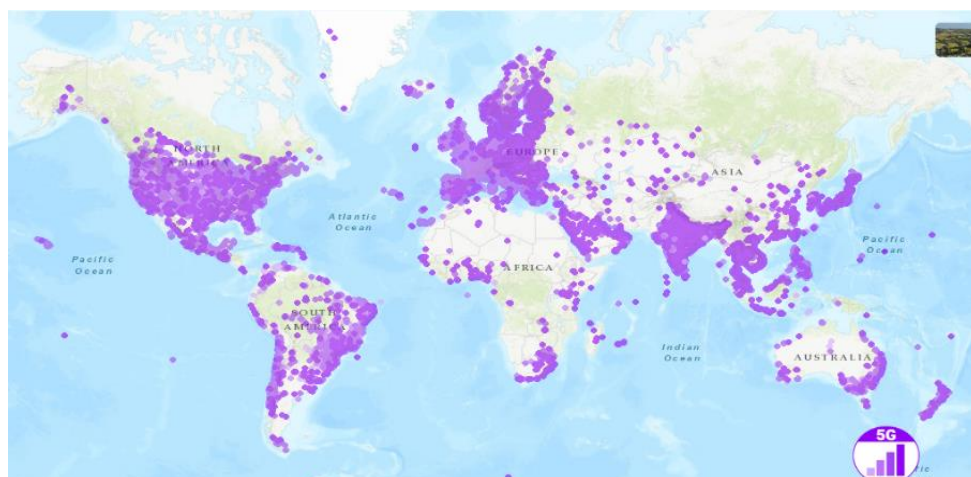
Sobre o avanço do 5G Standalone (SA), a VIAVI Solutions (líder global em testes e medição de comunicações e tecnologias ópticas) aponta que 45 operadoras em 23 países implantaram redes 5G SA, um avanço considerável em relação às 24 redes contabilizadas até Janeiro de 2022. “As redes 5G SA oferecem uma gama mais ampla de casos de uso e modelos de monetização em comparação com redes não autónomas (NSA), que são relativamente limitadas em suas aplicações além da banda larga móvel aprimorada (eMBB)”, diz o estudo, (Convergência digital, 2023).

Em relação ao escopo de cobertura, os Estados Unidos alcançaram a liderança pela primeira vez em número de cidades 5G, desbancando a China. Os Estados Unidos registraram 503 cidades com 5G, em comparação com 297 redes em Maio de 2022, um aumento de 69 por cento. Por outro lado, o número de cidades 5G na China permaneceu estático em 356 desde a actualização de Junho de 2021, (Convergência digital, 2023).

Além do uso do 5G no eMBB para o mercado consumidor, espera-se que os recursos do 5G o tornem uma nova ferramenta para aumentar a produtividade em vários sectores. De acordo com o estudo, o sector manufactureiro se tornou o líder indiscutível das redes privadas 5G globalmente, com 44% das implantações anunciadas publicamente, seguido por logística, educação, transporte, desporto, serviços públicos e mineração, (Convergência digital, 2023).

Essa tendência parece sugerir claro pragmatismo em como o mundo dos negócios está abordando o 5G privado, com organizações com os maiores pontos problemáticos de conectividade e as maiores oportunidades para aplicativos inteligentes emergindo naturalmente como queridinhos do 5G privado, (Convergência digital, 2023).

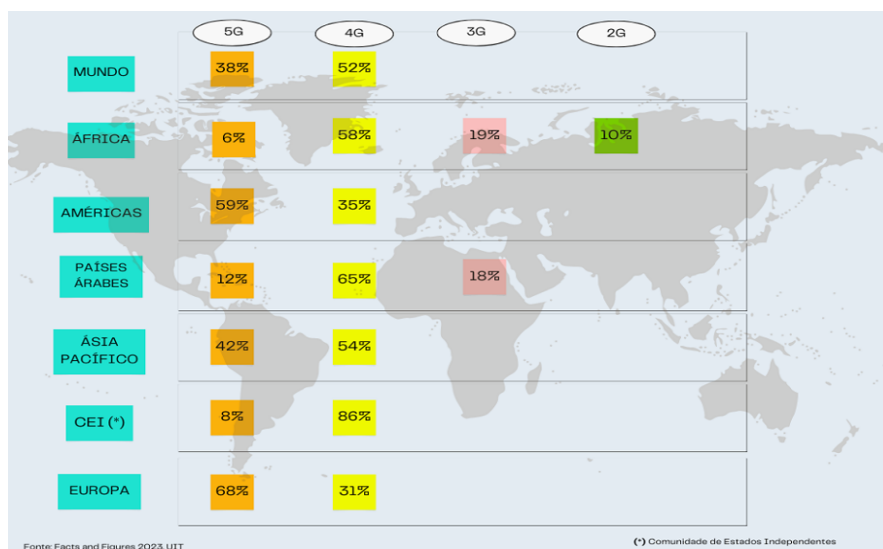
Figura 18: Mapa de cobertura da rede 5G em todo mundo



Fonte: Disponível em <https://www.nperf.com/pt/map/5g>

A edição Factos e Números de 2023, da União Internacional das Telecomunicações, introduz pela primeira vez os indicadores sobre a cobertura global das redes móveis de última geração. Os novos dados mostram que, a nível mundial, o 5G cresceu 38%, mas também evidenciam o fosso digital entre os países desenvolvidos, com a cobertura a atingir os 89% da população, e os países menos desenvolvidos, onde o serviço é praticamente inexistente, (Portal 5G, 2023).

Figura 19: Cobertura populacional por tipo de rede móvel



Fonte: Facts and figures, 2023 UIT, Disponível em: <https://portal5g.pt/noticias/relatorio-uit-quase-40-do-mundo-tem-agora-cobertura-5g/>

2.5. Factores que Influenciaram na Expansão e Aceitação da Rede 5G

O desenvolvimento das redes de internet 5G ainda causa alguns questionamentos em relação aos riscos que representam a saúde. Desmitificar esses boatos requer alguma pesquisa.

Por conta de uma teoria da conspiração que correlacionava redes 5G com a disseminação do coronavírus, o Reino Unido registrou estragos em várias infra-estruturas das operadoras Vodafone, EE e BT, mais de 50 antenas foram vandalizadas. O boato disseminado nas redes sociais afirmava que países onde não há a tecnologia 5G não registram casos significativos da doença, o que é falso. Vários países que não ofereciam o serviço, também registraram casos de Covid-19, (Extra, 2020).

Segundo a EE, 22 antenas da empresa foram vandalizadas. Segundo a EE, a maioria das torres nem ao menos suportava a tecnologia 5G. O CEO da Vodafone, Nick Jeffrey, disse em um post no LinkedIn que 20 mastros foram danificados, incluindo aqueles que fornecem conectividade a um hospital em Birmingham. O CEO da BT, Philip Jansen, disse que 11 torres foram destruídas ou danificadas por incêndio criminoso, e 39 engenheiros foram abusados verbalmente ou agredidos fisicamente, (Extra, 2020).

O infectologista Leonardo Weissmann, consultor da Sociedade Brasileira de Infectologia, afirmou que "é uma ideia absurda afirmar que as ondas de rádio 5G aumentavam a propagação do vírus causador da Covid-19" e é uma grande bobagem afirmar que causa danos no sistema imunológico das pessoas", (Extra, 2020).

Em 2014, um estudo da Organização Mundial da Saúde (OMS) junto à Agência Internacional de Pesquisa Sobre o Câncer (IARC, na sigla em inglês) classificou a radiação de radiofrequência tão prejudicial para a manifestação de células cancerígenas no organismo como comer legumes em conserva ou usar pó talco, (Exame, 2020).

Embora a palavra "radiação" assuste, é preciso diferenciar entre radiação ionizante e não ionizante. A primeira possui alta energia e necessita de cuidados especiais (como os equipamentos que usamos para fazer um raio-X, por exemplo). A segunda tem energia baixa e está presente na luz, no calor e nas ondas do rádio. É essa que é emitida pelas antenas do 5G. A quantidade emitida pelo 5G está bem abaixo dos padrões estabelecidos pelo ICNIRP, sigla em inglês para Comissão Internacional de Protecção contra a Radiação Não Ionizante. Esse é o órgão que determina os limites de exposição humana aos campos electromagnéticos usados por aparelhos como telefones celulares.

Figura 20: Infra-estrutura vandalizada em Huddersfield, norte da Inglaterra



Fonte: OLI SCARFF/AFP, disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/celular-e-tecnologia/mais-de-50-torres-de-telefoniasao-vandalizadas-no-reino-unido-por-conta-de-teoria-da-conspiracao-sobre-coronavirus-rv1-1-24377854.html>

Há também vários relatos que associam os disfarces das antenas de telefonia móvel em vários países à rede 5G, como forma de evitar a sua vandalização, mas na verdade trata-se de antenas que fornecem a conectividade 4G LTE, a camuflagem é meramente estética, para minimizar o impacto visual no meio onde estão instaladas.

Figura 21: Antenas disfarçadas 4G LTE instaladas nos EUA e Brasil



Fonte Disponível em, <https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/entenda-por-que-antenas-de-telefoniasao-sendo-camufladas-de-coqueiro-0823>

A ideia do disfarce das antenas 5G, é mero desconhecimento, porque na verdade alguns aspectos técnicos limitam essa prática. Os sinais de radio 5G para pequenas células operam em

uma frequência de ondas milimétricas, mas alta que o 4G tornando-os mais facilmente bloqueados por objectos de certos materiais.

Por conta desses factores e vários outros acontecimentos, falta de informação e algumas teorias da conspiração, retardam a expansão da tecnologia 5G ao redor do mundo.

CAPÍTULO III

3. Método

O tema abordado nesse trabalho ainda não foi muito difundido, pois é uma tecnologia ainda em implementação e expansão ao redor do mundo. Diante disso, o presente trabalho foi desenvolvido baseando na investigação bibliográfica em fontes já tornadas públicas com relação ao tema de estudo como livros, artigos científicos, monografias e teses, informações nacionais e estrangeiras extraídas em fontes como jornais e websites relacionados com o tema, que resultou na revisão da literatura.

3.1. Tipo de Investigação

O presente trabalho optou por uma abordagem mista que combinou pesquisa exploratória e descritiva.

Pesquisa Exploratória: Este tipo de pesquisa foi adequado porque o tema da implementação da tecnologia 5G em Moçambique pode ser relativamente novo e pouco explorado, especialmente com um foco específico na operadora TMCEL na Cidade de Tete. A pesquisa exploratória permitiu explorar os desafios, identificar factores relevantes e desenvolver uma compreensão mais profunda do assunto.

Pesquisa Descritiva: Uma vez que foram explorados os desafios e os factores relevantes, uma abordagem descritiva ajudou a descrever com precisão a situação actual da implementação da tecnologia 5G em Moçambique, especialmente na cidade de Tete. Isso envolveu a colecta de dados para descrever a infra-estrutura existente, os obstáculos enfrentados pela TMCEL e outros factores relevantes para a implementação do 5G.

3.2. Natureza da pesquisa

A natureza da pesquisa é aplicada, exploratória, com foco em estudo de caso e análise comparativa, visando oferecer percepções práticas e recomendações aplicáveis para facilitar a implementação bem-sucedida da tecnologia 5G em Moçambique, com ênfase na operadora Tmacel na Cidade de Tete.

Aplicada: A pesquisa tem uma aplicação prática directa, pois busca entender os desafios específicos enfrentados na implementação da tecnologia 5G em Moçambique, com foco na operadora Tmcel. O objectivo final é fornecer recomendações que possam ajudar na superação desses desafios e facilitar a adopção bem-sucedida do 5G no país, em particular na Cidade de Tete.

Exploratória: A pesquisa explora uma área relativamente nova e dinâmica, a implementação da tecnologia 5G, tanto em um contexto global quanto específico de Moçambique. Isso envolve a investigação de desafios técnicos, regulatórios, económicos e sociais que surgem com a introdução dessa tecnologia avançada em um novo ambiente.

Estudo de caso: Uma parte significativa da pesquisa envolve um estudo de caso detalhado da operadora Tmcel. Isso inclui a análise de sua infra-estrutura existente, estratégias de implementação do 5G, desafios esperados e estratégias adoptadas para superá-los. O estudo de caso oferece detalhes específicos sobre como as organizações estão lidando com a transição para o 5G em Moçambique.

Análise comparativa: A pesquisa também envolve a comparação da situação em Moçambique com outros países que já estão implementando o 5G. Isso permite uma compreensão mais ampla dos desafios e oportunidades específicos que Moçambique enfrenta em relação a outras nações, e pode fornecer experiências valiosas sobre estratégias eficazes de implementação.

3.3. População e Amostra

População: A população-alvo incluiu funcionários da Tmcel, da autoridade reguladora das comunicações e usuários de serviços de telecomunicações em Tete.

Amostra: A amostra foi composta por uma selecção representativa de gestores e técnicos da Tmcel, gestor da autoridade reguladora das comunicações em Tete e usuários de serviços de telefonia móvel em Tete.

3.4. Instrumentos

A colecta de dados baseou-se na realização de entrevistas e elaboração de questionários.

Entrevistas: Realização de entrevistas com potenciais usuários de serviços 5G em Tete.

O tipo de entrevistas utilizada no trabalho não foi estruturada, não se elaborou previamente um roteiro das questões a colocar aos entrevistados, foram questões aleatórias e abertas com objectivo de avaliar o nível de conhecimento e de aceitação desta nova tecnologia por parte da população da Cidade de Tete com foco nos clientes da TmCel.

Questionários: Elaboração de questionários para colectar dados quantitativos sobre as percepções do regulador, gestores e técnicos da Tmcel para perceber estado actual dos serviços de telecomunicações e os possíveis desafios técnicos na implantação do 5G.

3.5. Procedimento

A pesquisa seguiu os seguintes procedimentos:

Planejamento: Definição dos objectivos e elaboração dos instrumentos de colecta de dados.

Colecta de dados: Realização de entrevistas, distribuição de questionários e colecta de informações relevantes.

Análise de dados: Transcrição e análise dos dados colectados.

Elaboração da monografia: Documentação dos resultados da pesquisa, incluindo análise, conclusões e recomendações.

3.6. Características metódicas da presente pesquisa

A pesquisa combinou métodos qualitativos, como entrevistas e análise documental, com métodos quantitativos, como questionários, para obter uma compreensão abrangente dos desafios enfrentados pela Tmcel na implementação da tecnologia 5G em Tete.

Triangulação de Dados: Os dados foram colectados de múltiplas fontes e por meio de diferentes métodos para garantir a validade e confiabilidade dos resultados.

Participação dos intervenientes no processo: A pesquisa buscou envolver activamente os principais intervenientes, como funcionários da Tmcel e autoridade reguladora das Comunicações, para garantir que suas perspectivas e experiências sejam consideradas na análise e formulação de recomendações.

CAPÍTULO IV

4. Apresentação dos Dados Recolhidos

Para compreender as actuais dificuldades e desafios da rede da operadora TmCel na Cidade de Tete, realizou-se um inquérito abrangente que envolveu tanto a TmCel como operadora quanto o INCM como entidade reguladora. Adicionalmente, entrevistou-se cidadãos locais, potenciais utilizadores dos serviços de telecomunicações. A análise das questões abordadas nas entrevistas e nos questionários, dirigidos aos técnicos e gestores dessas entidades, juntamente com suas respostas, desempenharam um papel crucial nas conclusões deste estudo, assim como para a formulação de propostas de solução.

Tabela 5: Participantes do Inquérito

Categoria	Participantes	Número de Participantes	Observações
Gestores	INCM	1	
	Tmcel	2	
Técnicos	Tmcel	2	
Usuários	População de Tete	15	8 Homens e 7 Mulheres

Fonte: Bruno dos Santos (2024)

Apresentação das Perguntas e Respostas do Inquérito

A seguir, apresenta-se resumidamente as perguntas mais relevantes abordadas nas entrevistas, nos questionários que constam no apêndice do presente trabalho, juntamente com as respostas fornecidas. Em alguns casos, perguntas semelhantes foram feitas a diferentes entidades:

Papel da Tmcel na adoção tecnológica no sector de telecomunicações:

P: Como enxerga o papel da Tmcel na adoção tecnológica no sector de telecomunicações?

R: A Tmcel é a pioneira na rede celular em Moçambique. Apesar dos constrangimentos financeiros, está a renovar a sua rede.

Desafios para a implantação do 5G:

P: Quais são os desafios para implantação da rede 5G?

R: Elevado custo de licenciamento do espectro radioelétrico.

R: Treinamento do pessoal técnico.

R: Custo na implementação, visto que requer novos equipamentos.

Desafios na implementação do 5G em Moçambique por parte do regulador:

P: Sabe-se que a maioria das operadoras de telefonia móvel no mundo está a apostar na implementação de rede 5G. Quais são os desafios na sua implantação em Moçambique por parte do regulador?

R: Exiguidade do espectro radioelétrico

Faixas de frequência aprovadas para o 5G em Moçambique:

P: Quais são as faixas de frequência aprovadas para este serviço em Moçambique?

R: Foram propostas as faixas de 700MHz a 800MHz e 2.5GHz a 3.6GHz.

Desafios financeiros específicos na adopção do 5G em Tete:

P: Quais são os desafios financeiros específicos enfrentados pela Tmcel na adopção do 5G em Tete?

R: Engenharia financeira para encontrar parcerias.

Impacto desses desafios nas operações da Tmcel:

P: Como acha, que esses desafios podem afectar as operações da Tmcel?

R: Não acho que esses desafios podem afectar as operações.

P: A Tmcel está preparada para lidar com os desafios associados à implementação do 5G? Por quê?

R: Sim, a Tmcel reúne condições para implementação do 5G.

Uso da infra-estrutura existente para acomodar o 5G:

P: A implementação de rede 5G requer uma arquitectura específica de rede. Como a Tmcel pretende usar a infra-estrutura existente para acomodar o 5G?

R: Operar em simultâneo com outras tecnologias.

Estado actual da rede 4G na cidade de Tete:

P: Qual é o estado actual da rede 4G na província de Tete em particular na cidade de Tete, em termos de cobertura?

R: Resposta: Cobre toda a cidade de Tete.

R: A rede é estável, mas a qualidade do sinal varia em diferentes zonas.

Impacto esperado do 5G nos utentes e no sector industrial:

P: O que pode se esperar como impacto do uso da rede 5G para os utentes, no volume de negócios e na dinâmica do sector industrial?

R: Grandes melhorias da taxa de transferências de dados.

Expectativa de aceitação do 5G pela população:

P: Qual é a sua expectativa em relação à aceitação da tecnologia 5G por parte da população, em particular os clientes da Tmcel?

R: Maior.

P: A implementação do 5G é crucial para o desenvolvimento das telecomunicações em Moçambique?

R: Sim, pois a implementação desta tecnologia irá trazer muitos avanços para alavancar a rede.

Impacto social e económico do 5G em Moçambique:

P: Você já ouviu falar sobre a tecnologia 5G? Se sim, o que você sabe sobre ela?

R: Já ouvi falar que é uma tecnologia mais rápida e eficiente que o 4G, permitindo melhor qualidade de conexão.

R: Com uso do 5G espera-se melhorar os serviços de dados e velocidade na sua transmissão.

R: Pode melhorar a comunicação, facilitar o acesso à informação e serviços online, e criar novas oportunidades de negócio.

R: Pode atrair investimentos, melhorar a infra-estrutura tecnológica, aumentar a produtividade e proporcionar novas oportunidades de emprego e educação.

P: Quais benefícios você espera que a tecnologia 5G traga para o seu uso diário de telefonia móvel?

R: Espero uma internet mais rápida e estável, melhor qualidade de vídeo e chamadas e maior eficiência nos aplicativos.

P: Você tem alguma preocupação em relação à segurança ou privacidade com o uso do 5G?

R: Sim, tenho preocupações sobre a segurança dos dados e possíveis vulnerabilidades que possam surgir.

As respostas foram combinadas para oferecer uma visão abrangente dos desafios e expectativas em relação à implementação do 5G, abaixo, apresento dados colhidos através das respostas das questões mais relevantes abordadas no inquérito:

Custo elevado de licenciamento do espectro radioelétrico:

Conforme gestores da Tmcel, o custo elevado do licenciamento do espectro é um desafio significativo. Como mencionado por Smith (2020), "o licenciamento do espectro é frequentemente um dos maiores custos associados à implementação de novas tecnologias de telecomunicações, o que pode representar um obstáculo significativo para operadoras, especialmente em mercados emergentes."

Adaptação da infra-estrutura existente para o 5G:

Os gestores apontam que adaptar a infra-estrutura actual, como o método de reutilização de partes da rede 4G para suportar o 5G, é crucial para uma transição suave. Isso é consistente com as estratégias recomendadas por Johnson (2019), que enfatiza a importância da optimização de recursos existentes na migração para o 5G.

Faixas de frequência:

De acordo com o gestor do INCM as faixas de frequência propostas para o 5G em Moçambique incluem as faixas de 700MHz a 800MHz e 2.5GHz a 3.6GHz. Estas faixas de

frequência são adequadas para a implementação do 5G, proporcionando um equilíbrio entre cobertura e capacidade. Sauter (2020) afirma que "as faixas de frequência em FR1 e FR2 são fundamentais para alcançar os objectivos de cobertura ampla e alta capacidade de dados do 5G."

Impacto social e económico da implementação do 5G:

Há uma expectativa positiva de que a implementação do 5G beneficiará tanto o sector industrial quanto os consumidores finais, promovendo maior dinamismo económico e social. Isso alinha-se com as previsões de impacto económico positivo discutidas por Lee (2021), que destaca o potencial do 5G para impulsionar o crescimento económico através de novas aplicações e serviços.

Preparação para lidar com desafios do 5G:

Os técnicos da Tmcel expressaram confiança na preparação da empresa para lidar com os desafios técnicos e operacionais associados à implementação do 5G. Isso é essencial para garantir uma transição sem problemas e maximizar os benefícios da nova tecnologia.

Capacitação técnica e treinamento:

Os técnicos da Tmcel sugerem que seja intensificado o treinamento técnico para todos os envolvidos na implementação do 5G. Isso reflecte a importância de investir em capital humano, conforme discutido por Chen (2018), que destaca que "a capacitação contínua dos funcionários é fundamental para o sucesso da adopção de novas tecnologias."

Expectativas da população:

A sociedade tem grande expectativa quanto aos benefícios que o 5G pode trazer. Esperam que a tecnologia melhore a qualidade dos serviços de telecomunicação, proporcionando uma cobertura mais ampla e serviços mais rápidos e eficientes.

CAPÍTULO V

5. Análise de Dados e Resultados

5.1. Constatações Resultantes do Inquérito

Com base no inquérito mencionado no capítulo anterior, constatou-se que a implementação da tecnologia 5G em Moçambique, especificamente na Cidade de Tete, é altamente relevante. Os múltiplos benefícios incluem o aumento do volume de negócios, a melhoria na qualidade dos serviços e um maior raio de cobertura. Tanto gestores quanto técnicos da Tmcel, bem como a população entrevistada, têm expectativas positivas em relação à implementação do 5G.

No entanto, um dos principais desafios destacados é o custo significativo para a aquisição e instalação de novos equipamentos. O custo elevado do licenciamento do espectro radioelétrico também é visto como um obstáculo importante. Além disso, existe uma necessidade clara de treinamento e capacitação do pessoal técnico para lidar com a nova tecnologia, sendo a preparação adequada dos técnicos essencial para garantir uma transição suave e eficaz.

A rede 4G actualmente em uso, cobre a cidade de Tete, mas enfrenta problemas de lentidão e instabilidade, especialmente durante horários de pico. A transição para o 5G é vista como uma solução para esses problemas, proporcionando maior estabilidade e velocidade. O 5G é esperado para melhorar significativamente a experiência do usuário, oferecendo internet mais rápida e estável, melhor qualidade de vídeo e chamadas, e maior eficiência nos aplicativos. Além disso, a implementação do 5G também deve ter um impacto positivo no desenvolvimento económico e social, criando novas oportunidades de negócios e melhorando a comunicação.

A adaptação da infra-estrutura existente para suportar a nova tecnologia é vista como crucial. As faixas de frequência propostas são consideradas adequadas para a implementação do 5G, proporcionando um equilíbrio entre cobertura e capacidade. Há, contudo, preocupações sobre a segurança dos dados e possíveis vulnerabilidades associadas ao 5G, tornando as políticas eficazes de segurança e privacidade essenciais para mitigar esses riscos e garantir a confiança dos usuários.

A maioria dos entrevistados demonstrou disposição para migrar para planos de 5G, destacando a importância de serviços com preços acessíveis, velocidade e maior cobertura. A

implementação do 5G é vista como uma oportunidade para atrair investimentos, melhorar a infra-estrutura tecnológica, aumentar a produtividade e proporcionar novas oportunidades de emprego e educação na Cidade de Tete.

Essas constatações destacam a importância e o potencial impacto positivo da implementação do 5G em Tete, ao mesmo tempo que apontam os desafios e considerações necessárias para uma implementação bem-sucedida.

5.2. Proposta de Soluções

Diante da pesquisa e das análises sobre o presente estudo, combinadas com os resultados encorajadores do inquérito, verifica-se ser imprescindível a implementação da rede 5G em Tete, na rede móvel Tmcel. Portanto, propõe-se, considerar os seguintes passos:

Definir a arquitectura da rede 5G:

- Escolher a arquitectura a ser adoptada para implementar a tecnologia 5G, considerando a viabilidade técnica e económica;
- Avaliar diferentes modelos de implantação, como Non-Standalone (NSA) e Standalone (SA), para determinar qual se adapta melhor às necessidades e recursos da Tmcel.

Avaliar a infra-estrutura actual:

- Analisar a rede actualmente em funcionamento na Tmcel e estudar as alterações necessárias para possibilitar a coabitação e conectividade com a rede 5G.

Análise do parque industrial e demografia:

- Avaliar o parque industrial, a densidade populacional e o crescimento demográfico da área que será abrangida pela nova rede;
- Realizar estudos de mercado para entender melhor as demandas e expectativas dos usuários finais em diferentes áreas de Tete.

Identificação de equipamentos e locais para instalação:

- Com base na avaliação anterior, identificar o tipo de equipamento necessário, como antenas, transceptores e servidores;

- Determinar os locais adequados para instalação das antenas, definindo os ganhos dessas antenas e as faixas de frequências de operação da rede junto à entidade reguladora;
- Garantir a conformidade com os regulamentos locais e internacionais sobre a instalação e operação de redes 5G.

Treinamento e capacitação do pessoal técnico:

- Engajar-se no treinamento intensivo do pessoal técnico sobre a tecnologia de redes 5G, cobrindo aspectos teóricos e práticos;
- Desenvolver um plano contínuo de capacitação para acompanhar as evoluções tecnológicas e manter a equipe sempre actualizada.

Considerar a implementação gradual:

- Planejar uma implementação gradual da rede 5G, começando por áreas estratégicas com alta demanda e potencial de retorno do investimento;
- Expandir gradualmente para outras áreas, aprendendo com as etapas iniciais e aplicando melhorias contínuas.

CAPÍTULO VI

6. Conclusões e Recomendações

6.1. Conclusões

A implementação da tecnologia 5G pela operadora TmCel em Moçambique em particular na Cidade de Tete, apresenta uma série de desafios e oportunidades significativas. Este estudo analisou esses desafios, destacando tanto as limitações actuais quanto os potenciais benefícios da nova tecnologia. Comparando as tecnologias 4G e 5G, ficou evidente que o 5G oferece avanços notáveis em velocidade, latência e capacidade de conexão, factores cruciais para suportar a evolução de aplicações modernas como inteligência artificial e automação industrial.

A caracterização dos aspectos técnicos do 5G demonstrou que esta tecnologia foi projectada para atender à crescente demanda por conectividade robusta, oferecendo uma infra-estrutura capaz de suportar um grande número de dispositivos simultaneamente e proporcionando baixa latência. A avaliação da infra-estrutura actual da TmCel em Tete revelou a necessidade de melhorias significativas para que a rede suporte eficientemente a tecnologia 5G, já que a infra-estrutura existente foi projectada para as demandas do 3G e 4G.

Os pontos fortes do 5G e as faixas de frequência que serão utilizadas em Moçambique foram analisados, destacando a capacidade dessa tecnologia de oferecer uma largura de banda significativamente maior. Isso se traduz em melhores velocidades de conexão e maior capacidade de atender a múltiplos usuários simultaneamente. Além disso, a TmCel está ciente das questões de segurança e privacidade de dados associadas ao 5G e está desenvolvendo estratégias para mitigar esses riscos.

A análise mostrou que a implantação do 5G pela TmCel em Tete terá um impacto significativo no desenvolvimento económico local. A melhoria na conectividade proporcionada pelo 5G poderá impulsionar o crescimento de negócios e serviços modernos, transformando a economia local. Adicionalmente, a implementação do 5G tem o potencial de reduzir a desigualdade digital, oferecendo acesso mais amplo e de melhor qualidade à internet, o que pode melhorar a qualidade de vida da população de Tete.

A transição para o 5G é vista como uma solução promissora para superar as limitações das tecnologias actuais, como a alta latência e a incapacidade de suportar novos paradigmas de conectividade. A tecnologia 5G, com sua baixa latência, alta capacidade de conexão e suporte a uma ampla gama de aplicações, posicionará Moçambique para atender às exigências tecnológicas do futuro. A implementação do 5G pela TmCel em Tete não só melhorará a conectividade e a qualidade de vida da população, mas também promoverá avanços significativos nas telecomunicações, contribuindo para o desenvolvimento económico e social do país.

6.2. Recomendações

Para garantir o sucesso da transição para a tecnologia 5G, recomenda-se:

1. Investimento na Infra-estrutura: A Tmcel deve investir significativamente na modernização e expansão da infra-estrutura existente. Este investimento é essencial para assegurar uma cobertura ampla e a qualidade do serviço;

2. Parcerias Estratégicas: A Tmcel deve estabelecer parcerias estratégicas com fornecedores de tecnologia. A colaboração com diversas partes interessadas pode acelerar o processo de implementação da tecnologia 5G;

3. Capacitação de Recursos Humanos: A Tmcel deve implementar programas de capacitação e treinamento para seus funcionários, preparando-os para operar e manter a nova tecnologia;

4. Ambiente Regulatório Favorável: A autoridade reguladora do sector deve desenvolver políticas e criar um ambiente regulatório que facilite a implantação do 5G, incluindo a atribuição de espectro de frequências adequado para essa tecnologia;

5. Soluções Locais: A Tmcel deve focar em soluções locais que atendam às necessidades específicas da Cidade de Tete. O desenvolvimento de aplicações de 5G em sectores como agricultura, mineração, saúde e educação pode maximizar os benefícios económicos e sociais para a comunidade local;

6. Inclusão Digital e Sustentabilidade: A Tmcel deve integrar a inclusão digital na estratégia de implementação do 5G, garantindo que as áreas rurais também tenham acesso à nova tecnologia. Além disso, deve observar práticas sustentáveis para minimizar o impacto ambiental da nova infra-estrutura;

7. Cibersegurança: A cibersegurança é um aspecto crucial que não pode ser negligenciado. A Tmcel deve desenvolver e implementar uma estratégia abrangente de cibersegurança para proteger a rede 5G contra ameaças cibernéticas. Isso inclui a adopção de tecnologias avançadas de criptografia, autenticação de múltiplos factores e a criação de protocolos de resposta rápida a incidentes de segurança. Proteger dados sensíveis e garantir a privacidade dos usuários são fundamentais para manter a confiança na nova rede.

A implementação bem-sucedida da rede 5G em Moçambique, em particular na Tmcel, requer uma combinação de medidas de segurança cibernética, investimentos em infra-estrutura, colaboração com as partes interessadas e uma abordagem proactiva de regulamentação. Seguir essas recomendações irá garantir que a transição para o 5G traga benefícios económicos e sociais significativos.

Referências Bibliográficas

INTEL, 2021. Saiba mais sobre Multiple-Input Multiple-Output. Disponível em: <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/support/articles/000005714/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2024.

VIAVI SOLUTIONS, 2021. Arquitectura do 5G. Disponível em: <https://www.viavisolutions.com/pt-br/o-que-e-arquitetura-5g>. Acesso em: 27 de Janeiro de 2024;

WAHER, Peter. Learning Internet of Things Paperback. Packt Publishing Ltd. Birmingham Mumbai, 2015;

SILVA, Itala Liz da Conceição Santana. Do 1g ao 5g: evolução das Redes de telefonia móvel. TCC (Monografia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB – Centro de Ciências Exactas e Tecnológicas – CETEC – BCET, 2016;

SVERZUT, José Umberto. Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Terceira Geração (3G). 1.ed. São Paulo: Erika, 2005;

TELECO, 2009. Redes 3G e Evolução para as Redes 4G. Disponível em <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialev4g/default.asp>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2024;

EXAME, 2020. 5G faz mal à saúde? Entenda os riscos e os rumores da tecnologia. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/5g-faz-mal-a-saude-entenda-os-riscos-da-tecnologia>. Acesso em: 23 de Janeiro de 2024;

SANCHOTENE, Tiago. Consumo de energia em rede de dados móveis M2M: Estudo e testes com hardware simcom sim7000g. TCC (Monografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2023;

NGMN, 2015. 5G White Paper. Frankfurt: Next Generation Mobile Network. Disponível em: <https://www.ngmn.org/work-programme/5g-white-paper.html>. Acesso em: 17 de Fevereiro de 2024;

ITU, 2015. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Disponível em: <https://www.ngmn.org/work-programme/5g-white-paper.html>. Acesso em: 18 de Fevereiro de 2024;

5G – The high-speed mobile network of the future (2018). Disponível em, <https://www.eetasia.com/5g-the-high-speed-mobile-network-of-the-future>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2024;

INCM, 2024. Disponível em: <https://www.incm.gov.mz>. Acesso em: 03 de Fevereiro de 2024;

TMCEL, 2024. Disponível em: <https://www.tmccl.mz>. Acesso em: 03 de Fevereiro de 2024;

FARIAS, Guilherme Francisco de. 5g – Redes de comunicações móveis de quinta geração: Evolução, tecnologia, aplicações e mercado. TCC (Monografia) – Universidade do Sul de Santa Catarina, 2019;

ANATEL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2024;

VINHAL, Matheus Padilha. Evolução Da Telefonia Móvel Celular, Cumprimento de Leis E Análise de Modelos de propagação. TCC (Monografia) Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas, 2020.

OLIVEIRA, Jhulia Maria Nogueira Rodrigues de. Utilização da tecnologia 5G nos avanços das redes eléctricas inteligentes. TCC (Monografia) – Universidade Estadual Paulista, FEC - Faculdade de Engenharia e Ciências, 2022;

MÁRIO CAMPOLARGO, OVIDIU VERMESAN, 5G Mobile and Wireless Communications Technology, River Publishers, 2017;

O PAIS, 2023. Vodacom lança rede móvel 5G. Disponível em: <https://opais.co.mz/vodacom-lanca-rede-movel-5g/>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2024;

MARTIN SAUTER, From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband, John Wiley & Sons, 2017;

TELECO, 2022. Evolução da Telefonia Móvel: 1G ao 5G: Tecnologias de Celular. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2024;

LOPES, Gonçalo Alexandre. Composição de um sistema móvel celular. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/goncalo/compos.htm>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2024;

O PAIS, 2022. Tecnologia 5G: Moçambique é o terceiro país africano com a tecnologia 5G. Disponível em: <https://opais.co.mz/tag/tecnologia-5g>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2024;

BANTUMEN, 2021. 5G em África já é uma realidade e com uma expansão vertiginosa. Disponível em: <https://bantumen.com/afrika-5g>. Acesso em: 09 de Fevereiro de 2024;

MOREIRA, Martha Miranda. 5G – Evolução, MIMO massivo, beamforming e formas de onda. TCC (Monografia) – Universidade Federal Fluminense, 2018;

QUARTZ, 2022. Quais países em África já possuem 5G? Disponível em: <https://qz.com/afrika/2168658/which-countries-have-rolled-out-5g-in-afrika>. Acesso em: 09 de Fevereiro de 2024;

SMITH, J. (2020). Licenciamento do espectro radioelétrico: impacto nos custos de implementação de tecnologias de telecomunicações. In: Conferência Internacional sobre Telecomunicações, 2020. IEEE.

JOHNSON, M. (2019). Estratégias de otimização de redes existentes na migração para o 5G. *Journal of Telecommunications Engineering*, vol. 15, ed. 2, pag.45-58;

HUAWEI CARRIER, 2024. Disponível em: https://carrier.huawei.com/en/?ic_medium=direct&ic_source=surlent. Acesso em: 17 de Fevereiro de 2024;

NOKIA 5G SOLUTIONS, 2024. Disponível em: <https://www.nokia.com/networks/5g/>. Acesso em: 17 de Fevereiro de 2024;

MATSUURA, Sérgio. EXTRA, 2019. O 5G causa câncer? Saiba o que dizem os especialistas. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/celular-e-tecnologia/o-5g-causa-cancer-saiba-que-dizem-os-especialistas-23430568.html>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2024;

BRAGA, Lucas; MARQUES, Ana. Tecnoblog, 2023. 5G SA vs 5G NSA: entenda as diferenças, vantagens e limitações de cada rede. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/diferencas-5g-standalone-sa-vs-nsa>. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2024;

PUPPIN, Luiz. Fiberx, 2023. O papel do SRv6 na implantação do 5G. Disponível em: <https://www.fiberx.com.br/post/papel-do-srv6naimplantacaodo5G?medium=null&source=null>. Acesso em: 03 de Fevereiro de 2024;

MOREIRA, Rômulo Diego. TechTudo, 2022. Entenda a diferença entre 5G SA, 5G NSA e 5G DSS Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2022/08/entenda-a-diferenca-entre-5g-sa-5g-nsa-e-5g-dss.ghtml>. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2024;

EXTRA, 2020. Mais de 50 torres de telefonia são vandalizadas no Reino Unido por conta de teoria da conspiração sobre coronavírus. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/celular-e-tecnologia/mais-de-50-torres-de-telefonia-sao-vandalizadas-no-reino-unido-por-conta-de-teoria-da-conspiracao-sobre-coronavirus-rv1-1-24377854.html>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2024;

PORTAL 5G, 2023. Relatório UIT. Quase 40% do mundo tem agora cobertura 5G. Disponível em: <https://portal5g.pt/noticias/relatorio-uit-quase-40-do-mundo-tem-agora-cobertura-5g>. Acesso em: 22 de Fevereiro de 2024;

ROSA, Larissa. INATEL, 2017. Aplicações do 5G em Internet das Coisas (IoT). Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/384954045/Aplicacoes-do-5G>. Acesso em: 23 de Fevereiro de 2024.

Lee, S. (2021). Impacto económico do 5G: oportunidades para o crescimento industrial e social. *International Journal of Economic Development*, vol. 25, ed. 3, pag.112-130;

CHEN, L. (2018). Capacitação contínua dos funcionários: chave para a adoção bem-sucedida de novas tecnologias. *Harvard Business Review*, vol. 96, ed. 4, pag.78-89;

SAUTER, M. (2020). Frequency bands for 5G NR: Frequency range 1 (FR1) and Frequency range 2 (FR2). In: *Practical Guide to 5G NR: Radio Access Technology and Physical Layer Design*. Wiley;

NPERF, 2024. Redes celulares 5G no mundo. Disponível em: <https://www.nperf.com/pt/map/5g>. Acesso em: 23 de Fevereiro de 2024;

WIKIPEDIA, 2024. 5G. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/5G> Acesso em: 23 de Janeiro de 2024;

ZAKI, M. A. *Fundamentals of Mobile and Pervasive Computing*. McGraw-Hill, 2013

CONVERGÊNCIA DIGITAL, 2023. 5G chega a 92 países, mas só 23 têm versão standalone. Disponível em: <https://www.convergenciadigital.com.br/Internet-Movel/5G-chega-a-92-paises%2C-mas-so-23-tem-versao-standalone-63055.html?UserActiveTemplate=mobile>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2024.

DIAS, K. L; Sadok, D. F.H. *Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 19, 2001, Florianópolis. Anais...Florianópolis: GTA: UFRJ, 2001

SILVA, João. Impactos da tecnologia 5G na sociedade e na economia. TechReview, 2024. Disponível em: <https://www.techreview.com.br/impactos-5g>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2024;

ZAKI, Yasir. Future Mobile Communications: LTE Optimization and Mobile Network Virtualization. Bremen: Springer, 2013;

RAPPAPORT, Theodore S.; Comunicação sem fio – Princípios e práticas; 2ª edição; Pearson do Brasil; 2009;

MDPI, 2024. A Flexible Infrastructure-Sharing 5G Network Architecture Based on Network Slicing and Roaming. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2078-2489/15/4/213>. Acesso em: 08 de Março de 2024.

Apêndices

Apêndice A: Questionário para Gestores do INCM

QUESTIONÁRIO PARA GESTOR DO INCM

Introdução

Obrigado por participar deste questionário. Este trabalho tem como objectivo analisar os desafios da Operadora Tmcel na implementação da tecnologia 5G na Cidade de Tete. Suas respostas são fundamentais para compreendermos melhor as questões relacionadas a esse processo. Todas as informações fornecidas serão tratadas de forma confidencial e somente para fins académicos.

Informações Pessoais:

Nome (opcional):

Cargo:

Tempo de serviço:

1. Sabe-se que a maioria das operadoras de telefonia móvel no mundo está a apostar na implementação de rede 5G. Quais são os desafios na sua implantação em Moçambique por parte do regulador?

R//.....
.....

2. Qual é o estágio actual da implementação da rede 5G nas operadoras de telefonia móvel em Moçambique?

R//.....
.....

3. Quais seriam os desafios por parte das próprias operadoras de telefonia móvel?

R//.....
.....

4. Como enxerga o papel da Tmcel na adopção tecnológica no sector de telecomunicações?

R//.....
.....

5. Quais são as faixas de frequência aprovadas para este serviço em Moçambique?

R//.....
.....

6. Na realidade moçambicana, o que pode se esperar como impacto do uso da rede 5G para os utentes, no volume de negócios e na dinâmica do sector industrial?

R//.....
.....

7. Quais as operadoras de telefonia móvel que já oferecem estes serviços em Moçambique, e em que cidades implantaram este tipo de rede?

R//.....
.....

8. Qual é a sua expectativa em relação à aceitação da tecnologia 5G por parte da População Moçambicana?

R//.....
.....

9. Possui alguma sugestão ou comentário adicional sobre a implementação da tecnologia 5G em Moçambique?

R//.....
.....

Considerações Finais:

Por favor, sinta-se à vontade para partilhar quaisquer informações adicionais que considere relevantes para entender os desafios na implementação da tecnologia 5G em Moçambique.

Agradeço pela sua participação e contribuição para este estudo.

Apêndice B: Questionário para Gestores da Tmcel

QUESTIONÁRIO PARA GESTORES DA TMCEL

Introdução

Obrigado por participar deste questionário. Este trabalho tem como objectivo analisar os desafios da Operadora Tmcel na implementação da tecnologia 5G na Cidade de Tete. Suas respostas são fundamentais para compreendermos melhor as questões relacionadas a esse processo. Todas as informações fornecidas serão tratadas de forma confidencial e somente para fins académicos.

Informações Pessoais:

Nome (opcional).....

Cargo:

Tempo de serviço:

1. Sabe-se que a Tmcel está usando actualmente a tecnologia 4G. Acha, que a rede está a responder a demanda do público-alvo?

R//.....
.....

2. Qual é o estado actual da rede 4G na província de Tete em particular na cidade de Tete, em termos de cobertura.

R//.....
.....
.....

3. Quais são as perspectivas no sentido de possíveis melhorias de serviços?

R//.....
.....
.....

4. De forma geral, as operadoras de telefonia móvel no mundo tendem a implementar a rede 5G como uma forma de responder a crescente demanda na satisfação ao cliente. Acha oportuno e viável para o caso da Tmcel?

R//.....
.....

5. Sendo o caso, quais são os desafios para implantação da rede 5G?

R//.....
.....
.....

6. A implementação de rede 5G requer uma arquitectura específica de rede. Como a Tmcel pretende usar a infra-estrutura existente para acomodar o 5G?

R//.....
.....
.....

7. O que pode se esperar como impacto do uso da rede 5G para os utentes, no volume de negócios e na dinâmica do sector industrial?

R//.....
.....
.....

8. Como a implementação do 5G afecta o orçamento da Tmcel?

R//.....
.....
.....

9. Quais são os desafios financeiros específicos enfrentados pela Tmcel na adopção do 5G em Tete?

R//.....
.....
.....

10. Qual é o impacto social esperado da implementação do 5G na Cidade de Tete?

R//.....
.....
.....

11. Qual é a percepção dos clientes da Tmcel em relação ao 5G?

R//.....
.....

12. Qual é a sua expectativa em relação à aceitação da tecnologia 5G por parte da população, em particular os clientes da Tmcel?

R//.....
.....

13. Como a implementação do 5G pode impactar social e economicamente Moçambique, na sua opinião?

R//.....
.....
.....

14. A Tmcel está adoptando medidas para mitigar possíveis impactos ambientais?

R//.....
.....
.....

15. Quais são as preocupações relacionadas à segurança e privacidade associadas à implementação do 5G?

R//.....
.....

16. A Tmcel tem políticas eficazes para lidar com essas preocupações?

R//.....
.....
.....

17. A Tmcel estabeleceu parcerias estratégicas para facilitar a implementação do 5G?

R//.....
.....

18. Como essas parcerias contribuem para superar os desafios?

R//.....
.....

19. Quais são as expectativas futuras da Tmcel em relação à expansão e aprimoramento do 5G em Moçambique?

R//.....
.....
.....

20. Como enxerga o papel da Tmcel na liderança da adoção tecnológica no sector de telecomunicações?

R//.....
.....
.....

21. Possui alguma sugestão ou comentário adicional sobre a implementação da tecnologia 5G na TMCEL e em Moçambique?

R//.....
.....
.....

Considerações Finais:

Por favor, sinta-se à vontade para compartilhar quaisquer informações adicionais que considere relevantes para entender os desafios da Tmcel na implementação da tecnologia 5G na Cidade de Tete.

Agradeço pela sua participação e contribuição para este estudo.

Apêndice C: Questionário para Técnicos da Tmcel

QUESTIONÁRIO PARA OS TÉCNICOS DA TMCEL

Introdução

Obrigado por participar deste questionário. Este trabalho tem como objectivo analisar os desafios da Operadora Tmcel na implementação da tecnologia 5G na Cidade de Tete. Suas respostas são fundamentais para compreendermos melhor as questões relacionadas a esse processo. Todas as informações fornecidas serão tratadas de forma confidencial e somente para fins académicos.

Informações Pessoais:

Nome (opcional):

Ocupação:

Tempo de serviço:

1. Conhecimento sobre Tecnologia 5G:

a) Em uma escala de 1 a 6, qual é o seu nível de conhecimento sobre a tecnologia 5G?

1-Pouco: 3-Normal: 6-Muito:

b) Você acredita que a implementação do 5G é crucial para o desenvolvimento das telecomunicações em Moçambique?

R//.....
.....
.....

c) Como pode impactar positivamente na Tmcel a implementação da tecnologia 5G?

R//.....
.....
.....

d) Quais são os principais benefícios que você enxerga na adoção da tecnologia 5G para os clientes da Tmcel?

R//.....
.....
.....

2. Desafios na Implementação:

a) Quais são os desafios que você identifica na implementação da tecnologia 5G em Moçambique?

R//.....
.....

b) Quais são os principais desafios técnicos enfrentados pela Tmcel na implementação do 5G na Cidade de Tete?

R//.....
.....
.....

c) Como acha, que esses desafios podem afectar as operações da Tmcel?

R//.....
.....

d) Há alguma limitação na infra-estrutura actual que impacta a implementação do 5G?

R//.....
.....
.....

3. Preparação e Capacitação:

a) Você acredita que a Tmcel está preparada para lidar com os desafios associados à implementação da tecnologia 5G? Por quê?

R//.....
.....
.....

b) O que acha, que poderia ser feito para melhorar a preparação e capacitação da Tmcel nesse contexto?

R//.....
.....
.....

4. Sugestões e Comentários Adicionais:

a) Possui alguma sugestão ou comentário adicional sobre a implementação da tecnologia 5G na Tmcel e em Moçambique?

R//.....
.....
.....

Considerações Finais:

Por favor, sinta-se à vontade para compartilhar quaisquer informações adicionais que considere relevantes para entender os desafios da Tmcel na implementação da tecnologia 5G na Cidade de Tete.

Agradeço pela sua participação e contribuição para este estudo.

Anexos

Anexo I: Protocolos das cartas submetidas ao INCM e Tmcel