

ENGENHARIA COMPLETA DE REDES MÓVEIS

Otimização de Redes Móveis - Dominando
as Redes 5G - Implantação de Redes Celulares

AMOSTRA



HUAWEI

ERICSSON

NOKIA

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

Wagner R Bomfim

ENGENHARIA COMPLETA DE REDES MÓVEIS

*Esta obra consolida, em um único volume técnico, o mais completo conteúdo já publicado no Brasil sobre engenharia de redes móveis, reunindo de forma integrada os três livros **Otimização de Redes Móveis, Dominando as Redes 5G e Implantação de Redes Celulares**, em uma abordagem prática, profunda e totalmente alinhada à realidade de campo, operação e engenharia.*

Prefácio

A otimização de redes móveis é a arte e a ciência de extrair o máximo desempenho, capacidade e qualidade de uma rede celular. Em um mundo cada vez mais conectado, onde a experiência do usuário é primordial, o trabalho do otimizador de rede é crucial. Este livreto foi concebido como um guia prático e direto, que conduz o leitor desde os conceitos fundamentais até as técnicas avançadas de otimização, com um olhar específico para os três principais fornecedores de infraestrutura: Ericsson, Nokia e Huawei. Seja você um engenheiro júnior, um técnico experiente ou um estudante, encontrará aqui um roteiro valioso para suas atividades.

DOMINE A ARTE E CIÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO DE REDES MÓVEIS

Em um mundo cada vez mais conectado, onde a qualidade da rede móvel se tornou fator decisivo para o sucesso de

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

operadoras e a satisfação de milhões de usuários, este livro se apresenta como a mais completa e atualizada referência sobre otimização de redes móveis.

O QUE VOCÊ ENCONTRARÁ NESTA OBRA:

- **Metodologias Comprovadas:** Processos passo a passo para otimização sistemática e resultados mensuráveis
- **Multi-tecnologia:** Abordagens detalhadas para GSM, WCDMA, LTE e 5G (NSA & SA)
- **Ferramentas Especializadas:** Uso avançado de TEMS, Nemo, XCAL, Probe e PHU
- **Casos Reais:** Estudos detalhados de problemas complexos e suas soluções
- **Otimização por Fabricante:** Configurações específicas para Ericsson, Nokia e Huawei
- **Tendências Futuras:** IA/ML, SON, Cloud e Realidade Aumentada aplicadas à otimização

PARA QUEM É ESTE LIVRO:

- **Engenheiros de RF e Otimização** que buscam aprofundar conhecimentos técnicos
- **Gestores de Redes Móveis** que necessitam de visão estratégica e métricas de negócio
- **Estudantes de Telecomunicações** em busca de fundamentos sólidos e aplicações práticas

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

- **Profissionais de Operadoras** que desejam excelência operacional e vantagem competitiva
- **Consultores Técnicos** que precisam de referência abrangente e atualizada

DIFERENCIAIS DA OBRA:

- **Abordagem Prática:** Conceitos técnicos explicados através de aplicações reais
- **Completa Atualização:** Cobertura das mais recentes tecnologias 5G SA e Massive MIMO
- **Multi-ferramentas:** Integração entre diferentes sistemas de coleta e análise
- **Visão Estratégica:** Alinhamento entre técnica pura e objetivos de negócio
- **Language Acessível:** Explicações técnicas complexas apresentadas de forma clara

SOBRE A ABORDAGEM:

Este livro transcende o manual técnico tradicional, apresentando a otimização como um processo contínuo e estratégico que conecta a infraestrutura de rede à experiência do usuário final. Através de metodologias validadas em campo e casos reais de sucesso, o leitor é guiado desde os fundamentos até as técnicas mais avançadas, sempre com foco na excelência operacional e na criação de valor.

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

"Não é apenas sobre fazer a rede funcionar, mas sobre fazê-la excelente - todos os dias, para todos os usuários, em todas as condições."

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução à Otimização de Redes Móveis

- 1.1 O que é Otimização e Por Que é Importante?
- 1.2 O Ciclo de Vida da Otimização: Drive Tests, KPIs, Ajustes e Monitoramento
- 1.3 Visão Geral das Tecnologias: 4G (LTE) e 5G (NSA & SA)

Capítulo 2: O Processo de Otimização Passo a Passo

- 2.1 Fase 1: Definição de Objetivos e Metas (KPIs-Chave)
- 2.2 Fase 2: Coleta de Dados (Drive Tests, Scanners, Medições OSS)
- 2.3 Fase 3: Análise de Dados e Identificação de Problemas
- 2.4 Fase 4: Formulação e Implementação de Ações Corretivas
- 2.5 Fase 5: Verificação e Consolidação dos Resultados

Capítulo 3: Conceitos Técnicos para Otimização

- 3.1 Parâmetros de Rádio Fundamentais: RSRP, RSRQ, SINR
- 3.2 Handover (Mobilidade) e seus Parâmetros

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

- 3.3 Gerenciamento de Carga e Interferência
- 3.4 Otimização de Antenas: Azimute, Tilt Mecânico e Elétrico

Capítulo 4: Otimização em Equipamentos Ericsson

- 4.1 Introdução ao OSS-RC e ao ENM (Ericsson Network Manager)
- 4.2 Principais Comandos e Caminhos de Parâmetros no RBS (Radio Base Station)
- 4.3 Ajustes de Handover (Ex: A3 Offset, Hysteresis)
- 4.4 Otimização de Cobertura (Ex: RS Power, Pmax)
- 4.5 Análise de KPIs através do ENM

Capítulo 5: Otimização em Equipamentos Nokia

- 5.1 Introdução ao NetAct e ao CM Editor
- 5.2 Principais Comandos e Caminhos de Parâmetros no AirScale
- 5.3 Ajustes de Handover e Mobilidade
- 5.4 Controle de Cobertura e Interferência (Ex: RSRP, CIO)
- 5.5 Monitoramento de Performance via NetAct

Capítulo 6: Otimização em Equipamentos Huawei

- 6.1 Introdução ao M2000 / U2020
- 6.2 Navegação e Comandos no BTS e na BaseStation
- 6.3 Ajustes de Handover (Ex: Evento A3, Cell Reselection)
- 6.4 Otimização de Potência e Cobertura
- 6.5 Utilizando o Huawei Assistant para Análise

Capítulo 7: Casos Práticos de Otimização

- 7.1 Caso 1: Resolução de Call Drops em Área Urbana (Huawei)

7.2 Caso 2: Melhoria de Throughput em Estádio (Ericsson)

7.3 Caso 3: Otimização de Handover em Rodovia (Nokia)

Capítulo 8: Ferramentas e Tendências Futuras

8.1 Ferramentas de Análise: TEMS, Nemo, Actix

8.2 Introdução à SON (Self-Organizing Networks)

8.3 Otimização para 5G Standalone (SA) e Massive MIMO

8.4 O Papel da IA e do ML na Otimização

Capítulo 9: Ferramentas de Coleta e Análise - Especificações e Diferenciais

9.1 Sistemas Probe - O Monitoramento Passivo da Rede

9.2 TEMS Investigation - A Análise em Tempo Real

9.3 Nemo Outdoor - A Coleta em Larga Escala

9.4 XCAL - A Análise Profunda de Protocolo

9.5 PHU (Per-Hour Utilization) - A Análise de Padrões Temporais

Capítulo 10: Metodologias de Coleta por Tecnologia

10.1 Configurações para GSM: Parâmetros e Métricas Específicas

10.2 Configurações para WCDMA: Parâmetros e Métricas Específicas

10.3 Configurações para LTE: Parâmetros e Métricas Específicas

10.4 Configurações para 5G NR: Parâmetros e Métricas Específicas

10.5 Coleta Multi-tecnologia: Desafios e Soluções

Capítulo 11: Análise de Dados e Correlação

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

- 11.1 Metodologia de Análise de Root Cause
- 11.2 Correlação entre Diferentes Fontes de Dados
- 11.3 Análise Estatística Aplicada à Otimização
- 11.4 Identificação de Padrões e Tendências
- 11.5 Validação de Resultados e Impacto

Capítulo 12: Relatórios e Dashboards

- 12.1 Templates de Relatórios Automatizados por Ferramenta
- 12.2 Dashboards Interativos para Monitoramento
- 12.3 KPIs e Métricas para Diferentes Públicos
- 12.4 Apresentação de Resultados para Tomada de Decisão

Capítulo 13: Metodologias de Análise Avançada

- 13.1 Análise de Root Cause com Múltiplas Ferramentas
- 13.2 Análise Comparativa: Benchmarks e Concorrência
- 13.3 Análise de Impacto de Mudanças na Rede
- 13.4 Análise Preditiva e Proativa

Capítulo 14: Aplicações Práticas por Tipo de Projeto

- 14.1 Projetos de Expansão de Cobertura
- 14.2 Projetos de Melhoria de Qualidade
- 14.3 Projetos de Otimização de Capacidade
- 14.4 Projetos de Troubleshooting Complexo
- 14.5 Projetos de Benchmarking Competitivo

Capítulo 15: Boas Práticas e Padrões do Setor

- 15.1 Padrões de Qualidade e Referências do Mercado
- 15.2 Frequência e Periodicidade de Monitoramento
- 15.3 Documentação e Manutenção de Histórico

- 15.4 Metodologias de Validação e Verificação
- 15.5 Gestão de Mudanças e Controle de Impacto

Capítulo 16: Estudos de Caso Avançados

- 16.1 Caso: Otimização de Rede 5G NSA em Área Metropolitana
- 16.2 Caso: Migração de Tecnologia 3G para 4G
- 16.3 Caso: Otimização para Aplicações Críticas (IoT, V2X)
- 16.4 Caso: Gestão de Capacidade em Eventos de Massa
- 16.5 Caso: Otimização Multi-vendor em Rede Híbrida

Capítulo 17: Ferramentas Emergentes e Futuro da Otimização

- 17.1 Plataformas de Otimização Baseadas em Nuvem
- 17.2 Integração com Sistemas de Business Intelligence
- 17.3 Automação Avançada e Machine Learning Aplicado
- 17.4 Realidade Aumentada para Operações de Campo
- 17.5 Tendências e Evolução das Ferramentas de Otimização

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO À OTIMIZAÇÃO DE REDES MÓVEIS

1.1 O que é Otimização e Por Que é Importante?

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

A otimização de redes móveis é um processo técnico contínuo e sistemático que visa extrair o máximo desempenho possível da infraestrutura de rede existente. Imagine que a rede móvel é como um sistema viário complexo: a otimização seria o trabalho de engenheiros de tráfego que ajustam semáforos, criam faixas exclusivas, melhoram a sinalização e otimizam os fluxos de veículos para garantir que o tráfego flua da melhor maneira possível, evitando congestionamentos e garantindo que todos cheguem ao seu destino rapidamente e com segurança.

Em termos técnicos concretos, a otimização envolve:

- **Ajuste fino de parâmetros de rádio:** Modificar a potência de transmissão das antenas, ajustar ângulos de inclinação, otimizar handovers (transferências entre células), e calibrar centenas de outros parâmetros que controlam como os sinais de rádio se comportam no ambiente.
- **Análise de desempenho contínua:** Monitorar constantemente centenas de indicadores técnicos que mostram a "saúde" da rede, identificando problemas antes que se tornem críticos.
- **Correção de problemas específicos:** Resolver questões como quedas de chamada em determinados locais, lentidão na internet em horários específicos, áreas sem cobertura adequada, ou interferência entre células vizinhas.

- **Melhoria de eficiência operacional:** Garantir que os recursos de rede (espectro radioelétrico, capacidade de processamento, energia) sejam utilizados da forma mais eficiente possível, permitindo que mais usuários sejam atendidos com a mesma infraestrutura.

A importância da otimização se manifesta em vários níveis:

- **Experiência do Usuário Final:** Quando você faz uma chamada e ela cai inexplicavelmente, ou quando a internet fica extremamente lenta em determinado local, ou quando os vídeos travam constantemente - todos esses são problemas que uma boa otimização pode resolver. Usuários satisfeitos tendem a permanecer com a operadora e recomendar seus serviços.
- **Eficiência Operacional e Econômica:** Operadoras que otimizam bem suas redes conseguem atender mais usuários com a mesma infraestrutura, adiando investimentos em novas antenas e equipamentos. Uma rede bem otimizada consome menos energia, requer menos manutenção e opera de forma mais previsível.
- **Vantagem Competitiva:** Em mercados de telecomunicações saturados, onde todas as operadoras oferecem preços similares, a qualidade da rede frequentemente se torna o fator decisivo na escolha do consumidor. Uma rede bem otimizada pode ser a diferença entre ganhar ou perder clientes.
- **Preparação para Serviços Futuros:** A otimização adequada cria a base sólida necessária para suportar

serviços emergentes como Internet das Coisas (IoT), carros conectados, realidade aumentada e telemedicina, que exigem performance extremamente confiável.

1.2 O Ciclo de Vida da Otimização: Drive Tests, KPIs, Ajustes e Monitoramento

O processo de otimização segue um ciclo contínuo e iterativo, composto por fases interligadas que se repetem constantemente. Este ciclo garante que a rede seja continuamente aprimorada e adaptada às mudanças no ambiente e nos padrões de uso.

Drive Tests (Testes de Condução) são coletas de dados realizadas por veículos especialmente equipados que percorrem rotas pré-definidas. Estes veículos funcionam como laboratórios móveis, carregando:

- **Scanners profissionais:** Dispositivos especializados que medem todos os sinais de rádio presentes na área, independentemente de estarem conectados à rede da operadora ou de concorrentes. Eles fornecem uma visão completa do ambiente radioelétrico.
- **Telefones de teste:** Aparelhos que simulam o comportamento de usuários reais, fazendo chamadas, enviando mensagens, navegando na internet e usando aplicativos, enquanto coletam dados detalhados sobre a experiência.
- **Sistemas de GPS de alta precisão:** Que correlacionam exatamente cada medição com sua localização

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

geográfica, permitindo criar mapas precisos de cobertura e qualidade.

- **Computadores com software especializado:** Que coletam, processam e analisam dados em tempo real, permitindo que os engenheiros identifiquem problemas durante o próprio teste.

KPIs (Key Performance Indicators - Indicadores-Chave de Desempenho) são as "notas" ou "termômetros" da rede. Eles quantificam objetivamente o desempenho em diferentes aspectos:

- **Taxa de queda de chamadas:** Percentual de chamadas que são interrompidas involuntariamente antes de sua conclusão normal. Em redes bem otimizadas, este valor deve ser inferior a 1%.
- **Taxa de sucesso de chamadas:** Percentual de tentativas de chamada que são completadas com sucesso. Valores acima de 99% são considerados excelentes.
- **Acessibilidade:** Capacidade dos usuários de se conectarem à rede quando necessário, medida através de indicadores como RRC Success Rate e E-RAB Success Rate.
- **Throughput:** Velocidade de transferência de dados, tanto em download (direção da rede para o usuário) quanto upload (direção do usuário para a rede).

- **Latência:** Tempo que leva para um pacote de dados ir de um ponto a outro na rede. Crucial para aplicações em tempo real como jogos online e videoconferências.

Ajustes são as intervenções técnicas realizadas na rede para corrigir problemas ou melhorar performance:

- **Ajustes de RF (Radio Frequency):** Envolvem modificações físicas ou de configuração nas antenas - mudança de ângulos (tilt), direção (azimute), altura, ou potência de transmissão.
- **Ajustes de parâmetros:** Modificação de configurações de software que controlam o comportamento inteligente da rede - critérios para handover, algoritmos de controle de potência, políticas de admission control.
- **Otimização de cobertura:** Correção de áreas com sinal fraco ou inexistente através de reorientação de antenas, ajuste de potências, ou instalação de equipamentos complementares.

Monitoramento é a observação contínua e sistemática do desempenho da rede:

- **Sistemas OSS (Operational Support Systems):** Plataformas que coletam dados de todos os elementos da rede 24 horas por dia, 7 dias por semana.
- **Ferramentas de análise avançada:** Que processam os dados coletados, identificam padrões, detectam anomalias e geram alertas quando problemas são

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

detectados ou quando performance cai abaixo de limites estabelecidos.

- **Relatórios automáticos:** Que mostram tendências ao longo do tempo, comparam performance entre diferentes áreas ou períodos, e fornecem insights para tomada de decisão.

1.3 Visão Geral das Tecnologias: 4G (LTE) e 5G (NSA & SA)

As redes móveis evoluíram através de gerações tecnológicas, cada uma trazendo avanços significativos em capacidade, velocidade e capabilities. Entender estas tecnologias é fundamental para uma otimização eficaz.

4G (LTE - Long Term Evolution) representa a quarta geração de redes móveis, trazendo avanços revolucionários:

- **Arquitetura totalmente baseada em IP:** Diferente das gerações anteriores que tinham infraestruturas separadas para voz e dados, o LTE usa apenas redes IP (Internet Protocol) para todos os serviços. Isto simplifica a arquitetura e reduz custos.
- **Desempenho significativamente melhorado:** Oferece latências na faixa de 20-40 milissegundos (contra 100-200ms do 3G) e velocidades teóricas de até 300 Mbps em download. Na prática, usuários experimentam tipicamente 10-50 Mbps.
- **Tecnologias de acesso radioelétrico avançadas:** Utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division

Multiple Access) para downlink, que é mais eficiente em lidar com multipath propagation (reflexões de sinal), e SC-FDMA para uplink, que é mais eficiente em termos de consumo de bateria dos dispositivos.

- **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** Usa múltiplas antenas tanto na estação base quanto nos dispositivos para melhorar a capacidade e a confiabilidade através de spatial diversity.
- **Voz sobre LTE (VoLTE):** Transmite chamadas de voz como pacotes de dados através da rede 4G, oferecendo qualidade de voz superior e tempos de estabelecimento mais rápidos.

5G (NSA & SA) representa a quinta geração, trazendo não apenas melhorias incrementais, mas capacidades radicalmente novas:

- **NSA (Non-Standalone):** É uma arquitetura de transição que usa a rede 4G existente como base para funções de controle e adiciona capacidades 5G para aumento de capacidade de dados. Imagine um carro com motor 4G que ganha um turbo 5G - a base é antiga, mas o desempenho é melhorado.
- **SA (Standalone):** É uma arquitetura independente e completa 5G, com core network dedicada e todas as funções implementadas nativamente em 5G. É como ter um carro totalmente novo, projetado desde o início para ser 5G.
- **Vantagens fundamentais do 5G:**

- **Latência ultra-baixa:** Menos de 10 milissegundos, possibilitando aplicações em tempo real crítico como cirurgia remota e controle de veículos autônomos.
- **Largura de banda extrema:** Até 10 Gbps em condições ideais, suportando streaming de vídeo 8K e realidade virtual.
- **Massive IoT:** Suporte a até 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado, habilitando cidades inteligentes com sensores everywhere.
- **Confiabilidade extrema:** 99.999% de disponibilidade para aplicações críticas.
- **Tecnologias habilitadoras do 5G:**
 - **Massive MIMO:** Arrays com dezenas ou centenas de elementos de antena que formam feixes direcionais precisos.
 - **Beamforming:** Focalização dinâmica do sinal diretamente para cada usuário, melhorando a eficiência.
 - **Network Slicing:** Criação de redes virtuais dedicadas para diferentes tipos de serviços com requisitos específicos.
 - **Edge Computing:** Processamento de dados mais próximo dos usuários, reduzindo latência.

A otimização em 5G introduz novos desafios e oportunidades, como a gestão dinâmica de feixes (beam management), a coordenação entre diferentes faixas de frequência (sub-6 GHz e mmWave), e a garantia de qualidade de serviço em network slices dedicados a aplicações específicas.

CAPÍTULO 2: O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PASSO A PASSO

2.1 Fase 1: Definição de Objetivos e Metas (KPIs-Chave)

A primeira fase do processo de otimização é crucial pois estabelece o que será medido, como será medido e quais são os resultados desejados. Sem objetivos claros e mensuráveis, a otimização torna-se um exercício aleatório sem direção definida.

KPIs-Chave (Key Performance Indicators) são métricas quantificáveis que refletem aspectos críticos do desempenho da rede. Eles funcionam como instrumentos de medição em um laboratório - cada um revela algo específico sobre a "saúde" da rede:

- **Acessibilidade:** Mede a capacidade dos usuários de obterem serviço quando necessário. Inclui:
 - **RRC Success Rate:** Taxa de sucesso no estabelecimento da conexão inicial entre o dispositivo e a rede. Valores acima de 99.5% são considerados excelentes.

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

- **E-RAB Success Rate:** Taxa de sucesso no estabelecimento dos bearers de dados que carregam o tráfego real. Meta típica é superior a 99.0%.
- **Retenção:** Avalia a capacidade da rede de manter os serviços uma vez estabelecidos. Compreende:
 - **Drop Call Rate (DCR):** Percentual de chamadas que são interrompidas involuntariamente após o estabelecimento bem-sucedido. Em redes otimizadas, deve ser inferior a 1.0%.
 - **E-RAB Drop Rate:** Taxa de queda das conexões de dados. Valores abaixo de 0.8% são considerados bons.
- **Mobilidade:** Mede a eficiência com que a rede gerencia o movimento dos usuários entre células. Inclui:
 - **Handover Success Rate (Intra-LTE):** Sucesso nas transferências entre células da mesma tecnologia LTE. Deve exceder 98%.
 - **Handover Success Rate (Inter-RAT):** Sucesso nas transferências entre tecnologias diferentes (ex: LTE para 3G). Meta típica é superior a 96%.
- **Throughput e Qualidade de Serviço:**
 - **Downlink Average Throughput:** Velocidade média de download experimentada pelos

usuários. Valores acima de 25 Mbps são considerados bons.

- **Uplink Average Throughput:** Velocidade média de upload. Meta típica é superior a 8 Mbps.
- **Cell Edge Performance (5th Percentile):** Performance dos usuários na pior situação de cobertura (geralmente na borda da célula). Deve ser pelo menos 2 Mbps em download e 1 Mbps em upload.

Estabelecimento de Metas SMART:

As metas de otimização devem ser Specific (específicas), Measurable (mensuráveis), Achievable (atingíveis), Relevant (relevantes) e Time-bound (com prazo definido). Por exemplo: "Reduzir a taxa de queda de chamadas na área central de 2.5% para 1.0% dentro de 4 semanas".

2.2 Fase 2: Coleta de Dados (Drive Tests, Scanners, Medições OSS)

A coleta de dados é a fase de "investigação de campo" onde fatos concretos sobre o desempenho da rede são coletados através de múltiplas metodologias complementares.

Drive Tests Detalhados envolvem veículos equipados com instrumentação especializada que percorrem rotas cuidadosamente planejadas:

- **Equipamentos de medição:** Incluem scanners profissionais (como R&S TSME6), múltiplos telefones

de teste de diferentes fabricantes, GPS de alta precisão, e computadores com software especializado.

- **Métricas coletadas:**
 - **Parâmetros de RF:** RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio), PCI (Physical Cell ID), Timing Advance.
 - **Performance de serviços:** Throughput em download e upload, latência round-trip, qualidade de voz (MOS - Mean Opinion Score).
 - **Comportamento da rede:** Call Success Rate, Drop Call Rate, BLER (Block Error Rate), handover performance.
- **Planejamento de rotas:** As rotas devem ser representativas dos padrões de uso reais, cobrindo diferentes ambientes (urbano denso, suburbano, rural, rodovias) e diferentes condições de tráfego.

Scanners Profissionais são dispositivos especializados que oferecem capacidades únicas:

- **Medições independentes:** Capturam todos os sinais presentes no ambiente, não apenas da operadora sendo testada, mas também de concorrentes.
- **Análise de interferência:** Identificam fontes de interferência que degradam a qualidade do sinal.

- **Visão completa do espectro:** Mostram todas as células visíveis, mesmo aquelas às quais não estão conectados.

Medições OSS (Operational Support Systems) fornecem a visão macro da rede:

- **Dados de todos os usuários:** Coletam informações de performance de todos os usuários conectados à rede, 24 horas por dia.
- **Estatísticas agregadas:** Oferecem dados estatisticamente significativos sobre o comportamento da rede como um todo.
- **Identificação de padrões:** Revelam problemas que afetam muitos usuários simultaneamente ou que ocorrem em padrões temporais específicos.

Measurement Reports (MR) são relatórios enviados pelos próprios dispositivos dos usuários:

- **Amostragem estatística:** Fornecem uma visão representativa de toda a área de cobertura.
- **Métricas de qualidade:** Incluem RSRP, RSRQ, PHR (Power Headroom Report) que mostram as condições reais experimentadas pelos usuários.
- **Análise de interferência:** Permitem identificar problemas de interferência com base nas medições dos UEs.

2.3 Fase 3: Análise de Dados e Identificação de Problemas

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

Esta fase transforma dados brutos em insights acionáveis através de análise técnica profunda e correlação de múltiplas fontes de informação.

Análise de Cobertura foca na disponibilidade e qualidade do sinal de rádio:

- **Mapas de RSRP:** Identificam "buracos" de cobertura (áreas onde o sinal é fraco ou inexistente). Valores abaixo de -110 dBm geralmente indicam problemas sérios de cobertura.
- **Análise de SINR:** Revelam problemas de interferência (quando o sinal é forte mas a qualidade é ruim). SINR abaixo de 0 dB indica interferência severa.
- **Overlap Analysis:** Detectam áreas com excesso de células sobrepostas, que podem causar interferência e handovers desnecessários.

Análise de Capacidade examina como os recursos de rede são utilizados:

- **PRB Utilization:** Mostra a porcentagem de Physical Resource Blocks sendo utilizados. Valores consistentemente acima de 80-90% indicam congestionamento.
- **Análise de congestionamento:** Identifica células com excesso de usuários conectados ou tráfego excessivo.
- **Correlação Throughput vs Utilization:** Revela se baixas velocidades estão relacionadas a alto uso de recursos ou a outros fatores.

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

Análise de Mobilidade investiga a eficiência das transferências entre células:

- **Handover Performance per Relation:** Analisa o sucesso de handover entre pares específicos de células.
- **Ping-pong Analysis:** Identifica handovers excessivos entre as mesmas células, que desperdiçam recursos e podem causar quedas.
- **Too Late/Too Early Handovers:** Detectam handovers que ocorrem muito tarde (causando radio link failure) ou muito cedo (causando interferência).

Root Cause Analysis é a investigação profunda para encontrar a causa fundamental dos problemas:

- **Metodologia dos 5 Porquês:** Pergunta "por que" repetidamente até chegar à causa raiz.
- **Diagramas de Ishikawa (Espinha de Peixe):** Mapeiam sistematicamente todas as possíveis causas de um problema.
- **Análise de correlação:** Identifica relações entre diferentes variáveis (ex: queda de throughput quando número de usuários aumenta).

2.4 Fase 4: Formulação e Implementação de Ações Corretivas

Com os problemas identificados e suas causas compreendidas, esta fase envolve o planejamento e execução de soluções específicas.

Ajustes de RF (Radio Frequency) são intervenções no domínio físico do sinal de rádio:

- **Tilt Mecânico:** Alteração física da inclinação vertical da antena. Aumentar o tilt reduz o alcance mas melhora a cobertura próxima; diminuir o tilt aumenta o alcance mas pode causar interferência.
- **Azimuth:** Modificação da direção horizontal da antena. Usado para redirecionar a cobertura para áreas específicas.
- **Altura da Antena:** Ajuste da altura em relação ao solo. Antenas mais altas cobrem áreas maiores mas podem causar mais interferência.
- **Potência de Transmissão:** Aumento ou redução da potência do sinal. Mais potência melhora cobertura mas aumenta interferência; menos potência reduz interferência mas piora cobertura.

Ajustes de Parâmetros são modificações nas configurações de software que controlam o comportamento inteligente da rede:

- **Parâmetros de Handover:** Ajuste de `3Offset`, `hysteresis`, `timeToTrigger` para otimizar quando e como as transferências entre células ocorrem.
- **Power Control:** Configuração de algoritmos que controlam a potência de transmissão dos UEs para maximizar a qualidade e minimizar a interferência.

- **Admission Control:** Definição de critérios para aceitar ou rejeitar novos usuários na célula quando os recursos estão limitados.

Otimização de Features envolve ativação, desativação ou ajuste de funcionalidades avançadas:

- **Carrier Aggregation:** Combinação de múltiplas portadoras para aumentar a velocidade disponível.
- **MIMO:** Configuração de múltiplas antenas para melhorar a capacidade e confiabilidade.
- **SON Features:** Utilização de funções de Self-Organizing Networks para automação de otimizações.

2.5 Fase 5: Verificação e Consolidação dos Resultados

A fase final garante que as mudanças implementadas realmente produziram os resultados desejados sem introduzir novos problemas.

Metodologia de Validação envolve a confirmação sistemática das melhorias:

- **Testes idênticos:** Repetição exata dos mesmos testes realizados antes das otimizações, usando as mesmas rotas, mesmos equipamentos e mesmas condições.
- **Período de observação:** Monitoramento contínuo por pelo menos 48-72 horas para garantir que as melhorias são estáveis e não temporárias.

- **Análise estatística comparativa:** Comparação estatística rigorosa dos resultados "antes" e "depois" para confirmar que as melhorias são significativas.

CrITÉrios de Sucesso definem quando uma otimização pode ser considerada bem-sucedida:

- **Melhoria nos KPIs-alvo:** Os indicadores específicos que eram o foco da otimização devem mostrar melhoria clara e significativa.
- **Ausência de degradação:** Nenhum outro KPI crítico pode ter piorado como resultado das mudanças.
- **Estabilidade comprovada:** As melhorias devem se manter consistentes ao longo do tempo, não sendo apenas um efeito temporário.

Documentação e Lições Aprendidas capturam o conhecimento gerado durante o processo:

- **Relatório técnico detalhado:** Documenta a metodologia utilizada, dados coletados, análises realizadas, mudanças implementadas e resultados obtidos.
- **Lições aprendidas:** Identifica o que funcionou bem, o que não funcionou, e quais insights podem ser aplicados em futuros projetos.
- **Atualização da base de conhecimento:** Incorpora as descobertas e melhores práticas identificadas no processo de otimização.

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

Este ciclo completo garante que a otimização seja um processo contínuo de melhoria, onde cada iteração constrói sobre o conhecimento gerado nas anteriores, levando a uma rede progressivamente melhor e mais eficiente.

CAPÍTULO 3: CONCEITOS TÉCNICOS PARA OTIMIZAÇÃO

3.1 Parâmetros de Rádio Fundamentais: RSRP, RSRQ, SINR

Para entender e otimizar redes móveis, é essencial dominar três parâmetros fundamentais que descrevem a qualidade do sinal de rádio. Estes parâmetros são como os sinais vitais de uma rede - eles indicam a saúde básica da conexão entre o dispositivo do usuário e a estação base.

RSRP (Reference Signal Received Power) é a medida da potência recebida dos sinais de referência transmitidos pela estação base. Pense nisso como medir o volume de uma conversa - quanto mais alto, melhor você ouve. Tecnicamente, o RSRP representa a potência média recebida de um único portador de sinal de referência, medido em dBm (decibéis em relação a 1 miliwatt).

- **Excelente:** Acima de -85 dBm - sinal forte, típico de locais muito próximos da antena ou com linha de visada direta.

- **Bom:** Entre -85 dBm e -95 dBm - sinal adequado para todos os serviços, incluindo streaming de vídeo de alta qualidade.
- **Regular:** Entre -95 dBm e -105 dBm - sinal suficiente para chamadas de voz e uso básico de internet, mas pode ter problemas com serviços que exigem mais banda.
- **Ruim:** Entre -105 dBm e -115 dBm - sinal fraco, apenas para chamadas de voz e mensagens de texto, com alta probabilidade de quedas.
- **Muito Ruim:** Abaixo de -115 dBm - à beira da perda de cobertura, serviços instáveis ou indisponíveis.

RSRQ (Reference Signal Received Quality) é a qualidade do sinal de referência, considerando tanto a potência recebida quanto a interferência. Se o RSRP é como medir o volume, o RSRQ é como medir a clareza - você pode ter volume alto, mas se há muito ruído, ainda não entenderá a mensagem. O RSRQ é calculado como a razão entre o RSRP e a potência total recebida (RSSI), medido em dB.

- **Excelente:** Melhor que -9 dB - qualidade superior, ideal para serviços sensíveis como videoconferência.
- **Bom:** Entre -9 dB e -12 dB - qualidade boa, suporta streaming de vídeo e aplicações interativas.
- **Regular:** Entre -12 dB e -15 dB - qualidade aceitável para navegação web e chamadas de voz.

- **Ruim:** Entre -15 dB e -18 dB - qualidade degradada, pode causar interrupções em serviços de dados.
- **Muito Ruim:** Pior que -18 dB - qualidade muito pobre, serviços instáveis.

SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) é a relação entre a potência do sinal desejado e a soma de interferência mais ruído. Este é talvez o parâmetro mais importante para o desempenho de dados, pois determina diretamente qual esquema de modulação e codificação pode ser usado, o que por sua vez determina a velocidade máxima possível.

- **SINR > 20 dB:** Condições excelentes - permite o uso de modulação 256QAM e codificação de alta eficiência, resultando no throughput máximo possível.
- **SINR 13-20 dB:** Condições boas - suporta modulação 64QAM com boa eficiência, proporcionando alta velocidade.
- **SINR 0-13 dB:** Condições regulares - utiliza modulação 16QAM ou QPSK, com velocidades moderadas a baixas.
- **SINR < 0 dB:** Condições ruins - o ruído e interferência são maiores que o sinal desejado, resultando em baixa velocidade e alta taxa de erro.

A relação entre esses parâmetros é crucial: um bom RSRP com RSRQ/SINR ruins indica interferência, enquanto RSRP ruim com bom SINR sugere que a célula está bem isolada, mas muito distante.

3.2 Handover (Mobilidade) e seus Parâmetros

O handover (ou transferência) é o processo de passar uma chamada ou sessão de dados de uma célula para outra enquanto o usuário se move. É como passar o bastão em uma corrida de revezamento - precisa ser feito no momento certo, no lugar certo, e de forma suave para não derrubar o bastão.

Eventos de Medição em LTE são condições que disparam relatórios de medição do UE para a rede:

Evento A3 (Neighbor becomes offset better than serving) é o principal mecanismo para handover intra-frequência. A condição matemática é:

$$Mn + Ofn + Ocn - Hys > Ms + Ofs + Ocs + Off$$

Onde:

- Mn: RSRP da célula vizinha
- Ms: RSRP da célula servidora
- Ofn: Offset da frequência da vizinha
- Ocn: Cell individual offset da vizinha
- Ofs: Offset da frequência da servidora
- Ocs: Cell individual offset da servidora
- Hys: Hysteresis do evento A3
- Off: Offset do evento A3

Parâmetros de Temporização controlam quando e como os handovers ocorrem:

- **timeToTrigger:** O tempo que a condição de handover deve persistir antes de ser acionada. Valores típicos variam de 0 ms (imediatamente) até 5120 ms (mais de 5 segundos). Um valor muito baixo causa handovers desnecessários por flutuações temporárias; um valor muito alto causa handovers tardios e possíveis quedas.
- **hysteresis:** Uma margem de segurança adicionada para prevenir oscilações. Valores típicos de 0.5 dB a 3.0 dB. Mais hysteresis torna o handover mais estável, mas menos sensível.
- **a3Offset:** Define quão melhor a célula vizinha precisa estar para triggerar o handover. Valores de -15 dB a +15 dB. Offset positivo faz o handover ocorrer mais cedo; offset negativo mais tarde.

Problemas Comuns de Handover:

- **Handover Too Early:** Ocorre quando o usuário ainda tem boa conexão com a célula servidora, mas é transferido prematuramente. Causa interferência e possível queda se a nova célula não for estável.
- **Handover Too Late:** Ocorre quando o usuário já perdeu a conexão com a célula servidora antes do handover ser iniciado. Resulta em Radio Link Failure e queda da chamada.
- **Ping-Pong Handover:** Transferências rápidas e repetitivas entre as mesmas duas células, desperdiçando recursos de rede e degradando a experiência do usuário.

3.3 Gerenciamento de Carga e Interferência

O gerenciamento de carga e interferência é como o controle de tráfego aéreo - precisa coordenar múltiplos "voo" (conexões) compartilhando o mesmo espaço (espectro) sem colidirem ou interferirem uns com os outros.

Indicadores de Carga monitoram a utilização dos recursos da rede:

- **PRB Utilization:** Mede a porcentagem de Physical Resource Blocks sendo utilizados. Os PRBs são os blocos fundamentais de tempo e frequência alocados aos usuários.
 - Baixa utilização (< 30%): Recursos ociosos, possivelmente má configuração ou baixa demanda.
 - Utilização moderada (30-70%): Operação ideal, com margem para picos de tráfego.
 - Alta utilização (70-90%): Rede próxima da capacidade, requer monitoramento cuidadoso.
 - Congestionamento (> 90%): Usuários experimentam baixa velocidade e alta latência.
- **RRC Connected Users:** Número de usuários simultaneamente conectados à célula. Cada tecnologia tem limites máximos baseados em sua capacidade de processamento.

- **DL/UL Throughput:** Taxa de transmissão agregada em download e upload. Mostra quanto dados estão sendo transportados pela célula.

Técnicas de Balanceamento de Carga:

- **MLB (Mobility Load Balancing):** Ajusta automaticamente os parâmetros de handover para mover usuários de células congestionadas para células menos utilizadas. Funciona como um desvio de tráfego - quando uma estrada está congestionada, os carros são redirecionados para rotas alternativas.