



RESUMO EXECUTIVO
RESULTADOS PRELIMINARES

OPEN LAB 5G WEG-V2COM



NOTAS SOBRE O RELATÓRIO PRELIMINAR

Introdução

O 5G, além de atender a serviços aprimorados de banda larga móvel para dispositivos de consumo, como *smartphones* ou *tablets*, foi concebido para comunicação dentro do conceito Internet das Coisas (IoT) e sistemas ciberfísicos conectados.

Para esse fim, duas categorias de requisitos foram definidas: comunicação massiva do tipo máquina (mMTC) para um grande número de dispositivos ou sensores conectados e comunicação ultra confiável de baixa latência (URLLC) para sistemas de controle conectados e comunicação crítica.

O teste de conectividade utilizando redes 5G tem a finalidade de validar parâmetros técnicos e regulatórios para as redes privadas:

- **Rede privada mista (integrada)** da Claro/Ericsson na banda n78 (3,5 GHz), faixa de 3,5 GHz a 3,6 GHz, operando com largura de canal de 100 MHz, no modo *Non Stand Alone* (NSA), ancorada em rede Core LTE (4G). São oito células 5G e oito células 4G.
- **Rede privada independente** da Nokia na banda n78 (3,5 GHz), faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz, operando com largura de canal de 100 MHz, no modo *Stand Alone* (SA). Foram utilizadas quatro *Small Cells* para cobrir a área de interesse.

A capacidade teórica é atingir taxas em torno de 1.000 Mbps para *downlink* e 200 Mbps no *uplink*.

Resultados preliminares:

Os dados de limite de potência de transmissão definidos pela Anatel para a transmissão do sinal 5G foram validados pelos testes nas redes privada mista e privada independente para a banda de frequência de 3,5 GHz.

Qualidade de Sinal 5G nas Áreas de Interesse

A Qualidade de sinal 5G nas áreas de interesse foi medida para as redes privadas mista e independente. Foi analisado o nível do sinal recebido pelos dispositivos de comunicação e pelas ferramentas de medição. Os resultados obtidos são compatíveis com os valores definidos no projeto de localização das antenas de transmissão, validando o processo de posicionamento e da cobertura do sinal para garantia de desempenho das redes. Esses resultados validam as estratégias de projeto para utilização da tecnologia 5G no requisito cobertura de sinal em um ambiente industrial.

Throughput Máximo, Throughput Médio e Latência

Os testes de desempenho de tráfego de dados nas duas configurações de rede (privada mista ou *Non Stand Alone* (NSA) e privada independente ou *Stand Alone* (SA)) apresentaram resultados satisfatórios em relação aos indicadores de *throughput* (capacidade de transferência de dados). A rede privada independente apresentou um valor médio de 723 Mbps para *downlink*. O valor máximo de transmissão alcançado foi de 830 Mbps, o que corresponde a 83% do limite teórico para a capacidade de transmissão máxima esperada para a infraestrutura de comunicação implementada no teste, sendo esses valores de *throughput* satisfatórios para a grande maioria das aplicações da indústria 4.0 e de acordo com a expectativa, considerando a conexão com o núcleo de rede limitada a 1.000 Mbps. Os resultados são apresentados na figura 1.

A capacidade teórica máxima é atingir taxas em torno de 1.000 Mbps para *downlink* e 200 Mbps no *uplink*.

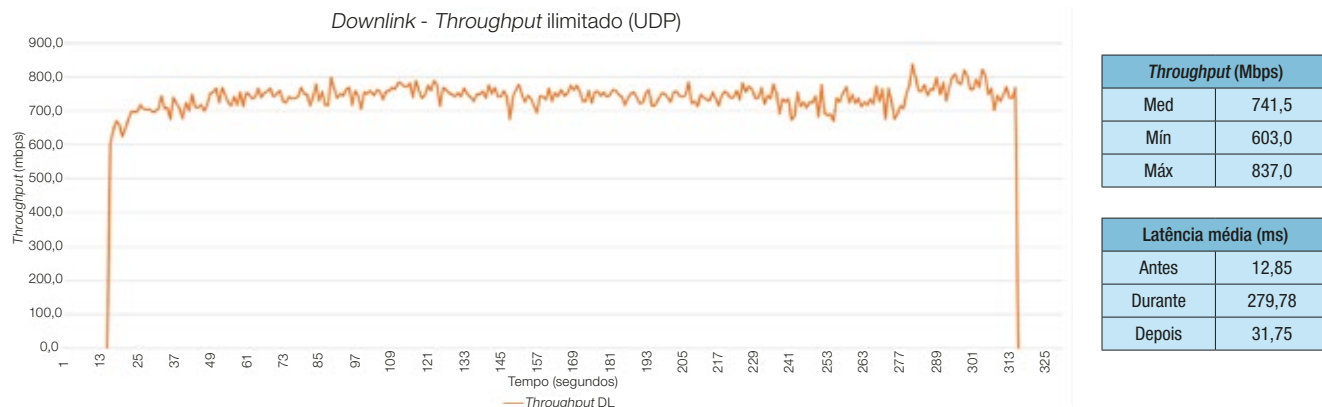


Figura 01 – Downlink – Throughput máximo (UDP) – Rede privada independente.

Latência Média

Os valores de latência (atraso na transmissão de um pacote de dados) foram medidos em situações distintas, nas quais foi variada a distância entre o receptor e o ponto de transmissão (antenas ou *Small Cells*), a quantidade de dispositivos conectados e o deslocamento dos dispositivos em relação ao ponto de transmissão dentro da área industrial. Com a posição fixa entre o receptor e o transmissor, a latência média foi de 26,91ms para *download* de dados utilizando pacotes TCP. Para o *uplink* na mesma configuração, a latência registrada foi de 143,04ms. Descontadas as condições de rede sem carga, tais valores são coerentes com o esperado para o *Release 15* do 5G e coerentes com as aplicações não síncronas esperadas para este momento.

Perdas de Pacotes

A perda de pacotes pode ocorrer em uma transmissão de dados e ser pronunciada em um ambiente industrial. A perda foi avaliada em uma condição de tráfego de rede conectando-se um dispositivo à rede privativa independente (SA), com *throughput* (tráfego) médio ajustado a 80% da carga e avaliando tanto operação de *download* e de *upload*.

A perda de pacotes com 80% de carga foi de 1,9% para o *downlink* e de 0,02% para o *uplink*, comprovando uma confiabilidade de 98,1% e 99,98%, respectivamente. Esses números são coerentes com o *Release 15* e demonstram a tendência de atingir o valor estimado de confiabilidade de 99,9999% esperada para o *Release 16*, com mecanismos de controle de latência já implementados (i.e. CoMP e URLLC). Os resultados são apresentados na figura 2.

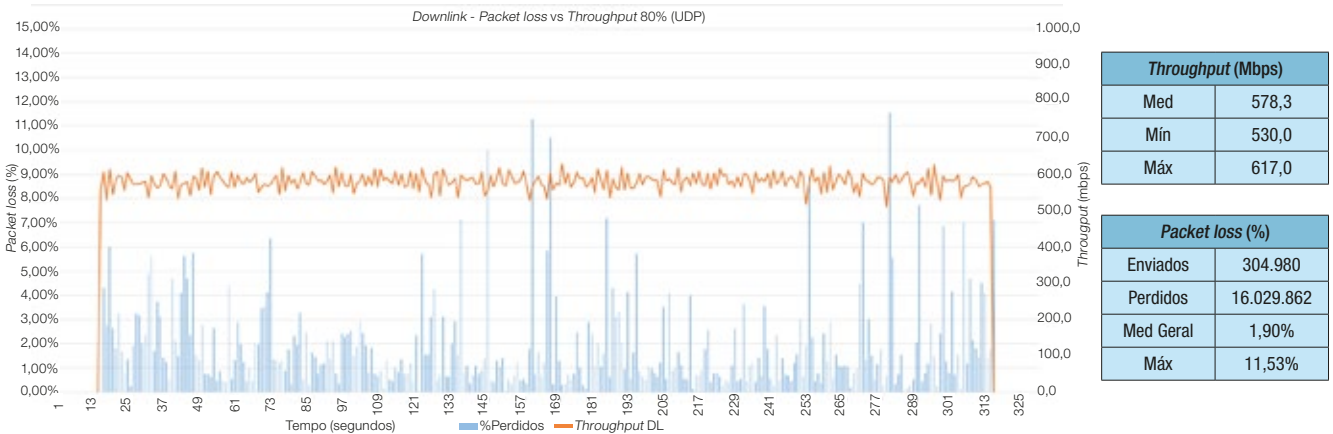


Figura 02 Uplink – Perda de pacotes com Throughput a 80% (UDP) – Rede privativa independente.

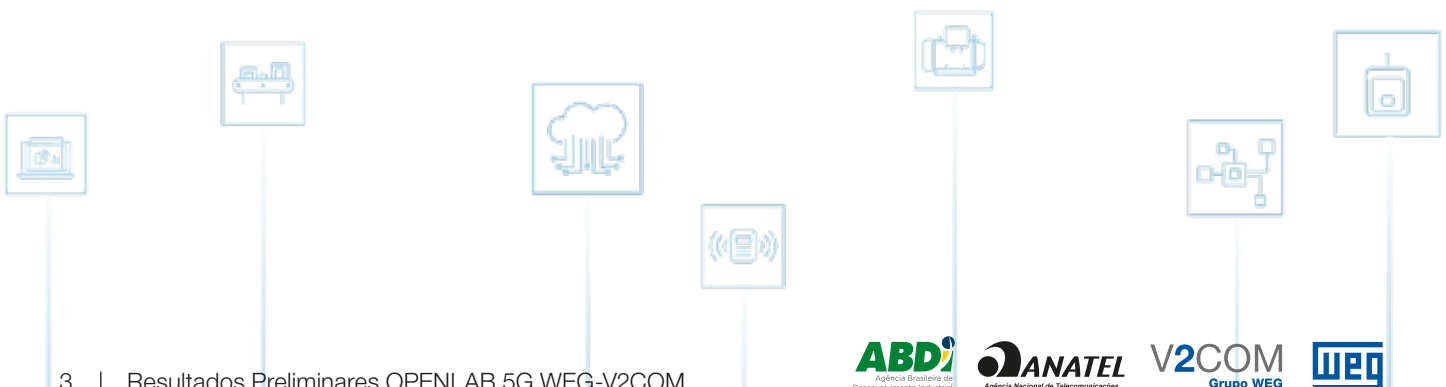
Throughput e Latência Versus Número de Dispositivos (Testes de Densificação)

Foram realizadas medições de *throughput* da rede privativa independente (SA) e sua latência associada na condição de vários dispositivos funcionando simultaneamente (testes de densificação).

Para *download*, o valor de *throughput* médio agregado foi de 553 Mbps (com pacotes TCP), sendo que o tráfego de dados ficou razoavelmente distribuído entre os 5 dispositivos conectados simultaneamente, conforme o esperado.

Na medição (com pacotes TCP), a latência média de *download*, ao longo do período de 60 segundos de medição dos 5 dispositivos, ficou dentro da faixa de 32ms a 43ms (dentro da faixa compatível com aplicações de IoT assíncronas).

Com base nas medições, é possível observar que, mesmo a 60 metros de distância da *Small Cell*, o dispositivo mantém um nível de sinal de -91 dBm, acima dos -95 dBm adequados para transmissão de dados. Além disso, para essa distância, constatou-se 446 Mbps de *download* e 126 Mbps de *upload* em média, mantendo latências de 39,64ms e 144,70ms para *download* e *upload* respectivamente, números aceitáveis para os casos de uso a serem utilizados na indústria com *Release 15* do 5G.



Estudo de Casos de Uso

Os resultados preliminares já capturados para os casos de uso previstos no projeto, incluindo comparativos com as conexões existentes que utilizam Wi-Fi.

IoT Industrial

Para os casos de uso de IoT Industrial, foi verificado que todos funcionaram com performances superiores ao Wi-Fi.

Os testes de comparação entre o 5G e o Wi-Fi demonstraram uma maior capacidade da rede 5G em absorver um maior número de dispositivos e com uma cobertura ampla, como demonstrado no mapa de cobertura das redes 5G.

Como exemplo pode ser citado o resultado do teste de *download* para comparação de desempenho entre a conexão Wi-Fi e 5G utilizando pacotes TCP. O *throughput* e a latência para o 5G foram, respectivamente, 776 Mbps e latência de 23,48ms, contra 58,40 Mbps e 114,42ms para a rede Wi-Fi. Como pode ser observado, há um desempenho melhor no 5G, corroborando o pensamento de que o 5G permitirá a massificação de aplicações na Indústria 4.0.

Dispositivos Inteligentes

Para o caso de uso das Câmeras Inteligentes, dado o *throughput* e latência do 5G, foi possível estabelecer os casos de processamento de imagens com câmeras simples e inferências de inteligência artificial, centralizado em servidor de *Edge Computing*, permitindo a instalação de tal aplicação de maneira flexível e adaptável, uma vez que o 5G não depende de conexões cabeadas típicas desses casos de uso.

Conclusões

Rede Privativa Mista

Com relação aos testes de desempenho quantitativo realizados na rede privativa mista (integrada), é possível concluir que:

- Os níveis de potência na área de atendimento da fábrica estão relativamente próximos aos níveis reportados pela predição e são suficientes para um bom desempenho do terminal CPE.
- Para *download*, em testes realizados com *smartphones*, o *throughput* máximo atingiu picos de 1.000 Mbps, tendo uma média de velocidade em 95% do valor teórico, demonstrando a capacidade de se alcançar velocidades próximas aos números teóricos quando utilizados equipamentos de maior valor agregado.
- Ao transitar pela área de cobertura, passando pela área abrangida por todas as oito *Small Cells*, observa-se que há variações não significativas no desempenho da transmissão de dados.

Rede Privativa Independente

Com relação aos testes de desempenho quantitativo realizados na rede privativa independente, é possível concluir que:

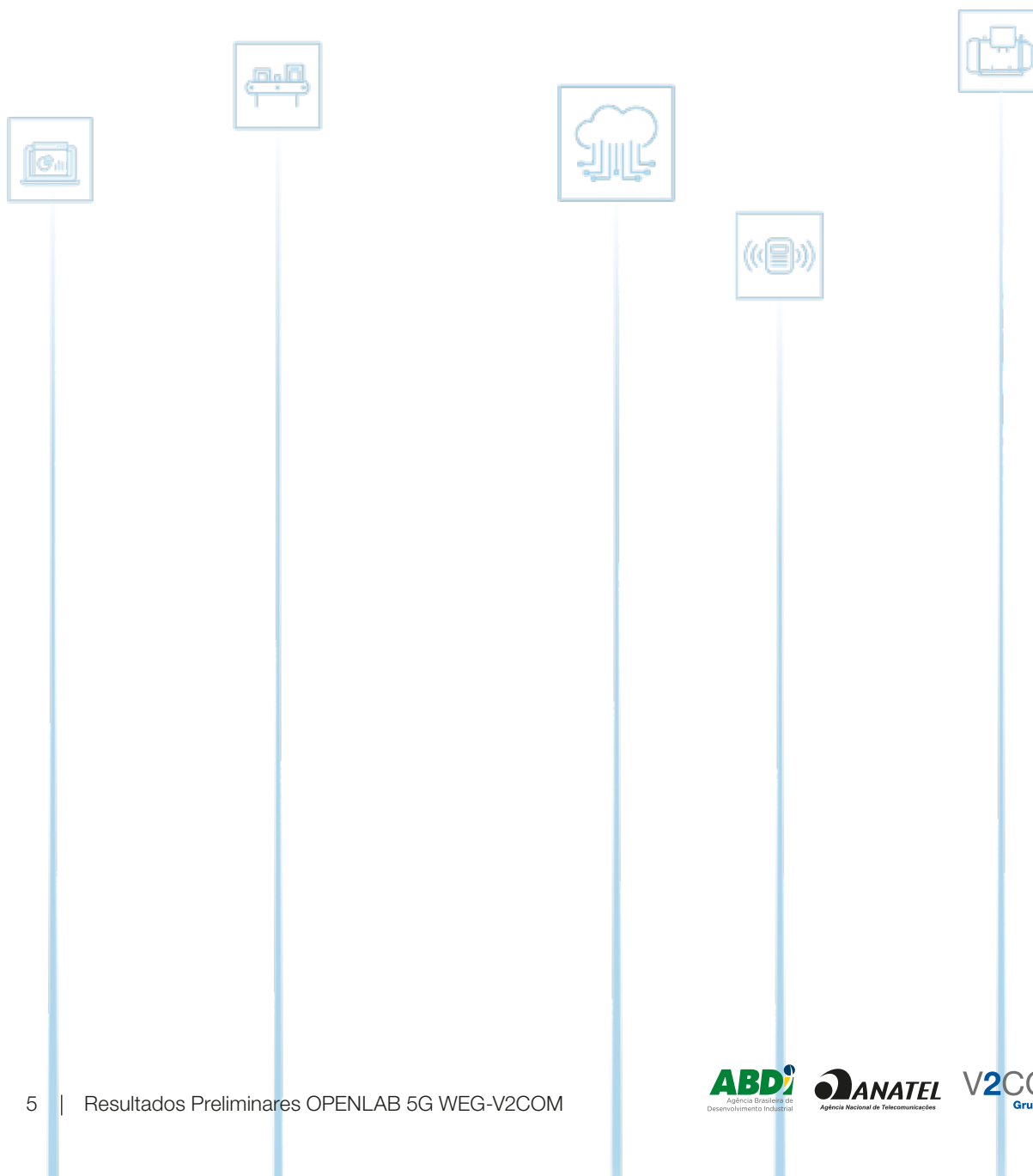
- Os níveis de potência na área de atendimento da fábrica estão relativamente próximos aos níveis reportados pela predição e são suficientes para um bom desempenho dos dispositivos conectados.
- Os valores de *throughput* são satisfatórios para a grande maioria das aplicações da indústria 4.0.
- Na medição com pacotes TCP, foram constatados resultados condizentes com o esperado no *Release 15* do 5G, e, conforme a diminuição do tráfego, há redução da latência. Nesse caso, observam-se valores de latência próximos de algumas unidades de ms que atenderiam grande parte das aplicações da indústria 4.0.
- Nota-se a importância do dimensionamento do sistema 5G de modo que a capacidade de *throughput* exigida não fique próxima de seu limite e, assim, não comprometa a latência na transmissão de dados. Outros mecanismos do sistema 5G podem ser também utilizados para a priorização de dados de determinados aplicativos que tenham maior exigência de latência, assim como também de *throughput*.
- Nos testes de diferentes distâncias entre dispositivos e *Small Cells* (antenas), constatou-se a tendência de diminuição de *throughput*, aumento de latência e de perda de pacotes proporcionalmente ao aumento do distanciamento entre eles. Os resultados sugerem que, para manter um bom desempenho, a máxima distância recomendada entre *Small Cells* em sua implantação, em um ambiente equivalente ao da WEG (ambiente industrial), seja algo em torno de 50 metros.
- Nos testes de densificação com 5 dispositivos conectados à rede e funcionando simultaneamente, o desempenho foi razoavelmente estável e com valores parecidos durante o período de medição, demonstrando a capacidade de suportar aplicações com alto consumo de banda ao mesmo tempo.

Considerações Sobre os Casos de Uso

- No geral, os testes realizados validaram as premissas de capacidade do 5G em seu Release 15, permitindo velocidades de tráfego de dados em torno de 80% do limite teórico, algo aceitável para um ambiente industrial onde, inerentemente, estão presentes interferências físicas e eletromagnéticas.
- Tais capacidades técnicas permitiram a instalação de casos de uso inovadores, não possíveis em redes Wi-Fi industriais, como o Robô de Inspeção com VR (Realidade Virtual) e as Câmeras Inteligentes.

Concluindo, com base nos testes realizados até o momento, é possível afirmar que o 5G permitirá, em seus aspectos técnicos, a criação de novos casos de uso na Indústria 4.0 e a massificação de casos de uso já existentes, mas disponíveis em número limitado.

Os resultados apresentados nos permitem avançar para as próximas etapas de avaliação de modelos econômicos de redes 5G, bem como recomendações de instalação e operação dessas redes, que serão detalhadas no relatório final ao término do projeto.



ABDI
Agência Brasileira de
Desenvolvimento Industrial

ANATEL
Agência Nacional de Telecomunicações

V2COM
Grupo WEG

WEG

