

TECNOLOGIA 5G

IMPACTOS ECONÔMICOS
E BARREIRAS À DIFUSÃO
NO BRASIL



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

TECNOLOGIA 5G

IMPACTOS ECONÔMICOS E BARREIRAS À DIFUSÃO NO BRASIL

Acesse a publicação
pelo QR Code abaixo.



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Gabinete da Presidência

Teodomiro Braga da Silva

Chefe do Gabinete - Diretor

Diretoria de Desenvolvimento Industrial e Economia

Vacância

Diretoria de Relações Institucionais

Mônica Messenberg Guimarães

Diretora

Diretoria de Serviços Corporativos

Fernando Augusto Trivellato

Diretor

Diretoria Jurídica

Hélio José Ferreira Rocha

Diretor

Diretoria de Comunicação

Ana Maria Curado Matta

Diretora

Diretoria de Educação e Tecnologia

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor

Diretoria de Inovação

Gianna Cardoso Sagazio

Diretora

Superintendência de Compliance e Integridade

Oswaldo Borges Rego Filho

Superintendente

TECNOLOGIA 5G

IMPACTOS ECONÔMICOS E BARREIRAS À DIFUSÃO NO BRASIL



Brasília, 2021



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

© 2021. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Gerência Executiva de Infraestrutura - GEINFRA

FICHA CATALOGRÁFICA

C748t

Confederação Nacional da Indústria.

Tecnologia 5G : impactos econômicos e barreiras à difusão no Brasil /
Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2021.

81 p. : il.

1.Tecnologia 5G. 2. Impactos Econômicos. 3. Difusão Tecnológica. I. Título.

CDU: 621.39

CNI
Confederação Nacional da Indústria
Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC
Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992
sac@cni.org.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O papel do fatiamento de rede nos cenários de aplicação do 5G.....	22
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Projeções de crescimento anual do PIB potencial <i>per capita</i> brasileiro em cenários com adoção veloz (Cenário I) e lenta (Cenário II) do 5G, em %	43
Gráfico 2 – Porcentagem da receita do setor móvel destinada a tributos gerais ¹ , específicos ² e ICMS, Brasil e América Latina.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre as principais características teóricas do 4G e 5G	20
Quadro 2 – Aplicações industriais viabilizadas pelo 5G	27
Quadro 3 – Compromissos de investimentos estabelecidos no edital da Anatel, por faixa de espectro e lote	50
Quadro 4 – Acessos mensais em fibra óptica e participação nos acessos totais de banda larga fixa, em milhões e %, 2014 - 2021	52
Quadro 5 – Alíquota nominal e efetiva do ICMS sobre o setor de telecomunicações, 2020	61
Quadro 6 – Orçamento planejado e executado do Fust, 2017-2020, em R\$ milhões correntes e %.....	63
Quadro 7 – Orçamento planejado e executado do Funttel, 2017-2020, em R\$ milhões correntes e %.....	63

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
SUMÁRIO EXECUTIVO	11
1 INTRODUÇÃO	15
2 5G: CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E IMPLICAÇÕES	19
3 APLICAÇÕES DO 5G E SEU IMPACTO	25
3.1 Indústria 4.0	25
3.2 Agropecuária	29
3.3 Mineração	32
3.4 Educação.....	33
3.5 Saúde.....	36
3.6 Cidades inteligentes	38
3.7 O impacto econômico do 5G	41
4 A PERSPECTIVA DE DIFUSÃO DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL	47
5 ENTRAVES À DIFUSÃO DO 5G NO BRASIL	55
5.1 A defasagem das leis municipais e estaduais de antenas	56
5.2 O papel do compartilhamento de infraestrutura.....	58
5.3 Carga tributária	60
5.4 Fundos setoriais	62
CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A - ANEXO METODOLÓGICO	79

APRESENTAÇÃO

A tecnologia 5G tem poder de transformar a economia e a sociedade, com forte impacto no mundo do trabalho, na vida das pessoas e no setor produtivo.

Do ponto de vista do setor industrial, as redes 5G são decisivas para aumentar o número de atividades passíveis de automação e digitalização, trazendo maior eficiência e proporcionando sistemas mais inteligentes de controle de estoques e de consumo de insumos para as linhas de produção.

Entre outros avanços, a nova tecnologia, que tem velocidade dez vezes superior à do 4G, torna as fábricas mais funcionais, com uma maior precisão do sistema de sensores. Isso permite uma melhor gestão da cadeia produtiva. Nesse contexto, o 5G tem o papel de prover a infraestrutura que permite às indústrias 4.0 um planejamento inteligente, direcionado e eficiente.

A plena realização do potencial do 5G dependerá, porém, da velocidade e do alcance de sua difusão, que demandará a expansão e a modernização da infraestrutura de telecomunicações direcionadas pelas empresas privadas.

O presente trabalho examina as principais barreiras à implementação da nova tecnologia no Brasil e as formas de estimular a difusão não apenas do 5G, mas também da cobertura de telecomunicações de maneira geral – do 4G ou da banda larga fixa, por exemplo.

O documento é uma contribuição da Confederação Nacional da Indústria (CNI) para subsidiar as discussões sobre os impactos econômicos do 5G e os desafios à sua implantação.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade

Presidente da CNI

SUMÁRIO EXECUTIVO

A tecnologia do 5G tem poder transformacional na economia e na sociedade. O 5G não apenas amplia o suporte ao tráfego de dados – atendendo à demanda de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial – mas propicia um tempo de resposta (latência) quase instantâneo, da ordem de 1 milissegundo, maior eficiência no consumo energético e a capacidade massiva de conexão de dispositivos em um espaço geográfico reduzido. Irá resultar na otimização da experiência do usuário comum, que terá uma conexão de melhor qualidade para trabalhar, acessar redes sociais e serviços de *streaming*; na elevação da produtividade e eficiência no uso de recursos, mediante inovações tecnológicas na indústria, setor primário e serviços; e em ganhos nos níveis de bem-estar social, particularmente tendo em vista as potenciais aplicações do 5G na provisão de serviços públicos e em setores com elevados retornos sociais, a exemplo de saúde e educação. Além de contribuir para avanços na produtividade do trabalho, o 5G abre assim caminho para uma quebra de paradigma na entrega de serviços públicos essenciais e contribui para ampliar a eficiência e racionalidade no consumo de recursos, principalmente no âmbito das cidades.

A realização das potencialidades do 5G dependerá da velocidade e sentido de sua difusão, que irá demandar a expansão e modernização da infraestrutura de telecomunicações direcionadas pelas empresas privadas. A trajetória futura dos investimentos estará sujeita aos termos do leilão de espectro de 2021 e contratos correspondentes, bem como à regulação da nova tecnologia. Assegurar que esta venha impulsionar a produtividade, melhorar a qualidade de vida das pessoas e seja instrumental na redução das desigualdades irá depender de políticas públicas direcionadas à sua ampla disseminação, igualdade de oportunidade de acesso e utilização na provisão de serviços públicos essenciais ao bem-estar da população. Este trabalho examina as principais barreiras à implementação da nova tecnologia no Brasil e as formas de estimular a difusão não apenas do 5G, como também a cobertura de maneira geral – seja por meio do 4G ou da banda larga fixa.

Em primeiro lugar, é necessário atualizar e uniformizar as leis municipais e estaduais de antenas, que ainda estão alicerçadas sobre uma percepção datada de infraestrutura de telecomunicações, e com isso impõem restrições não condizentes com as características físicas (e demais atributos) das novas infraestruturas, e condenam cidades e regiões à ausência ou má qualidade de cobertura. *Segundo*, é preciso que a Anatel, o executivo e demais poderes direcionem esforços para reduzir a insegurança jurídica associada ao compartilhamento de infraestrutura e o tornar mais atraente para o setor privado, na medida que configura um meio de atenuar significativamente os custos de implantação e operação da nova tecnologia.

Terceiro, é necessária uma reforma tributária que diminua o peso de impostos indiretos sobre os serviços de telecomunicações, cuja carga tributária ultrapassa 40% no Brasil, o que reduz o espaço não apenas para acelerar os investimentos no setor, mas o nível de consumo dos serviços. *Por fim*, seria imperativo utilizar os recursos dos fundos setoriais de telecomunicações de maneira mais eficaz e transparente, com desenhos avaliados *ex-ante* e alicerçados em evidências, para apoiar a expansão do 5G e reduzir a desigualdade no acesso à tecnologia. Ademais, o edital do leilão deveria incluir explicitamente a obrigação de cobertura do 5G em escolas públicas e unidades do SUS.

Em síntese, a efetiva implantação e aplicação do 5G depende de reformas que visem melhorar a qualidade do arcabouço legal, regulatório e tributário do setor de telecomunicações, inclusive dos fundos associados ao setor. Se por um lado as obrigações de investimento do Edital do 5G são necessárias, elas não são suficientes para garantir uma cobertura ampla e relativamente isonômica da rede, tanto do ponto de vista de acesso da população historicamente excluída quanto da utilização da tecnologia na provisão de serviços públicos de maior relevância. O 5G é uma tecnologia transformadora, e uma oportunidade incomum de o país impulsionar a produtividade ao mesmo tempo que reduz sua desigualdade. Não deve ser desperdiçada.

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia 5G configura a nova geração da telefonia móvel e evolução natural do padrão conhecido como 4G, e tem o potencial de impactar diretamente as telecomunicações por meio de melhorias na conexão que vão além da maior velocidade da rede. As primeiras especificações técnicas do 5G foram divulgadas em 2015 pela *International Telecommunications Union* – braço da ONU especializado em telecomunicações –, e em 2016 ocorreram os primeiros testes com a nova tecnologia, no Japão, Estados Unidos e Coreia do Sul. Desde então, iniciou-se uma corrida global – que segue em curso – para permitir sua inserção em larga escala, por meio da alocação de espectros de radiofrequências e expansão da infraestrutura de telecomunicações.

A pressa para modernização tecnológica se justifica pelo potencial contido no 5G de impactar as telecomunicações em uma magnitude superior à que consistiu a mudança do 3G para o 4G: o 5G não apenas amplia o suporte ao tráfego de dados – atendendo à demanda de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial – mas também propicia um tempo de resposta (latência) quase instantâneo, da ordem de 1 milissegundo, o que abre caminho para revoluções em uma série de tecnologias que, atualmente, são restritas pelas características tecnológicas da rede. Atributos igualmente relevantes incluem maior eficiência no consumo energético e a capacidade massiva de conexão de dispositivos em um espaço geográfico reduzido.

Dessa forma, pode-se visualizar três principais vetores de transformação do 5G na sociedade: otimização da experiência do usuário comum, que terá uma conexão de melhor qualidade para trabalhar, acessar redes sociais e serviços de *streaming*; elevação da produtividade e eficiência no uso de recursos, mediante inovações tecnológicas na indústria, setor primário e serviços; e ganhos nos níveis de bem-estar social, particularmente tendo em vista as potenciais aplicações do 5G na provisão de serviços públicos e em setores com fortes externalidades positivas, a exemplo de saúde e educação.

Após ser adiado pela pandemia da COVID-19, espera-se que o leilão de radiofrequências do 5G no Brasil ocorra até o final de 2021, com previsão para início da operação comercial a partir de julho de 2022. Mas o leilão em si não é suficiente para disseminação do 5G no território nacional: são necessários investimentos na ampliação da infraestrutura de fibra óptica e construção de novas antenas em uma escala inédita. Contudo, a heterogeneidade das leis municipais e estaduais de antenas, o estímulo limitado ao compartilhamento de infraestrutura, a alta carga tributária incidente no setor e a ineficiência de seus fundos de

desenvolvimento setorial constituem barreiras relevantes ao investimento nas infraestruturas essenciais ao 5G. Além disso, o acesso desigual ao 5G introduz o risco de concentração dos ganhos de bem-estar em uma parcela limitada da população, ampliando o grau de desigualdade no país. Na realidade, tão importante quanto ao acesso, é o uso do 5G em melhorar a qualidade dos serviços públicos e da vida urbana, principalmente da população de menor renda.

Embora o país esteja em uma posição relativamente avançada na implementação comercial do 5G – ao menos quando comparado a outros países da América Latina –, mantê-la irá depender de esforços no sentido de atualização do quadro legal e regulatória, promovendo sua difusão na economia, bem como de garantir acesso e direcionar a nova tecnologia para atualizar principalmente a educação público, a assistência de saúde e o sistema SUS, e serviços urbanos. A Seção 2 discute as características tecnológicas do 5G e como se compara com o 4G, enquanto a Seção 3 expõe as possíveis funcionalidades do 5G na indústria, agronegócio, mineração, e em setores críticos para reduzir a desigualdade no país: saúde, educação e desenvolvimento urbano. O trabalho conduz então um exercício de simular o impacto da introdução do 5G na produtividade do trabalho e PIB per capita ao longo desta década sob dois cenários: um de rápida difusão da tecnologia, em resposta às reformas legais e regulatórias necessárias, e um de lenta difusão, na ausência de um ambiente favorável. A Seção 4 posiciona o 5G no Brasil comparativamente a outros países, e os próximos passos a serem seguidos pela indústria com a licitação dos espectros em 2021, e a Seção 5 identifica os maiores entraves à implantação e difusão da tecnologia no Brasil, apontando possíveis caminhos para estimular o investimento privado e expandir a cobertura da rede. Por fim, a Seção 6 conclui de forma sintética o trabalho.

2 5G: CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E IMPLICAÇÕES

O 5G é a principal promessa de transformação do setor de telecomunicações. De fato, a passagem do 4G para o 5G representa um salto expressivamente maior do que foi para qualquer geração anterior, em virtude dos atributos técnicos da nova tecnologia, definidos pelo 3GPP – consórcio internacional da indústria de banda larga móvel – e pela *International Telecommunications Union* (ITU).

O 5G pode ser dividido em dois padrões técnicos principais: o 5G *non-standalone* (NSA) e o 5G *standalone* (SA). Enquanto o primeiro utiliza a rede de 4G para entregar uma velocidade maior que o 4G regular, o segundo configura o 5G “puro”, pois possui uma infraestrutura independente e própria, capaz de prover uma velocidade e densidade de conexão muito superiores a outras redes, além de uma latência extremamente baixa. O presente trabalho se referirá ao 5G *standalone* como apenas “5G”.

O Quadro 1 especifica as principais características técnicas do 5G em contraposição à tecnologia 4G. Ao passo que essa possibilita uma taxa de transferência de dados típica ao usuário – característica que determina a velocidade da rede esperada para o usuário comum – de 10 megabytes por segundo, o 5G pode alcançar 100 megabytes por segundo. Já a taxa de transferência de dados máxima do 5G alcança 20 gigabytes por segundo, contra 1 gigabyte por segundo do 4G. Similarmente, enquanto o ITU define para o 4G (padrão IMT-Advanced)¹ uma latência esperada de 10 milissegundos², o 5G (IMT-2020) poderá trazer esse parâmetro para 1 milissegundo. Na prática, tal atributo representa a quase instantaneidade no tempo de resposta entre um comando e a ação em um dispositivo conectado, viabilizando as chamadas missões críticas: atividades que necessitam de uma latência próxima a zero para funcionarem com confiabilidade, como a realização de cirurgias remotas e operação de carros autônomos.

1 O ITU nomeia os padrões de telefonia móvel de acordo com a nomenclatura *International Mobile Telecommunications* (IMT). Assim, a nomenclatura formal do 4G é IMT Advanced, enquanto o 5G é denominado IMT 2020.

2 A latência experimentada pelo usuário comum do 4G costuma ser maior, na ordem de 50-60 milissegundos no caso brasileiro (OpenSignal, 2020).

A densidade da conexão do 5G – ou seja, a capacidade de conectar dispositivos em um espaço reduzido – deve chegar a 1 milhão de conexões por km², 10 vezes superior às atuais 100 mil suportadas pelo 4G, aumentando a eficiência da rede. A maior eficiência também ocorre no âmbito do uso do espectro (5G possui eficiência espectral³ 3 vezes maior) e do consumo de energia (eficiência energética 100 vezes maior). Como o 5G deve elevar substancialmente o uso da rede, é fundamental que o consumo energético cresça a uma proporção menor que o tráfego de dados.

Por fim, o 5G possibilitará que a qualidade da conexão se mantenha até mesmo a uma mobilidade de 500 km/h – contra 350 km/h do 4G –, atributo relevante sobretudo no caso de meios de transporte de alta velocidade, e viabiliza uma capacidade de tráfego de área de até 10 Mb/s/m², configurando uma melhoria na taxa de tráfego servida por área geográfica.

QUADRO 1 – Comparação entre as principais características teóricas do 4G e 5G

	4G	5G
Taxa de dados máxima	1 Gb/s	20 Gb/s
Taxa de dados típica para usuários	10 Mb/s	100 Mb/s
Eficiência espectral	1x	3x
Mobilidade	350 km/h	500 km/h
Latência	10 ms	1 ms
Densidade de conexão	100.000 dispositivos/ km ²	1 milhão dispositivos/ km ²
Eficiência energética da rede	1x	100x
Capacidade de tráfego da área	0,1 Mb/s/m ²	10 Mb/s/m ²

Fonte: ITU.

Com base em tais padrões, a ITU também definiu ao longo dos últimos anos os principais cenários de aplicação do 5G:

1. Banda larga móvel aprimorada ("*Enhanced Mobile Broadband – eMBB*"), para lidar com volumes de transferência de dados cada vez maiores;
2. Comunicação massiva entre máquinas ("*Massive Machine-type Communications – mMTC*"), para aplicação maciça da Internet das Coisas, conectando uma alta densidade de aparelhos;
3. Comunicação de baixa latência ultra confiável ("*Ultra-reliable and Low Latency Communications – URLLC*"), voltada para eventos de missões críticas.

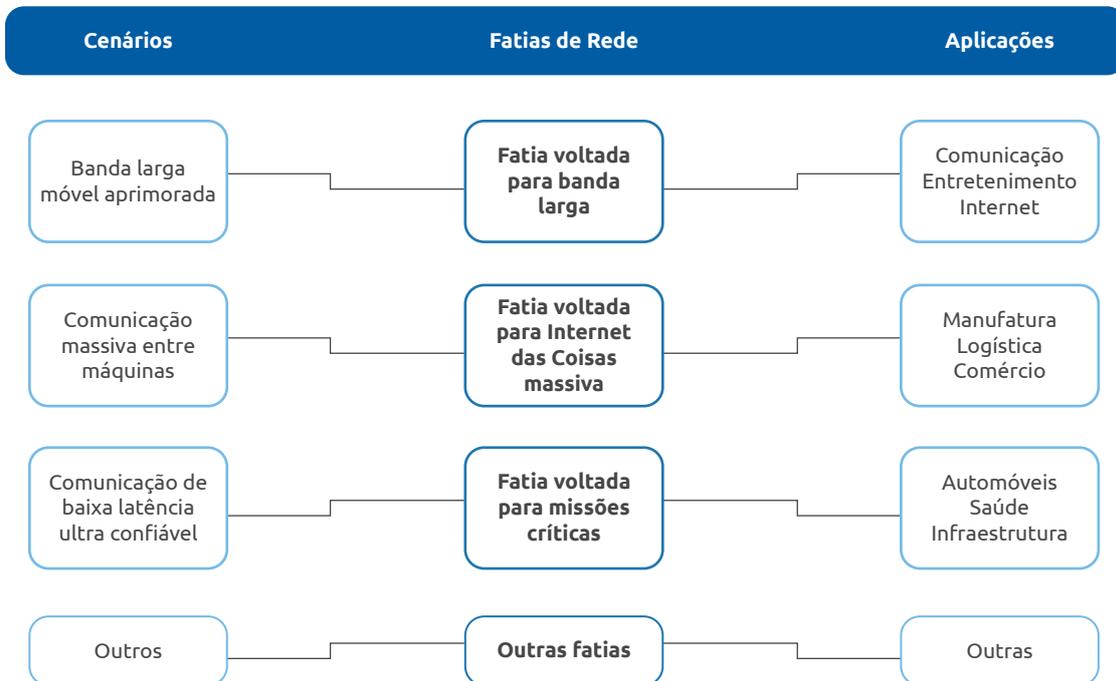
3 Quantidade máxima de dados que pode ser transmitida a um número específico de usuários por segundo, mantendo uma qualidade de serviço aceitável.

Dessa forma, o 5G terá grande repercussão não somente na qualidade da conexão do usuário comum, que demanda mais velocidade conforme sua rotina se integra cada vez mais à Internet, mas também possibilitará o avanço da automatização e digitalização da produção, exercendo um impacto direto na economia, e ainda na provisão de serviços públicos.

No âmbito da infraestrutura, o 5G requer uma densa rede de fibra óptica conectada a um grande número de antenas – da ordem de cinco vezes a mais do que a quantidade requisitada pelo 4G (ABRINTEL, 2021). Isso se deve à operação em frequências mais altas do espectro, o que reduz a área de cobertura das antenas. Visando comercializar o 5G em larga escala, as operadoras enfrentam o desafio de expandir e modernizar a infraestrutura de telecomunicações – tanto em termos de novas antenas como da instalação de fibra óptica.

Entre as principais inovações trazidas pelo 5G está o fatiamento de rede (*network slicing*). Com essa nova arquitetura, as operadoras poderão gerenciar, utilizando a mesma infraestrutura física, vários segmentos de redes lógicas ou “fatias” independentes, cada uma detentora de distintos parâmetros técnicos. Essa flexibilidade permite que provedores configurem as características de uma rede de acordo com as necessidades de velocidade e latência dos clientes.

Por exemplo, embora uma rede domiciliar possa se beneficiar de uma conexão de melhor qualidade, geralmente esta rede não necessitará dos mesmos atributos de conectividade que uma indústria de ponta ou atividade de missão crítica, de modo que a personalização das capacidades técnicas eleva a eficiência da conexão e permite a cobrança de acordo com tais especificidades, além de ter um potencial de redução dos custos de CAPEX e OPEX das empresas de telecomunicações (HAN *et al.*, 2017). A Figura 1 exemplifica como a tecnologia de *network slicing* poderá ser usada para atender às demandas do 5G de forma mais eficiente e centrada no usuário, com base nos cenários de aplicação do 5G estabelecidos pelo ITU.

FIGURA 1 – O papel do fatiamento de rede nos cenários de aplicação do 5G

Fonte: ITU, adaptado.

Aliado ao *network slicing* está outra funcionalidade que permite a personalização dos serviços: a possibilidade de redes privadas⁴, que consistem em redes sem fio cujo uso é limitado aos dispositivos autorizados pela organização (seja empresa, indústria ou governo) proprietária da rede, elevando a segurança dos dados, visto que esses estão “confinados” aos seus limites operacionais e geográficos. As redes privadas oferecem uso exclusivo da capacidade, sem a interferência de usuários externos, e cobertura exclusiva, o que é particularmente relevante para indústrias localizadas em regiões remotas, onde redes públicas inexistem ou não cumprem com os requisitos da atividade industrial (AIJAZ, 2020). Ficaria a cargo da organização o empreendimento da própria política de privacidade para autorizar usuários e garantir a segurança de dados sensíveis.

Embora já existam redes privadas sob a tecnologia do 4G, espera-se que essa tendência aumente expressivamente devido às funcionalidades de velocidade, latência e confiabilidade do 5G (GSMA, 2020a), assim como aos crescentes riscos de segurança cibernética que acompanham a digitalização da produção industrial.

4 As redes privadas podem ser implantadas por dois métodos. Um deles consiste no uso de uma infraestrutura física e espectro próprios (sendo esse alocado pela própria empresa, nos países onde isso é permitido, ou sublicenciado por uma operadora de telecomunicações). O outro por meio de um *slice* exclusivo fornecido por uma operadora de telecomunicações, que atende aos requisitos de conectividade e segurança da organização.

O avanço tecnológico e a flexibilização dos serviços de telecomunicações representados pelo 5G deverá levar o padrão a atender parte da crescente demanda por conectividade da economia. Contudo, o potencial de mudança introduzido não se limita ao âmbito econômico no sentido estrito: suas funcionalidades podem gerar melhorias na qualidade de vida da população e possibilitar a redução da desigualdade, se os ganhos forem refletidos na prestação de serviços públicos como educação básica, saúde, e nos elementos capazes de impulsionar a qualidade de vida urbana. Nesta perspectiva há dois elementos centrais: ampliar o acesso, garantindo sua democratização; e introjetar o uso do 5G no setor público, com ênfase nos serviços de maior impacto sobre o bem-estar das famílias, principalmente as de menor renda. Essa perspectiva está em linha com a visão de que o 5G deve promover impactos em dez Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas⁵ (Fórum Econômico Mundial, 2020), advindos sobretudo da sua contribuição à saúde e ao bem-estar. Na próxima seção discute-se um conjunto de possíveis aplicações da nova tecnologia, a fim de facilitar a compreensão a respeito de seus vetores de impacto.

5 Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem-estar; Educação de Qualidade; Igualdade de Gênero; Energia Limpa e Acessível; Trabalho Decente e Crescimento Econômico; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; e Ação Contra a Mudança Global do Clima.



3 APLICAÇÕES DO 5G E SEU IMPACTO

Os cenários de aplicação do 5G possuem, como um dos conceitos centrais, a Internet das Coisas (*“Internet of Things”* – IoT, em inglês): um sistema de objetos – ou “coisas” – imbuídos de sensores, *softwares* e outras tecnologias que permitem a coleta e troca de dados por meio de uma conexão à Internet. Tal tecnologia já está presente no cotidiano das sociedades e em aplicações voltadas à indústria e serviços: estimam-se 11,7 bilhões dispositivos IoT conectados mundialmente (IOT ANALYTICS, 2020). Não obstante, a massificação desta tendência de forma a permitir verdadeiros ambientes inteligentes – aqueles nos quais a tecnologia é usada para coletar dados e otimizar atividades do dia a dia e cadeias produtivas – está intrinsecamente ligada ao desempenho da rede na qual os dispositivos estão conectados.

O 5G surge, então, como uma forma de aprimorar as tecnologias IoT ao conectar uma grande quantidade de usuários e “coisas” com alta velocidade, capacidade de transporte de dados e confiabilidade de resposta. Contudo, além de otimizar funcionalidades existentes, o 5G tem o potencial de expandir o rol de aplicações da Internet das Coisas ao viabilizar inovações e processos que, atualmente, não são factíveis devido às restrições de conectividade.

Segue uma descrição – não exaustiva – das potenciais aplicações do 5G na indústria, e em outros setores, inclusive aqueles com impacto direto no bem-estar da população: saúde, educação e desenvolvimento urbano.

3.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 é comumente utilizado para referir-se à Quarta Revolução Industrial, que estaria em curso devido à acentuada cooperação entre sistemas físicos e digitais nos processos produtivos (SCHWAB, 2017). Enquanto a Terceira Revolução Industrial foi responsável por introduzir computadores e a Internet nas atividades industriais, a Indústria 4.0 seria um reflexo do aumento da escala, alcance e complexidade da digitalização da produção, dando origem a “fábricas inteligentes”. Tal conceito representa uma fábrica

digital e automatizada, que se baseia em sistemas ciberfísicos – sistemas de integração de *softwares* com a parte física das máquinas –, por meio dos quais é possível obter informações em tempo real sobre as cadeias de produção e mercado permitindo maior flexibilidade e velocidade de ajuste (CHEN, 2017).

Assim, a Indústria 4.0 não é constituída por um conjunto de tecnologias emergentes, mas representa a transição em direção a novos sistemas que foram construídos sobre a infraestrutura tecnológica da revolução anterior. Essa transição é viabilizada pelo uso da Internet das Coisas, inteligência artificial (IA), robótica e computação em nuvem e que, com a integração ao 5G, terão seus horizontes ampliados. Primeiramente, a adoção em *larga escala* da robótica e automatização – que só será possível com a capacidade de transportes de dados e rapidez no tempo hábil de resposta do 5G – aprimora os processos fabris ao diminuir os custos e riscos de erro humano, além de ter o potencial de reduzir o tempo de inatividade da produção e fornecer importante suporte em ambientes de trabalhos arriscados para a presença de trabalhadores.

Além disso, o 5G amplia o rol de funcionalidades e eleva a precisão do sistema de sensoramento do chão de fábrica e de ativos industriais, isto é, a utilização de sensores que coletam dados como a localização e gasto energético de equipamentos fabris, e detectam falhas em seu funcionamento, auxiliando na tomada de decisões. Com suporte da inteligência artificial, o sensoramento aplicado à Internet das Coisas permite uma melhor gestão da cadeia produtiva, de modo a reduzir o desperdício de recursos e as emissões de poluentes (ADRONIE *et al*, 2021). Nesse contexto, o 5G tem o papel de prover a infraestrutura que permite às indústrias 4.0 um planejamento inteligente, direcionado e eficiente.

O Quadro 2 detalha alguns casos práticos de uso do 5G. Pelas aplicações descritas, não se trata simplesmente na Indústria 4.0 de uma automatização mais intensa dos processos produtivos, mas também de maior disponibilidade e uso de informação, na medida que a conexão 5G é chave para viabilizar a coleta de dados em diferentes etapas de produção e logística.

QUADRO 2 – Aplicações industriais viabilizadas pelo 5G

Tecnologia	Aplicação	Descrição
Sensoriamento do chão de fábrica	Rastreamento de ativos	Indica a localização de máquinas e equipamentos, auxiliando em processos de mudança ou perdas de materiais.
Sensoriamento de máquinas e equipamentos	Gerenciamento de gasto energético	Coleta e análise de dados sobre o gasto energético dos ativos industriais, com o objetivo de identificar desperdícios e aumentar a eficiência do uso de recursos. Também pode ser usado para monitorar os gastos de luz, calor e ventilação da própria fábrica.
	Conexão de ativos industriais	Gera informações sobre a performance, tempo de uso e produtividade dos ativos industriais de modo a dar suporte à tomada de decisão e evitar paralisações inesperadas da produção (conceito de manutenção preditiva).
	Rastreabilidade de ponta a ponta	Possibilita o controle sobre a origem de cada componente fabril – que costumam vir de variados fornecedores –, assim como sua trajetória na cadeia produtiva. Uma base de dados abrangente, que combina o rastreamento dos ativos com informações de fornecedores, pode diminuir os riscos da produção, melhorar o controle de qualidade e facilitar a conformidade com exigências regulatórias.
Visão de máquina (<i>Machine Vision</i>)	Monitoramento fabril	Uso de câmeras de alta definição que capturam a execução de tarefas e, em conjunto com sensores IoT e inteligência artificial, emitem alertas em caso de eventos que ponham em risco a segurança dos trabalhadores ou que possam afetar o ciclo produtivo.
	Identificação de falhas	A integração de câmeras IoT e inteligência artificial também permite o monitoramento visual de defeitos na linha de produção. O algoritmo é capaz de realizar decisões rápidas de aceitação ou rejeição de determinado item, o que reduz o risco de produtos defeituosos e os custos atrelados. Outras ferramentas de análise de dados podem utilizar essas informações para identificar possíveis causas para os defeitos, aumentando a eficiência da cadeia produtiva.
Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR) ⁶	Perícia e colaboração remota	Possibilitam que profissionais localizados em diferentes regiões geográficas colaborem em projetos e forneçam assistência técnica com eficácia, de forma a reduzir custos de viagem e providenciar orientações imediatas no caso de mau funcionamento de máquinas e equipamentos. Adicionalmente, pode ser usado para treinamento de funcionários de forma mais segura.
Automatização	Robôs e <i>cobots</i>	Robôs são capazes de repetir ciclos programados por tempo indeterminado, enquanto os <i>cobots</i> (“robôs colaborativos”) podem, adicionalmente, alterar seus padrões de trabalho com base nas ações de trabalhadores humanos e realizar novas tarefas sem necessidade de reprogramação. Ambos têm o benefício de executar tarefas com padrões precisos, reduzindo o tempo de inatividade da produção e a taxa de erro.
	Veículos autoguiados (AGVs) e robôs móveis automatizados (AMRs)	Ao automatizar tarefas que envolvem mover ativos de um lugar para outro na planta fabril, AGVs e AMRs são capazes de tornar uma fábrica mais dinâmica e produtiva.

Fonte: GSMA (2020b e 2020c).

⁶ Ao passo que a realidade aumentada permite sobrepor elementos virtuais à visão da realidade – como por exemplo através de câmeras de celular ou lentes adaptadas –, a realidade virtual requer o uso de um dispositivo como óculos ou headsets especializados para visualizar um ambiente diferente do real.

Cabe ressaltar que, atualmente, predomina na indústria o uso de redes com fio, que utilizam cabos para conectar os dispositivos à Internet por meio de tecnologias como *Ethernet* e *Fieldbus* (AIJAZ, 2020). Isso porque, apesar de redes sem fio – como o Wifi, Bluetooth e 4G – proverem maior flexibilidade e segurança aos trabalhadores e menores custos de instalação (WILLIG *et al.*, 2005), as tecnologias sem fio existentes não atendem aos requerimentos de conectividade da indústria em termos de confiabilidade de resposta e baixa latência. No entanto, com a introdução do 5G, a nova geração móvel deverá aliar a praticidade da rede sem fio às demandas tecnológicas da indústria.

Nesse sentido, o 5G tem o potencial de otimizar o espaço físico das fábricas e melhorar processos produtivos, dispensando o uso de uma extensa rede de cabos que, no caso de aplicações que requerem mobilidade – como veículos guiados automaticamente (AGVs) –, é desgastada pelo movimento constante, e pode inclusive restringi-lo. Contudo, isso não significa a extinção do uso do cabeamento – as tecnologias com e sem fio poderão ser combinadas de acordo com as necessidades e limitações dos ambientes industriais (AIJAZ, 2020).

Na Alemanha, país que concebeu o termo “Indústria 4.0”, testes realizados em uma fábrica de componentes aeroespaciais indicam que o uso do 5G tem o potencial de diminuir a taxa de retrabalho da produção de *blisks*⁷ de 25% para 15%, além de proporcionar uma redução de 75% no tempo gasto na fase de *design* de processo (ERICSSON, 2018b). O sistema de teste 5G foi conectado a um sensor de aceleração montado diretamente no *blisk* no maquinário de produção, de modo que o espectro de vibração foi transmitido em tempo real via 5G para o sistema de avaliação. A baixa latência – próxima a 1 milissegundo – ajuda a correlacionar a vibração com a posição da ferramenta, permitindo ajuste imediato do processo de produção.

Similarmente, em uma refinaria da Shell em Rotterdam, foram realizados testes com câmeras ultra HD conectadas ao 5G, que processaram imagens de mais de 160 mil km de tubulações por meio da inteligência artificial, identificando áreas com alto risco de corrosão e o melhor método de reparo. Como resultado, o desenvolvimento de uma manutenção preditiva pôde não apenas reduzir em 20% os custos de inspeção e aumentar em mais de 20% a vida útil da tubulação, mas também gerar ganhos de 10% na produtividade da refinaria (ACCENTURE, 2021).

7 Componente de motores de avião formado por uma roda e discos adjacentes, constituindo uma única peça.

No Brasil, a empresa Huawei testou a rede 5G – com autorização especial da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) – em seu centro de distribuição em São Paulo. A rede foi utilizada para conectar veículos guiados automaticamente (AGVs), sensores RFID⁸ e câmeras de segurança. Como resultado, o ciclo de produção passou de 17 horas para 7 horas e houve queda de 35% nos erros com o envio de material, representando ganhos de 25% na produtividade com a automatização (TELESÍNTESE, 2020).

Os ganhos de produtividade proporcionados pelo uso de equipamentos inteligentes não se limitam às grandes empresas: a inserção de sensoriamento, computação em nuvem e Internet das Coisas em micro, pequenas e médias empresas de vários segmentos industriais brasileiros foi traduzida em um aumento médio estimado de 22% na produtividade do trabalho, no contexto de um programa de aprendizagem industrial executado pelo SENAI entre 2018 e 2019.

O atraso histórico do país no âmbito da inovação, uso de tecnologias de ponta na produção industrial e baixa participação da própria indústria no PIB tornam imperativo sua modernização. Nesse sentido, a incorporação do 5G nas atividades industriais é um passo indispensável para promover a competitividade da indústria nacional e alinhar o Brasil às tendências de produção modernas, de modo a flexibilizar as linhas de produção, reduzir custos, elevar a eficiência no uso dos insumos e ampliar a participação do país nas cadeias globais de valor da era digital.

Contudo, o impacto do 5G na economia não se limita ao setor industrial: suas potencialidades estão presentes, também, nos setores primários da produção, com equivalente poder de transformação, a exemplo das aplicações na agropecuária e mineração, objeto da discussão que segue.

3.2 AGROPECUÁRIA

O aumento da produção de alimentos por meio de práticas sustentáveis de agricultura, visando reduzir o desperdício e contaminação de recursos naturais, e de forma a acompanhar o crescimento da população mundial – que deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2019) – é um dos grandes desafios da humanidade. Atualmente, o Brasil tem um papel relevante no comércio de alimentos globalmente, na medida em que é o maior exportador líquido de produtos agropecuários, com crescente participação na oferta mundial (OMC, 2020).

⁸ A identificação por radiofrequência (RFID) refere-se à tecnologia na qual dados codificados em etiquetas adaptadas são capturados por um dispositivo leitor através de ondas de rádio.

Apesar do expressivo aumento de produtividade experimentado pelo setor agropecuário brasileiro desde a década de 1970 (BANCO MUNDIAL, 2017; IPEA, 2018), a expectativa de elevação da participação do Brasil na oferta mundial, em conjunto com o imperativo de se minimizar o impacto ambiental da produção, exige métodos que aumentem a eficiência do uso dos insumos e da terra. Nesse contexto, a “agricultura de precisão” – sistema de gestão que leva em conta a variabilidade espacial do campo com o objetivo de obter retornos sustentáveis nos âmbitos social, econômico e ambiental (EMBRAPA, 2014) – representa um importante passo na ampliação da oferta de alimentos de forma sustentável e competitiva.

Similarmente ao que ocorre na indústria, a Internet das Coisas já é aplicada à produção agrícola, por meio de *drones* e sensores no solo; contudo, as atuais redes Wifi e 4G não são suficientes para suportar a digitalização do campo em larga escala ou a exploração total de seu potencial. A disseminação de redes 5G será responsável por escalar o uso de dados e inteligência artificial para elevar a produtividade do campo e, uma vez que a nova geração móvel estiver disponível para a população e mais difundida, tais tecnologias devem se tornar acessíveis a pequenos e médios produtores (TANG *et al.*, 2021).

Dentre as funcionalidades do 5G no campo, está o uso de sensores – alimentados por energia solar ou baterias – que coletam informações do solo em tempo real, tais como umidade, temperatura, acidez, presença de nutrientes e luminosidade, com o objetivo de informar a quantidade exata de água e fertilizantes necessários para uma irrigação e nutrição adequada, com base no tipo de planta cultivado (TANG *et al.*, 2021). Isso já é realidade, por exemplo, em estufas de produção de tomate na China, onde sensores conectados ao 5G mantêm a temperatura, umidade e fertilização a níveis adequados (ROY, 2019). Utiliza-se assim de forma mais eficiente os recursos naturais, evitando o desperdício – até 60% da água utilizada na irrigação é desperdiçada, dentre outros recursos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017).

No âmbito da pecuária, o sensoriamento de dispositivos como colares, brincos e câmeras, associados a *softwares* de inteligência artificial, pode fornecer uma análise detalhada do comportamento dos animais e de aspectos de sua saúde, como peso, quantidade de ração ingerida e detecção de doenças, de modo a possibilitar uma ação mais assertiva para o tratamento. Em 2019, testes com o 5G na Inglaterra empreenderam com sucesso colares que comunicam com o sistema de ordenha de leite eletrônico e outros dispositivos, incluindo cortinas que se abrem de acordo com o clima e um sistema de alimentação inteligente, que entrega comida automaticamente no celeiro por meio de trilhos montados no teto (REUTERS, 2019). Além disso, a automatização da ordenha pode aumentar a velocidade do processo e disponibilizar dados sobre o leite produzido, como a quantidade e qualidade, sinalizando anormalidades no produto.

Com a utilização de *drones* – também imbuídos de uma série de sensores, como os de imagem multiespectral, hiperespectral e infravermelho térmico – e inteligência artificial, será possível escanear vastas áreas, com objetivos que vão desde o mapeamento 3D da topografia até a contagem de plantas e animais, rastreamento de focos de incêndios, monitoramento do gado e saúde da lavoura, permitindo a rápida identificação de pragas, que atualmente são responsáveis pela perda de 20 a 40% das plantações todo ano (FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 2020). Embora *drones* já sejam utilizados em alguma medida para mapeamento da área e análise da plantação, seu uso é limitado pela baixa autonomia do dispositivo e pouca capacidade de transmissão de dados da rede (NOKIA; OMDIA, 2020).

O 5G permitirá que *drones* – assim como óculos de realidade virtual e aumentada – sejam usados para visualizar o território em tempo real com câmeras de alta definição, a uma velocidade e qualidade muito superiores às do 4G, e com uma eficiência energética mais elevada. Mais além de monitorar, os *drones* podem espalhar sementes no solo e aplicar pesticidas – reduzindo o risco de contaminação dos trabalhadores –, assim como entregar produtos para indivíduos situados em diferentes localizações de uma área rural.

As funções de plantio, irrigação, aplicação de pesticidas, colheita, empacotamento de produtos e monitoramento de animais também poderão ser exercidas por robôs providos de *softwares* de inteligência artificial, e que navegam nas plantações através de sistemas de GPS. O 5G introduz a possibilidade de conectar veículos pesados – como grandes colheitadeiras, tratores e caminhões – para operarem de forma autônoma. De fato, em 2020 uma empresa chinesa lançou o primeiro trator inteligente movido a hidrogênio, que pode ser autônomo ou controlado à distância (TANG *et al.*, 2021). Além disso, sensores conectados ao maquinário têm o potencial de melhorar o gerenciamento não somente do que é produzido, mas do nível de combustível restante e falhas no funcionamento de peças do veículo, reduzindo o tempo perdido com reparos que interrompem a produção inesperadamente. De maneira geral, o 5G amplia as funcionalidades e expande a “independência” dos robôs por meio do *machine learning*.

Os investimentos em inovação e a aplicação de novas tecnologias foram a força motriz do crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) do agronegócio brasileiro em décadas recentes (GASQUES, 2012). Embora uma nova etapa do movimento modernizador já esteja em curso com a utilização de tecnologias IoT no campo, as funcionalidades transformadoras descritas acima requerem dispositivos mais complexos, com elevada velocidade de conexão e capacidade de transporte de dados, de modo que o 5G será a tecnologia ideal para atender aos requisitos de conectividade que devem aprimorar a agricultura de precisão. A expectativa é que o 5G seja um catalisador para o incremento da eficiência no campo e, dada a relevância do setor na economia brasileira, o país pode se beneficiar em grande medida da modernização induzida por essa tecnologia.

3.3 MINERAÇÃO

O setor, de mineração, que durante décadas enfrentou desafios relacionados à segurança ambiental e dos trabalhadores – que resultaram em uma série de acidentes –, além da ausência de recursos tecnológicos para a exploração em locais de difícil acesso, pode experimentar um ponto de inflexão com o uso do 5G. A aplicação do 5G na mineração envolve, basicamente, a instalação de uma rede privativa que permite a contínua comunicação entre a infraestrutura e o centro de operações da mina, ampliando o monitoramento de suas atividades. O 5G viabiliza, por exemplo, mecanismos de localização de alta precisão – de menos de 1 metro – para o maquinário e trabalhadores por meio da tecnologia MEC (*Multi-Access Edge Computing*), característica de grande relevância em minas subterrâneas, onde não há sinal de GPS (NOKIA; OMDIA, 2020).

Além disso, o sensoriamento de máquinas e equipamentos tem o potencial de fornecer o status em tempo real dos ativos produtivos da mina, sinalizando o eventual mau funcionamento de algum componente que possa afetar a produção ou a segurança dos operários (MA, 2020). Nesse caso, a associação do 5G a tecnologias de realidade aumentada introduz a possibilidade de um profissional analisar eventuais problemas sem precisar sair do centro de operações, o que reduz os custos de tempo e manutenção, e dispensa a exposição de funcionários a ambientes de alto risco, fator que também pode ser facultado pelo uso de robôs e veículos autônomos ou guiados remotamente. Tais aplicações não são possíveis sob o 4G e Wifi, pois esses não fornecem a qualidade de conexão necessária para transmissão de vídeos de alta definição com instantaneidade no tempo de resposta – restrições que devem ser eliminadas com o 5G.

Na Suécia, testes com 5G em uma mina foram realizados para automatizar equipamentos de perfuração (perfuratrizes), que podiam mover-se livremente e executar tarefas repetitivas de forma autônoma, em contraste com a solução usual de operação manual das máquinas. Constatou-se que a automatização da tarefa de perfuração do solo elevaria as horas de operação de 5 mil para 7 mil por ano, um aumento de 40% (ERICSSON, 2016). Além disso, os testes constataram que a automatização dos caminhões pode reduzir o consumo de combustível em até 10%, na medida que tem o potencial de tornar o fluxo de transporte mais eficiente, com velocidade estável e menos interrupções desnecessárias.

De fato, testes da Huawei em uma mina chinesa demonstraram que a automatização de caminhões com uso do 5G elevou a velocidade média dos veículos de 10 km/h para 35 km/h. O país inaugurou sua primeira rede privativa de 5G voltada para uma indústria de mineração em 2020 e, segundo a empresa responsável (*Shandong Energy Group*), a baixa latência é crucial para a operação de equipamentos a centenas de metros no

subsolo. Ademais, o 5G configura uma solução móvel para a conectividade do setor, cuja natureza de constante mobilidade e perfuração do solo impossibilita o uso de cabos para conectar equipamentos.

As aplicações detalhadas aqui demonstram o estado da arte do 5G em três setores da economia – indústria, agricultura e mineração – que no Brasil representam 27,2% do PIB (CNI, 2021), e com grande poder de impulsão na economia, evidenciando o peso que a nova geração móvel terá no desenvolvimento econômico e tecnológico das próximas décadas. É importante ressaltar que o impacto do 5G não se limita às aplicações expostas acima, tampouco aos setores retratados: espera-se que sua adoção se faça presente em praticamente todas as atividades econômicas, incluindo o setor de serviços, construção, finanças, comércio, entretenimento e outros, com potencial de transformação (radical) desses setores, inclusive pelo fato de que algumas das funcionalidades citadas possuem externalidades que vão além da redução de custos, como a mitigação do impacto ambiental e a ampliação na segurança de trabalhadores, mais além da melhoria da qualidade dos serviços públicos e atividades urbanas.

3.4 EDUCAÇÃO

A Internet se mostrou uma ferramenta de grande utilidade para a educação em todos os níveis, na medida que possibilita o acesso a uma quantidade praticamente ilimitada de informações de forma gratuita, tornando a aprendizagem mais rápida, didática e abrangente. No Brasil, 65% dos alunos que têm acesso à Internet a usam para estudar, e 28% para se comunicar com professores (TIC DOMICÍLIOS, 2019) – número que poderia ser maior não fossem as lacunas socioeconômicas que impedem a universalização do serviço. Não obstante, é clara a tendência de crescimento do ensino à distância, que já compõe 50,7% das novas matrículas no ensino superior (INEP, 2019).

Nesse contexto, o uso de ferramentas tecnológicas avançadas é essencial para garantir a qualidade da educação brasileira, cujas demandas de modernização com equidade foram evidenciadas pela pandemia de COVID-19. Atualmente, as maiores restrições da tele-educação residem em problemas de conectividade, que geram atrasos e até incapacidade de acesso a determinados conteúdos, prejudicando principalmente alunos mais pobres ou moradores de locais com cobertura insuficiente. O 5G surge, então, não somente como um facilitador do ensino virtual – por conta de sua capacidade de transmissão audiovisual com alta qualidade e baixíssima latência –, mas como um viabilizador de tecnologias que têm o potencial de revolucionar a transmissão do conhecimento por meio da interatividade, inclusão e personalização do ensino.

O uso de dispositivos de realidade aumentada, por exemplo, oferece oportunidades de combinar elementos do mundo real e digital de forma lúdica, a fim de interagir com conceitos de difícil compreensão (DAKE; OFOSU, 2019). Os alunos poderiam apontar as câmeras de celulares e *tablets* para objetos – como um modelo do corpo humano, ou uma planta de jardim – e rapidamente observar nomenclaturas e explicações sobre seu funcionamento, recurso que também pode ser aplicado em exposições de museus ou zoológicos. Já a realidade virtual tem o potencial de ser utilizada para visualização de locais históricos e em experimentos científicos, mitigando o risco de acidentes, ou até em treinamentos militares.

A realidade virtual permite, inclusive, que alunos e professores de diferentes regiões geográficas se reúnam na mesma sala de aula virtual tridimensional (NEAL *et al.*, 2019), de modo a ampliar a qualidade do ensino em locais onde há baixa oferta de profissionais da educação. Embora isso seja viabilizado pelo ensino à distância tradicional, a interação exclusivamente por meio de *webcams* carece da comunicação face a face e linguagem corporal que desenvolvem as habilidades sociais, possíveis somente com a experiência imersiva da realidade virtual. A baixa latência também possibilita o ensino à distância de conteúdos caracterizados pelo dinamismo, como aulas de música, teatro e educação física. O papel do 5G configura, assim, a eliminação dos atuais obstáculos à massificação de tais tecnologias: a limitada largura de banda e demora no tempo de resposta da conexão.

Adicionalmente, a integração da AR e VR a tecnologias hápticas – que reproduzem as sensações, toques e movimentos de objetos físicos – introduz formas “táteis” de aprendizado, tornando as interações mais ricas, o que é fundamental para alunos com deficiências intelectuais, que necessitam de estímulos para além daqueles de uma sala de aula tradicional. De maneira geral, a aplicação do 5G, em conjunto com outras tecnologias, proporcionará a customização do ensino de acordo com as necessidades e características de cada aluno: *softwares* de inteligência artificial, por exemplo, poderão elaborar planos de estudos e orientações de acordo com a análise do desempenho do estudante e tarefas feitas em sala. Com o avanço das técnicas de IA e robótica, vislumbra-se a possibilidade de robôs voltados ao suporte e aprendizado de alunos com necessidades especiais (NEAL *et al.*, 2019).

Se por um lado o 5G introduz a possibilidade de um ensino equitativo e inclusivo – principalmente pelo potencial de remover barreiras geográficas da educação –, cabe questionar se também será capaz de reduzir os entraves sociais geradores da desigualdade. A disseminação das externalidades positivas do 5G na educação de forma isonômica dependerá da existência de infraestrutura adequada em escolas públicas, tanto em zonas periféricas das grandes cidades – como favelas – quanto em áreas rurais. No entanto, a educação pública

brasileira sofre com a precarização do ensino e baixa qualidade das instalações: apenas 33,7% das escolas municipais dispõem de Internet para aprendizagem em sala de aula, e laboratórios de informática são realidade em somente 38,3% (TIC EDUCAÇÃO, 2019). Por outro lado, 65,3% das escolas privadas utilizam Internet em atividades de ensino, e 65,5% possuem laboratórios de informática. A rede pública necessita convergir, e ambas ampliar acesso e conectividade.

As disparidades estão presentes, também, entre as regiões, dado que a proporção de salas de aula conectadas no Sul do país (76,3%) é mais de 4 vezes superior do que no Norte (18,5%), por exemplo. A desigualdade no ensino é fruto da ausência de um projeto bem estruturado para a educação universal e de qualidade nos anos fundamentais, além de problemas de má gestão, corrupção e subinvestimento. Nesse contexto, é possível que o 5G torne-se um vetor de ampliação da desigualdade, sem o aproveitamento por parte da rede pública de ensino, que engloba 81% das matrículas.

Na realidade, o problema da exclusão digital vai além das condições de acesso físico, e está atrelado a desigualdades socioeconômicas (VAN DJIK; HACKER, 2003), como restrições financeiras e a falta de oportunidades para uso de tecnologias, de modo que aqueles com menores níveis de renda e de educação são menos propensos a utilizar a Internet – o que configura um entrave à tele-educação. De fato, enquanto 95% dos domicílios de classe A possuem computador, essa proporção cai para 44% para a classe C, e 14% para a classe DE (TIC DOMICÍLIOS, 2019). Além disso, 24% dos moradores de áreas rurais e 30% dos indivíduos analfabetos ou que somente tiveram acesso à Educação Infantil apontam a falta de habilidades digitais como principal motivo para não acessar a Internet. Dessa forma, a eficácia do 5G para tornar a educação de qualidade mais abrangente esbarra em restrições não apenas no âmbito da infraestrutura de telecomunicações, mas da disparidade de renda entre as classes sociais. A educação de qualidade e universal deve ser entendida com o passo essencial para romper com o ciclo de desigualdade e promover maior igualdade de oportunidades. A introdução do 5G necessita ser vista como uma oportunidade e um desafio de primeira grandeza para um setor – educação pública – essencial para um país mais produtivo e menos desigual.

Como se verá a seguir, as inovações que o 5G viabilizará no setor de saúde são catalisadoras de tecnologias mais modernas e flexíveis. Porém, o potencial de melhorar a qualidade dos tratamentos está atrelado a esforços de investimentos e melhorias no Sistema Público de Saúde (SUS), frente à maior qualidade da infraestrutura nos hospitais privados. Este é o tema da próxima subseção.

3.5 SAÚDE

O setor de saúde vem ensaiando mudanças de forma a se adaptar às demandas por força de uma proporção crescente de idosos na população e prevalência de doenças crônicas. A pandemia de COVID-19 acelerou esta dinâmica e evidenciou a necessidade de modelos de atendimentos mais flexíveis e eficientes. Nesse contexto, a combinação das características técnicas do 5G com outras tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, Internet das Coisas, realidade virtual e aumentada, introduz um potencial de transformação nos tratamentos de saúde, tanto no âmbito do atendimento presencial quanto à distância.

Mais além do que facilitar a prática da telemedicina, que no cenário atual enfrenta restrições de ordem técnica, como o baixo suporte da rede a transmissões de vídeo de alta definição, o 5G expande as possibilidades do monitoramento remoto das condições de saúde através da utilização de dispositivos inteligentes, como objetos vestíveis (*wearables*). Já existem, sob o Wifi e 4G, relógios digitais que acompanham a frequência cardíaca ou sensores que emitem alertas sobre o nível de glicose no sangue, no caso de pacientes diabéticos. No entanto, o 5G configura uma rede mais confiável, suporta uma densidade de dispositivos conectados 10 vezes maior – viabilizando a massificação de tais dispositivos – e fornece maior eficiência no consumo de energia, o que prolonga a bateria dos sensores.

Assim, sob o 5G, abrem-se portas para a maior adesão e variedade de dispositivos vestíveis. Sinais vitais como pressão sanguínea e oxigenação poderão ser transmitidos remotamente para profissionais de saúde, emitindo alertas no caso de sinais fora do comum ou até mesmo informar se o paciente está tomando a dosagem correta de um medicamento. Com isso, certas doenças poderiam ser diagnosticadas antecipadamente, de maneira que o tratamento precoce abre margem para menores índices de internação; redução de visitas de profissionais de saúde às casas dos pacientes; e diminuição de visitas ambulatoriais aos hospitais, aumentando a eficiência do uso das instalações médicas e reduzindo a lotação (STL PARTNERS, 2019).

A rede 5G também possibilitará que sistemas baseados em inteligência artificial transformem o setor de saúde em direção a um modelo mais centrado nas amostras de exames e sintomas de cada paciente. Ao passo que a análise individual de profissionais da saúde requer tempo e está sujeita a falhas operacionais, tal tarefa pode ser executada por algoritmos de *machine* e *deep learning* com menor taxa de erro e maior acurácia, se comparado ao desempenho de técnicos de laboratório, por exemplo (MOHANTA *et. al.*, 2019). Nesse sentido, a infraestrutura 5G viabiliza a transmissão massiva de dados através de uma banda larga aprimorada, o que tornará os *softwares* de inteligência artificial mecanismos mais rápidos e confiáveis para analisar dados de pacientes em tempo real.

Latif *et al.* (2017) argumenta que essa massa de dados de saúde e informações comportamentais pode fornecer insumos para a pesquisa médica, contribuindo, no limite, para desvendar as causas de determinadas doenças e propor soluções na área da saúde. Por exemplo, quando informações sobre a alimentação, localização geográfica, padrões de viagem e círculos sociais são combinadas com dados sobre saúde (como resultados de exames e informações genéticas), é possível investigar os padrões de doenças de uma população, e com isso formular políticas públicas de saúde mais adequadas.

Outra funcionalidade introduzida pelo 5G são as ambulâncias conectadas. A saúde móvel possibilitará que a equipe pré-hospitalar envie dados e sinais vitais do paciente de dentro da ambulância, o que abre espaço para diagnósticos remotos e maior celeridade no tratamento dos pacientes. Além disso, por meio da captura de vídeo de alta definição e em tempo real, profissionais da saúde localizados no hospital podem visualizar o estado do paciente e orientar os paramédicos (USMAN *et al.*, 2019). Tal recurso já se encontra em fase de testes: no Reino Unido, um médico munido de um *headset* de realidade virtual pôde guiar com sucesso um paramédico localizado em uma ambulância conectada ao 5G, por meio de procedimentos baseados em tecnologia de luvas tácteis (ERICSSON, 2020).

De fato, a baixa latência propiciada pelo 5G – menor que 1 milissegundo para aplicações críticas – constitui o principal vetor de transformações da nova geração móvel no setor de saúde, na medida que possibilita, também, as cirurgias remotas. Com o 5G, o atraso de transmissões virtuais torna-se praticamente imperceptível, permitindo que um cirurgião comande, à distância, braços robóticos em tempo real através de tecnologias hápticas, tornando a interação mais realista para o médico. Tal recurso tem o potencial de ampliar a qualidade da saúde onde há baixa disponibilidade de profissionais médicos, ou levar o tratamento imediato nos casos de emergência, além de reduzir custos de viagem.

Algumas experiências podem ser citadas: na China, um cirurgião operou, por meio de ferramentas hápticas conectadas ao 5G, um paciente a 3 mil km de distância com doença de Parkinson, em um procedimento de implante de estimulação cerebral profunda (CHINA DAILY, 2019). Um outro exemplo vem da Itália, onde um otorrinolaringologista realizou uma operação em cordas vocais de um cadáver estando a aproximadamente 15 km de distância do corpo (ACEMOGLU *et al.*, 2020).

Por fim, o 5G, vai intensificar o uso de realidade virtual e aumentada na saúde, não apenas em cirurgias e no treinamento de profissionais, mas também em áreas não tão óbvias, como em tratamentos de distúrbios psicológicos: as tecnologias de VR e AR podem ser usadas em terapias de dessensibilização, auxiliando no tratamento de pacientes com fobias. Nos EUA, com o suporte do 5G à realidade virtual e aumentada tem sido testado para terapias de distração em pacientes hospitalizados (AT&T, 2019).

O impacto do 5G vai muito além de ampliar a qualidade das teleconsultas: a tecnologia abre caminho para uma provisão de serviços médicos de qualidade mais acessível à população, além de possibilitar inovações na área da saúde com potencial de elevar o bem-estar e a expectativa de vida. O quanto antes a infraestrutura 5G estiver presente, mais facilmente os sistemas de saúde poderão fornecer soluções flexíveis e centradas no paciente.

No Brasil, o estado deficiente da infraestrutura de saúde pública introduz o risco de que os benefícios do 5G na saúde fiquem concentrados no setor privado, onde há mais fluidez nos investimentos e rapidez na absorção de novas tecnologias. Não obstante o fato de que 71,5% dos brasileiros não possuem plano de saúde (IBGE, 2019b) – evidenciando a alta dependência da população, em especial os mais pobres, ao Sistema Único de Saúde (SUS) – os gastos do governo com saúde pública são da ordem de 3,9% do PIB, enquanto os gastos privados no setor compõem 5,4% do PIB (IBGE, 2019a). Vale sublinhar que a despesa em saúde pública do Brasil (42% do total do setor) se situa abaixo da média da OCDE (de 73%).

As disparidades na provisão de serviços são verificadas no âmbito da infraestrutura de conectividade, uma vez que 15% dos estabelecimentos públicos de saúde não têm acesso à Internet, ao passo que o acesso é universal nos estabelecimentos privados (TIC SAÚDE, 2019). Ademais, nas Unidades Básicas de Saúde (UBS), principal porta de entrada para o SUS, o problema é ainda maior: 18% das UBS não têm conexão. Este é um quadro que resulta em menor eficiência nos atendimentos, além de afastar os postos de saúde de possíveis práticas mais flexíveis para a população, como o teleatendimento. Torna-se então um desafio para as entidades governamentais a promoção de infraestrutura de Internet – considerando a rede 5G – na saúde pública, assim como soluções baseadas em tecnologias conectadas. Caso contrário, a presença do 5G no setor pode gerar maior desigualdade, uma vez que suas inovações estariam desproporcionalmente concentradas em unidades privadas.

Na subseção seguinte, são detalhadas as aplicações do 5G na provisão de serviços essenciais que impulsionam o desenvolvimento urbano e dão origem às chamadas cidades inteligentes.

3.6 CIDADES INTELIGENTES

Cidades inteligentes são aquelas que utilizam a tecnologia para solucionar problemas e elevar a qualidade de vida da população, por meio de melhorias no transporte, provisão de serviços essenciais e lazer. A infraestrutura tecnológica – que inclui uma série de dispositivos, como sensores, computadores e *smartphones* – é parte indissociável de uma cidade inteligente. Contudo, seu impacto no ambiente urbano depende da integração

das infraestruturas urbanas – como sistemas de iluminação pública e sinais de trânsito, saneamento, transporte e energia – com aplicação da Internet das Coisas, só possível mediante uma conexão de alta velocidade, capacidade de transporte de dados, mobilidade e baixa latência, como o 5G.

Uma das aplicações mais relevantes do 5G para o desenvolvimento das cidades é a interação entre sensores para evitar o desperdício de recursos e tornar a produção de serviços públicos mais eficiente e seu acesso mais equitativo. A adoção de um sistema de iluminação pública de LED integrado a sensores de proximidade e condições do ambiente, por exemplo, permite um ganho de eficiência energética de até 90% (BACHANEK *et al.*, 2021). Nesse caso, sensores são acoplados às luminárias, que captam informações sobre movimento de pedestres e veículos, temperatura, luz ambiente e grau de poluição do ar, permitindo que um controle central não apenas administre o nível de luminosidade das lâmpadas de acordo com as necessidades do ambiente, mas também identifique com precisão luminárias com defeito, de forma a gerar economias expressivas no consumo de energia e na manutenção dos equipamentos.

Já a instalação de sensores com conexão 5G nas tubulações de água e esgoto ajudam a identificar anomalias na qualidade da água, além de detectar vazamentos e necessidades de reparo na infraestrutura, reduzindo o desperdício e os riscos de contaminação ao meio ambiente. Tal atributo tem elevada importância, visto que uma cidade perde, em média, entre 20 e 40% da água potável produzida em decorrência de vazamentos (VERIZON, 2021). O monitoramento dos sistemas de distribuição de água por meio de sensores inteligentes pode identificar vazamentos e falhas – na cidade de Las Vegas (EUA), a implantação de sensores reduziu a perda de água decorrente de vazamentos de 30% para 5%. Além disso, o envio de *feedback* ao residente (via aplicativo, e-mail ou SMS) tem o potencial de elevar a conscientização sobre o uso da água e reduzir o consumo em até 15% (MCKINSEY, 2018b). E há uma dupla dimensão da redução dos desperdícios: o 5G também possibilita uma economia de 50% no consumo de bateria dos sensores, o que amplia o tempo de vida e reduz custos operacionais dos sistemas de distribuição de água (IDRICA, 2021). Uma conexão ampla entre as tecnologias de monitoramento de tubulações, via 5G, pode diminuir em mais de 10% os custos com energia elétrica das concessionárias de água (VERIZON, 2021).

No âmbito da mobilidade urbana, o 5G fornece os insumos necessários ao estabelecimento de redes de sinais de trânsito inteligentes: câmeras e sensores acoplados a semáforos captam veículos se aproximando, identificam sua velocidade e trajetória, e compartilham as informações com outros semáforos, que ajustam coordenadamente o tempo de mudança nas luzes de acordo com o fluxo de automóveis. Em um corredor em Pittsburgh (Estados Unidos), por exemplo, a utilização de sinais de trânsito inteligentes facultou uma redução

de 25 a 26% no tempo de deslocamento, haja vista a queda de 30% no número de paradas durante o trajeto (REVISTA TIME, 2019). Esse recurso pode ser utilizado, também, para priorizar a passagem de ambulâncias e viaturas de forma a reduzir o tempo de resposta a emergências com segurança. Resultados preliminares de testes em Detroit indicaram que, nos cruzamentos contemplados com tais sistemas, foi possível obter uma redução de 20% no tempo de resposta a emergências.

Uma das principais “vitrines” do 5G reside em seu potencial de possibilitar a operação de veículos autônomos, ou seja, capazes de transportar pessoas ou bens sem o suporte de um condutor humano. A expectativa é que, com essa tecnologia, as pessoas poderão se dedicar com segurança a outras atividades durante o percurso, otimizando o tempo e reduzindo o estresse do trânsito, além do potencial de diminuição na taxa de acidentes e emissão de poluentes. No cenário atual, fabricantes de veículos elétricos, como a Tesla, comercializam carros com a função “autopiloto”, que permitem aceleração, frenagem e até condução em vias com faixas bem delimitadas, por meio de câmeras e sensores acoplados – que não requerem conexão à Internet. No entanto, a própria empresa esclarece que os carros não são autônomos, pois ainda necessitam da atenção total do motorista e controle do volante.

Assim, os carros com esse atributo são enquadrados no nível 2 de automatização, de acordo com a classificação do consórcio SAE International⁹. Os níveis mais altos requerem, sobretudo, uma ampla capacidade de transporte de dados para realizar conexões do tipo *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) e *Vehicle-to-Everything* (V2X) sem atrasos no tempo de resposta, na medida que se trata de uma atividade de missão crítica, em que erros põem em risco a vida humana. O papel do 5G nessa indústria, portanto, consiste em conceder os atributos técnicos que viabilizarão a operação de carros em níveis mais altos de automatização, atingindo, no limite – e conforme o desenvolvimento da tecnologia –, o nível 5. Além disso, a *network slicing*, propiciado pelo 5G, garante uma rede com maior segurança cibernética e livre de interferências externas.

No Reino Unido, por exemplo, a implantação de carros autônomos poderá reduzir em até 10% o tempo gasto em congestionamentos e remover até 370 mil toneladas de CO₂ emitidos por ano (O2 TELECOM, 2019), por meio da escolha de rotas mais eficientes e redução de erros que levam a acidentes. Similarmente, na Alemanha, sistemas de direção autônoma, via 5G, poderão reduzir em 70% o número de colisões traseiras até 2025 (ACCENTURE, 2021). O uso de veículos autônomos está sendo testado, também,

⁹ A escala do SAE International vai do nível 0 – que significa completa ausência de automatização – até o nível 5, em que veículos podem dirigir de forma completamente autônoma, em quaisquer localizações geográficas e terrenos. Nas escalas intermediárias, o nível 1 significa que o veículo pode dar assistência em apenas algumas tarefas; o nível 2 implica em veículos que podem acelerar e conduzir autonomamente, mas ainda requerem atenção total do piloto; o nível 3 permite maior liberdade, mas também requer atenção do condutor, e sinaliza quando o motorista deve tomar controle do volante; e no nível 4 o carro pode dirigir sozinho, mas apenas dentro de uma área mapeada.

para transportes públicos. Na cidade chinesa de Zhengzhou, com a instalação de uma rede de internet 5G, a companhia Yutong desenvolveu uma plataforma de nuvem para direção autônoma e um sistema de monitoramento de ônibus em tempo real. Os ônibus da empresa – classificados no nível 4 de automatização – podem atingir 20 km/h, mudar de faixa, parar nos semáforos e nas estações de ônibus autonomamente.

Por fim, também será possível diminuir o tempo gasto no trânsito e deslocamento com a implantação de estacionamentos inteligentes. Testes com o 5G na cidade de Birmingham – onde a procura por vagas nas ruas é responsável por 30% do congestionamento urbano – usaram, com sucesso, câmeras de alta definição capazes de identificar vagas livres, cuja localização era exposta em um aplicativo de celular. Dessa forma, os motoristas poderiam se dirigir diretamente para o local, poupando tempo e reduzindo as emissões de poluentes dos veículos.

Diferentemente do que ocorre nos setores de educação e saúde, nos quais há evidentes disparidades na provisão de serviços públicos e privados, as aplicações do 5G nas cidades – como na mobilidade urbana e provisão de saneamento – têm o potencial de impactar a qualidade de vida da população de forma mais isonômica, visto que todos que acessam esses serviços se beneficiariam das externalidades positivas associadas à tecnologia, ainda que o potencial de ampliar a desigualdade esteja presente na medida em que o espaço urbano é comumente segregado, e regiões periféricas são tipicamente sub-infraestruturadas. Tal potencial esbarra assim na precariedade da infraestrutura urbana e desigualdade socioespacial das cidades, refletidas, por exemplo, na precariedade e má distribuição do transporte público em zonas periféricas, em contraposição com a melhor qualidade, integração e regularidade do transporte em áreas centrais e mais ricas.

Da mesma forma, os possíveis benefícios da sensorização dos sistemas de distribuição de água – e de modo mais geral de saneamento básico – afetará, evidentemente, aqueles que de fato tenham acesso aos serviços – o que não é realidade para parte considerável da população do país. O sucesso do 5G em reduzir desigualdades no ambiente urbano está condicionado, portanto, à uma política urbana capaz de atenuar separações socioespaciais, e promover maior inclusão de moradores de favelas e periferias, além de modernizar a estrutura tecnológica das cidades.

3.7 O IMPACTO ECONÔMICO DO 5G

Uma série de estudos tentou estimar a totalidade do impacto econômico da difusão do 5G, tipicamente agregando os impactos setoriais descritos nas subseções anteriores. Partindo da premissa de que o 5G estará plenamente acessível a partir de 2022, Campbell *et al.* (2019) utilizam matrizes insumo-produto com projeções de CAPEX e vendas ponderadas

pelo impacto do 5G em cada setor para estimar as contribuições da nova tecnologia no PIB mundial, encontrando um valor de US\$ 2,1 trilhões até 2035, e metodologia similar é empregada em relatório das empresas Nokia e Omdia (2020) para a América Latina. Já Katz e Cabello (2019) examinam quatro cenários para a adoção do 5G até 2030: 5G apenas em áreas urbanas; com cobertura de qualidade nas cidades, mas deficiente no campo; cobertura um pouco melhor no campo; e cobertura de qualidade em todo o território. Com base em estimativas dos próprios autores sobre o ecossistema de transformação digital dos países e o efeito da variação desses índices no PIB, concluem que o cenário de cobertura total levaria a ganhos de US\$ 292,8 bilhões no PIB da América Latina, dos quais US\$ 104 bilhões para o Brasil. Já de acordo com a Accenture, com a adoção do 5G nos Estados Unidos e Europa, e utilizando modelos dinâmicos com dados em painel, projeta-se ganhos de U\$ 1,5 trilhão e U\$ 1 trilhão até 2025, respectivamente (ACCENTURE, 2019a e 2019b). Outros estudos se baseiam em pesquisas de mercado com as principais empresas de cada setor, como o da STL Partners e Huawei (2019b), que projeta U\$ 1,4 trilhões adicionais para a economia global até 2030.

É possível observar que as estimativas apresentam alta variabilidade, dado que adotam premissas consideravelmente distintas, e ocasionalmente irrealistas – como a hipótese de plena disponibilidade do 5G a partir de 2022. Além disso, são poucos os que apresentam valores para o Brasil, e quando o fazem, as projeções em termos absolutos dificultam a compreensão dos ganhos adicionais da nova tecnologia. Dessa forma, este trabalho tenta medir o impacto que o 5G terá no potencial de *crescimento* não inflacionário do país, com base em duas trajetórias de penetração do 5G.

Três premissas nortearam as projeções: o crescimento do PIB potencial é resultado do crescimento da população em idade ativa (PIA) e da produtividade do trabalho; a adoção do 5G somente impactará no último indicador; e a tecnologia estará disponível comercialmente a partir de 2022 – prazo estipulado pelo edital do leilão para operação nas capitais. Assim, foram simulados dois cenários: no mais otimista (I), a cobertura¹⁰ do 5G cresce aceleradamente entre 2022 e 2030, alcançando 81% no último ano¹¹; no cenário alternativo (II), a cobertura atinge 40,5% ao final do período¹².

A estimativa do impacto no potencial de crescimento da economia – 0,05 p.p. para cada elevação de 10% na cobertura do 5G – provém de Castells. et al (2020), que utilizam dados empíricos de 17 anos para 164 países e estimam a variação no PIB decorrente de uma ampliação no uso de tecnologias móveis mais avançadas, a partir da quebra estrutural das

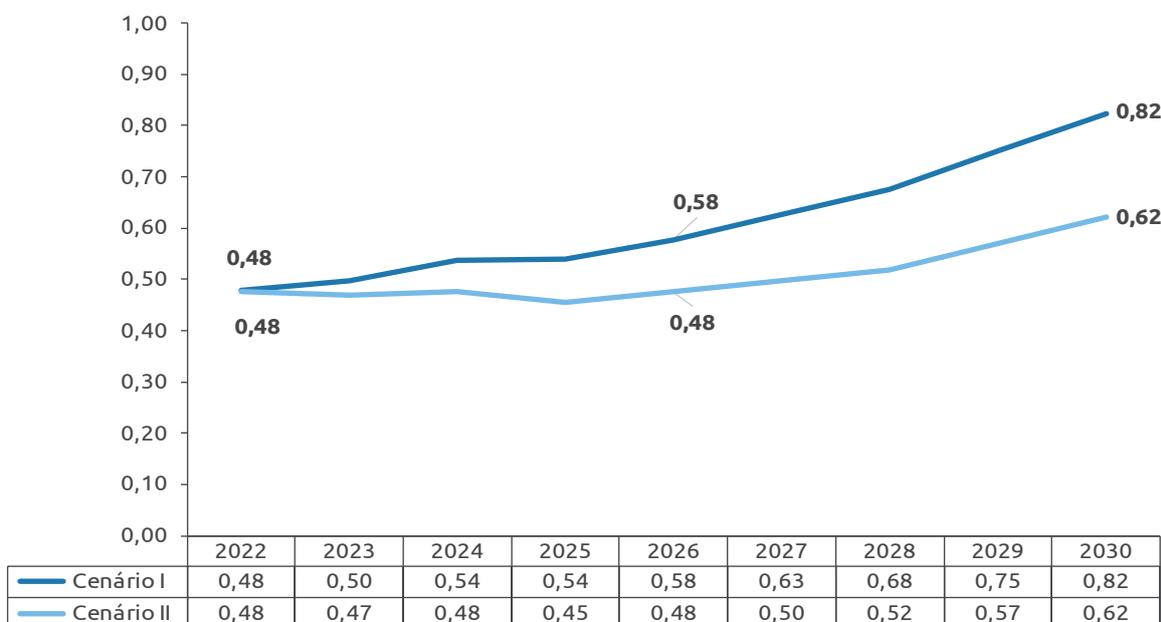
10 Parcela do 5G nas conexões móveis.

11 Estimativas da Bain & Company para o Brasil, presentes no relatório “5G no Brasil: Como as operadoras podem maximizar seu valor em um cenário desafiador”. Bain & Company, 2021.

12 Baseado em projeções da GSMA. “The mobile economy: Latin America”. GSMA, 2020.

substituições do 2G para 3G e do 3G para 4G. No primeiro caso, o ganho de produtividade decorrente da disseminação mais acelerada do 5G, em comparação com o cenário mais pessimista, induz um crescimento anual adicional do PIB potencial per capita da ordem de 0,03 p.p. já em 2023, 0,07 p.p. em 2027 e 0,20 p.p. no ano de 2030 – o que equivale a um acréscimo de R\$ 81,3 bilhões no PIB neste ano frente à uma disseminação mais lenta. É importante ter por referência o fato de que 0,20 p.p. representa nada menos do que um quarto do crescimento não inflacionário do PIB (potencial) per capita, uma proporção muito elevada sob qualquer perspectiva¹³. O Gráfico 1 abaixo denota as projeções para ambos os cenários.

GRÁFICO 1 – Projeções de crescimento anual do PIB potencial per capita brasileiro em cenários com adoção veloz (Cenário I) e lenta (Cenário II) do 5G, em %



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE, IPEA, Banco Mundial, Bonelli e Bacha, GSMA (2020) e Bain & Company (2021).

A simulação indica que a velocidade de disseminação das conexões 5G e sua proporção dos acessos móveis totais teriam impacto expressivo para a economia já no curto prazo. Dado que a cobertura está subordinada à capacidade das empresas de telecomunicações de investirem e expandirem a infraestrutura da rede, os resultados da simulação sublinham a importância das reformas abordadas na Seção 5, em contraposição à manutenção do *status quo* refletindo-se no Cenário II. A diferença dos dois cenários seria uma medida do custo de oportunidade da não execução das reformas necessárias para a ampla difusão do 5G.

¹³ A metodologia empregada na simulação está disponível no Anexo Metodológico deste documento.

As decisões a serem tomadas nos próximos anos – sejam políticas, regulatórias ou econômicas – serão cruciais para definir quais países se situarão à frente da revolução trazida pelo 5G e, conseqüentemente, se beneficiarão de seus ganhos de produtividade, inovação e bem-estar. Embora o Brasil esteja à frente de outros países da América Latina na introdução do 5G em escala comercial, há uma extensa agenda de reformas e investimentos prioritários em infraestrutura necessários, tanto do ponto de vista da produtividade quanto da equidade dos efeitos do 5G. Nessa última dimensão, a universalização de serviços essenciais – que incluem a saúde e educação *de qualidade* – é condição para que os ganhos de bem-estar não se concentrem em uma parcela menor ou mais limitada da população.



4 A PERSPECTIVA DE DIFUSÃO DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL

Como destacado na Seção 2, há dois tipos de padrões globais do 5G: o 5G *non standalone* (NSA), que utiliza a infraestrutura e espectro do 4G para prover uma maior qualidade de conexão; e o 5G *standalone* (SA), que possibilita uma velocidade e capacidade de transporte de dados superiores as de quaisquer redes – inclusive as do 4G –, além de uma latência próxima a zero, por meio de uma infraestrutura própria e uso de frequências mais altas de espectro.

A vantagem do 5G NSA é que essa tecnologia configura um meio de disponibilizar uma conexão de melhor qualidade onde os espectros específicos do 5G ainda não foram alocados. Na medida em que os países aloquem os espectros da nova tecnologia, a tendência é que redes de 5G *non standalone* transicionem ou sejam complementadas por redes de 5G *standalone* (GSMA, 2021b). Contudo, não obstante o fato de o 5G teoricamente ser independente da rede de 4G existente, as operadoras não devem construir uma nova tecnologia completamente apartada do 4G (TELETIME, 2021a). Salvo nos projetos *greenfield*, o que ocorre é a adaptação da infraestrutura já instalada do 4G para a tecnologia 5G, com vistas a evitar custos e preservar o investimento já realizado.

Atualmente, apenas redes 5G NSA estão disponíveis comercialmente no Brasil, por meio da tecnologia conhecida como 5G DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*). Esse tipo de tecnologia fornece uma conexão de melhor qualidade que a usual, mas ainda compartilha a frequência do 4G, estando disponível em 28 municípios¹⁴ para os dispositivos compatíveis. Assim, as operadoras conseguem comercializar o 5G DSS antes do 5G pois, na prática, estão usando espectros cujo leilão já foi realizado, de modo que o Brasil está entre os 76 países que operam redes comerciais de 5G NSA ao redor do mundo (GSMA, 2021a).

No âmbito do 5G *standalone*, o Brasil faz parte dos 42 países com investimentos em redes públicas (ou seja, disponíveis à população em geral) da tecnologia “pura” por meio de empreendimentos existentes, planejados ou em fases de testes. Uma série de estudos e testes isolados do 5G já foram realizados no país, como parte de uma iniciativa conjunta

14 Dado obtido por meio de pedido de acesso à informação para a Anatel em julho de 2021.

do Ministério das Comunicações e operadoras para apresentar o potencial da tecnologia em 20 projetos pilotos até o final de 2021, a exemplo do desenvolvimento de um projeto de segurança pública com base no 5G, a primeira antena com conexão 5G em uma área rural (no Mato Grosso), no Porto de Santos, em um centro universitário de Sorocaba e em lavouras em Londrina e Sorocaba, sendo um total de 8 projetos em áreas rurais. Esses projetos ainda não revelam um direcionamento ou viés claro, no sentido de utilizar a tecnologia como instrumento de redução da desigualdade no país.

Atualmente, a operação comercial efetiva do 5G é realizada por apenas nove países¹⁵: Estados Unidos, Alemanha, Áustria, África do Sul (em partes da Cidade do Cabo), Colômbia (em partes de Bogotá), Kuwait, Singapura, Hong Kong e China, enquanto a Austrália deve ser a próxima a empregar a tecnologia (GSMA, 2021a). Na China, a *China Mobile* já adaptou ou construiu mais de 400 mil antenas para suporte do 5G, e prevê 200 milhões de usuários chineses até o final de 2021. Adicionalmente, existem ao menos 96 organizações que estão estudando o uso de redes privadas de 5G para operações internas e, dentre elas, 21 já funcionam sob redes de 5G, incluindo empresas, fábricas e instituições acadêmicas.

No Brasil, as operadoras só poderão disponibilizar o 5G SA após o leilão de espectros, cuja minuta foi aprovada pela Anatel em fevereiro de 2021, com vistas a acontecer em novembro do mesmo ano. O edital brasileiro estipula o prazo limite de julho de 2022 para o funcionamento comercial do 5G nas capitais e Distrito Federal¹⁶, e até julho de 2029 nas demais cidades do Brasil com mais de 30 mil habitantes¹⁷.

Dessa forma, caso o calendário seja seguido à risca, o Brasil deve ser um dos primeiros países da América Latina a implantar o 5G em escala comercial – o Chile realizou seu leilão de espectros em fevereiro de 2020, mas não estabeleceu o 5G “puro” como padrão, ao contrário do que determina o edital brasileiro (TELESÍNTESE, 2021).

Nos contratos, estão inclusas uma série de obrigações de investimentos que variam de acordo com a banda de espectro leiloadas e lotes arrematados. Para a banda de 3,5 GHz, as obrigações incluem a implantação de redes de fibra óptica em todos os municípios que não possuem essa infraestrutura até 2025¹⁸ e atendimento de todas as cidades do

15 Na Arábia Saudita, a operadora STC afirma ter ativado redes de 5G SA, porém ainda não há confirmação da operação de redes comerciais de 5G no país (GSMA, 2021a).

16 Prazo para alcançar cobertura de uma estação de rádio base a cada 100 mil habitantes.

17 Prazo para alcançar cobertura de uma estação de rádio base a cada 15 mil habitantes. No caso de cidades com população inferior a 30 mil, os operadores têm até 31 de dezembro de 2029 para instalação de uma a cinco estações de rádio base, a depender da quantidade de habitantes do município.

18 Prazo para implantação de infraestrutura de transporte de fibra óptica com capacidade mínima de 1 Gbps para municípios com menos de 20 mil habitantes, e de 10 Gbps para cidades com população superior a 20 mil, que permita a conexão de ao menos um Ponto de Troca de Tráfego (PTT) a partir de um ponto localizado no distrito sede.

Brasil com 5G até 2029¹⁹. Além disso, são necessários aportes no Programa Amazônia Integrada e Sustentável (PAIS), que visa expandir a rede de fibra óptica na Região Norte conectando instituições de ensino público e unidades básicas de saúde, e na Rede Privativa de Comunicação da Administração Pública Federal, a ser utilizada para a conexão de órgãos públicos e atividades de segurança nacional.

Atualmente, parte da faixa de 3,5 GHz é ocupada por operadores de soluções de satélites. Assim, de modo a livrar espaço dessa faixa e ampliar os possíveis ganhos de escala do 5G, a Anatel também impôs como condição para concessão de espectro a realocação dos operadores de satélites, cujo custo – que está associado ao deslocamento dos usuários de antenas parabólicas e mitigação de problemas de interferência de sinal – será coberto pelos vencedores do leilão do 5G.

Já para as faixas de 700 MHz e 2,3 GHz, serão necessários investimentos graduais na tecnologia 4G em áreas ainda não atendidas – inclusive rurais – e estradas federais, de modo a universalizar o serviço até 2028. Por fim, os vencedores da faixa de 26 GHz deverão, de acordo com o Edital, aportar recursos na instalação de infraestruturas e equipamentos associados à “consecução da plena conectividade das escolas” da rede pública de ensino básico²⁰, com a qualidade e velocidade necessárias para o uso pedagógico das TICs de acordo com a Política de Inovação Educação Conectada (PIEC). Para todas as faixas, os valores ofertados no leilão que excederem os preços mínimos de cada lote (ágios) serão convertidos em obrigações adicionais.

O valor dos elevados custos afundados de tais empreendimentos será deduzido dos preços mínimos dos espectros, de modo que o leilão tem a premissa de ser “não arrecadatório”, pois parte substancial do montante que seria pago em outorgas será convertido em compromissos de investimento, seguindo boas práticas de regulação recomendadas pela OCDE. Assim, o leilão deve movimentar R\$ 49,7 bilhões, dos quais 80% são relativos aos compromissos de investimentos: cerca de R\$ 2,5 Bi para a realocação das soluções satelitais; R\$ 2,5 Bi para o País e para a rede privativa do governo federal; cerca de R\$ 27 Bi para as obrigações de cobertura de 4G, 5G e fibra óptica em municípios e estradas; e R\$ 7,6 Bi para levar conectividade a escolas públicas (TCU). O restante da outorga será destinado à arrecadação do Tesouro.

19 Dada a crescente oferta de serviços de fibra óptica – que já alcança 82,3% dos municípios – e o fato de grande parte do serviço ser disponibilizado por operadoras regionais e de pequeno porte, a tendência seria redução do preço da fibra óptica. De acordo com pesquisa realizada pelo IPEA e a Anatel, há uma expressiva demanda reprimida por redes de banda larga residencial e móvel, e uma maior disponibilização de rede entre estados e municípios poderia ampliar o mercado potencial de banda larga domiciliar de 28,1 milhões para 32,6 milhões de domicílios atendidos, com o maior potencial nas regiões Norte e Nordeste (IPEA, 2017). Vale anotar que apenas 40% das famílias com renda média de até 2 salários-mínimos têm acesso a banda larga domiciliar (Anatel, 2021). As obrigações de implantação de redes de fibra óptica, portanto, podem representar um grande avanço em termos de universalização e redução de desigualdades no acesso à internet entre as regiões (e classes sociais) do país.

20 Um Grupo de Acompanhamento do Custeio a Projetos de Conectividade de Escolas (GAPE), composto por representantes da Anatel, Ministério das Comunicações, Ministério da Educação e das empresas vencedoras, será criado para definir as características e cronograma dos projetos.

Tais compromissos foram estipulados de acordo com o Decreto nº 9.612/2018, que define os contornos da política nacional de telecomunicações. Os contratos de concessão dos espectros do 5G terão uma duração de 20 anos e poderão ser renovados de maneira sucessiva, contanto que as operadoras tenham cumprido as obrigações assumidas no contrato vincendo. O Quadro 3 detalha os compromissos de investimentos envolvidos nos contratos de cada faixa de espectro a ser leiloada. O edital falha, contudo, ao não assegurar a conectividade 5G na rede pública de ensino básico e em unidades do SUS por meio das obrigações de investimento.

Como abordado na Seção 3, o histórico subinvestimento e o estado precário da infraestrutura de ambos os serviços – inclusive em termos de acesso à Internet – tornam improváveis esforços do Estado para garantir a equidade no acesso ao 5G. Nesse contexto, os compromissos de investimento configuram não apenas uma solução privada, mas também factível, na medida em que o edital prevê R\$ 10,6 Bi em outorgas ao Tesouro, que poderiam ser convertidos parcial ou totalmente em requerimentos de conectividade em escolas públicas e Unidades Básicas de Saúde, sem prejuízo às empresas.

QUADRO 3 – Compromissos de investimentos estabelecidos no edital da Anatel, por faixa de espectro e lote

Faixa	Lotes	Compromissos	Regionalização
700 MHz	A1 a A15	1. Ativar torres 4G em localidades ainda não atendidas	Nacional e regional
		2. Ativar torres 4G em estradas federais	
		3. Converter ágio em mais localidades ou trechos de estradas	
2,3 GHz	E1 a E8 e F1 a F8	1. 95% de cobertura 4G em municípios ainda não atendidos	Regional
		2. Ativar torres 4G em localidades ainda não atendidas	
		3. Converter ágio em mais localidades ou trechos de estradas	
3,5 GHz	B1 a B4, C1 a C8 e D1 a D36	1. Implementar redes de fibra óptica	Nacional e regional
	B1 a B4 e D33 a D36	2. Ativar redes de 5G	
		3. Limpeza da Banda C	
		4. Programa Amazônia Integrada e Sustentável – PAIS	
B1 a B4, C1 a C8 e D1 a D36	5. Rede Privativa de Comunicação da Administração Pública Federal		
26 GHz	G1 a G10, H1 a H42, I1 a I10 e J1 a J42	6. Converter ágio em mais torres 5G ou redes de fibra óptica	Nacional e regional
		1. Levar conectividade a escolas públicas de educação básica	

Fonte: Baigorri e Neto (2021), modificado.

Em nota técnica²¹ – que sequer menciona unidades de saúde –, o Ministério das Comunicações alega que as determinações atuais são suficientes para fornecer o acesso às escolas públicas, pois requerem a conectividade 5G em todas as sedes de municípios até 2029, e conexão 4G para além das sedes, alcançando vilas e áreas rurais. Cabe pontuar que o edital demanda a proporção mínima de uma estação de rádio base (ERB)²² a cada 15 mil habitantes em municípios com população superior a 30 mil, e a construção de até 5 ERBs em cidades com população inferior a 30 mil. No entanto, a cobertura das antenas de 5G não ultrapassa a área de alguns quilômetros, de modo que não há garantia de que o sinal alcançará de forma isonômica – ou que sequer estará disponível – às escolas do município.

Embora a obrigação de investimentos em 4G em localidades rurais represente um avanço em termos de políticas públicas de telecomunicações – inclusive porque a infraestrutura 4G agiliza a transição para as fases iniciais do 5G, por meio da tecnologia *non standalone* –, o debate da conectividade nos serviços de saúde e educação deve ir além da mera existência de conexão²³. Similarmente, as obrigações relativas à faixa de 26 GHz somente determinam a implantação de infraestrutura de Internet em escolas públicas, sem mencionar qualquer obrigatoriedade de investimentos em tecnologia 5G. O 5G viabiliza inovações que potencialmente revolucionarão o método de ensino e os tratamentos médicos (ambulatoriais e hospitalares), de modo que aqueles sem acesso à tecnologia se situarão à margem do processo de transformação, e serão afetados pelo aumento da desigualdade. Portanto, é necessária a determinação explícita de investimento em 5G na rede pública de educação básica e no SUS nos compromissos do edital.

A modernização da infraestrutura é um pré-requisito essencial para a disseminação da nova tecnologia, que requer uma grande quantidade de antenas conectadas a uma extensa rede de fibra óptica. Se por um lado a rede de fibra existente no Brasil ainda é insuficiente para prover a demanda do 5G, os investimentos nessa tecnologia têm aumentado a cada ano: em 2017 a fibra óptica representava 11,4% do total de acessos na banda larga fixa, parcela que atingiu 31% em 2019 e 54,6% em maio de 2021 (Quadro 4). Dessa forma, a fibra óptica compõe a principal tecnologia de acesso à banda larga fixa no Brasil, tendo superado o acesso por redes de cabos metálicos em 2021. Essa rede será essencial para ampliar a infraestrutura do 5G, que, apesar de ser considerado uma tecnologia móvel, ainda não prescinde da infraestrutura física de fibra.

21 Nota técnica conjunta nº 12/2021/Sei-MCOM.

22 Estações de rádio base são equipamentos que fazem a conexão entre telefones celulares e as operadoras de telecomunicações. Podem ser instaladas tanto em terrenos como no topo de edifícios, e comportam uma ou mais antenas.

23 O 4G provê uma velocidade em média 10 vezes inferior, além de uma latência pelo menos 10 vezes maior, o que impossibilita as aplicações do 5G explicitadas no âmbito da educação e saúde. A velocidade média do 4G no Brasil (15,6 a 28,3 Mb/s) sequer garante a qualidade mínima de conexão em educação de 200 Kb/s por aluno estipulada pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), que, em uma escola com 200 estudantes, significa uma velocidade de 40 Mb/s.

QUADRO 4 – Acessos mensais em fibra óptica e participação nos acessos totais de banda larga fixa, em milhões e %, 2014 - 2021

	dez/14	dez/15	dez/16	dez/17	dez/18	dez/19	dez/20	maio/21
Fibra óptica	1,2	1,5	2,0	3,3	5,8	10,2	17,0	20,4
Acessos totais	24,0	25,5	26,8	28,9	31,2	32,9	36,3	37,4
Participação da fibra nos acessos totais	5,1%	6,0%	7,3%	11,4%	18,6%	31,0%	46,8%	54,6%

Fonte: Anatel.

A expectativa é que a rede, cuja extensão é estimada em 11 milhões de quilômetros, cresça 13,5% até o final de 2021 (VALOR ECONÔMICO, 2021a). Os indicadores brasileiros de participação de fibra na banda larga fixa situam-se, inclusive, à frente da média da OCDE, de 30,6%²⁴. Cabe destacar que, apesar dos significativos aportes que as grandes operadoras de telecomunicações têm feito na expansão da rede de fibra, o avanço experimentado nos últimos anos não teria sido possível sem o esforço das provedoras regionais de telecomunicações, de pequeno e médio porte. Mesmo pulverizadas, tais operadoras representam ao menos 20% das assinaturas de banda larga fixa no país, com uso predominante da fibra óptica – seja por meio de infraestrutura própria ou através de redes neutras, que permitem o compartilhamento (OCDE, 2020a).

O principal gargalo de infraestrutura de 5G no Brasil se dá no âmbito das antenas instaladas. O número de antenas no Brasil vem crescendo em um ritmo lento, sobretudo por conta dos entraves impostos pela grande variedade de leis municipais e estaduais de antenas, que criam um ambiente regulatório de insegurança e dão origem a centenas de disputas judiciais entre operadoras e autoridades governamentais (ANATEL, 2020). Não obstante o avanço representado pela nova Lei das Antenas (Lei 13.116/2015), que buscou diminuir a burocracia da construção de infraestrutura de telecomunicações no Brasil, esse marco só foi regulamentado em novembro de 2020 (Decreto 10.480/2020), e sua adesão tem sido demorada, e ainda não se nota uma “quebra estrutural” no número de estações de rádio base, que permanece insuficiente.

Em junho de 2021, o total de ERBs no Brasil era de 103.303, das quais 83.616 operam a tecnologia 4G. Como detalhado na Seção 2, o 5G necessitará de uma quantidade de antenas superior ao 4G ao menos em meia ordem de magnitude (cinco vezes mais), devido à operação em frequências mais altas de espectro, o que equivale a dobrar a infraestrutura de ERBs (ABRINTEL, 2021). Portanto, com vistas à universalização do acesso ao 5G

24 Dados de dezembro de 2020, divulgado pela OCDE em julho 2021. Ainda que a Anatel use a nomenclatura “acessos” e a OCDE refere-se a “subscriptions (in fixed broadband)”, a ANATEL esclarece em e-sic que “a quantidade de acessos de banda larga disponibilizada no painel de dados da Anatel refere-se à quantidade de assinantes do serviço”. Quanto à comparação per capita (no caso, a cada 100 habitantes), o Brasil fica atrás da média da OCDE, com 9,6 acessos em fibra, enquanto a OCDE tem 10,1, mas à frente de países como EUA (5,9), UK (1,9), Alemanha (2,3) e Chile (7,8).

e tomando como premissa (conservadora) que a totalidade das antenas de 4G existente será adaptada para a nova tecnologia, ainda seriam necessários esforços de construção de 100.000 novas ERBs.

O imperativo de transformação da infraestrutura de telecomunicações se dá ao longo de três dimensões: expansão da rede de fibra óptica pelo território brasileiro; adaptação das ERBs existentes para a tecnologia de 5G; e construção de novas ERBs, de modo a viabilizar os compromissos de cobertura do edital e garantir o acesso pleno à tecnologia no longo prazo. Embora o Edital do 5G estabeleça obrigações de investimentos na tecnologia, a concretização desses aportes requer, sobretudo, um arcabouço legal, normativo e regulatório que mitigue riscos não gerenciáveis pelo setor privado e favoreça a competição. Contudo, as operadoras de serviços telecomunicações – incumbentes e potenciais entrantes – enfrentam uma série de barreiras institucionais e regulatórias que põem em risco a difusão da tecnologia 5G no Brasil, e ainda são responsáveis por restringir expansão da rede de 4G. A próxima seção detalha essas barreiras e iniciativas para superá-las.



5 ENTRAVES À DIFUSÃO DO 5G NO BRASIL

Para além dos desafios relacionados à pobreza e desigualdade destacados na Seção 3, e cuja resolução depende de reformas estruturais a fim de conferir igualdade de oportunidades e ampliar o acesso aos serviços essenciais, existem fatores institucionais que comprometem os ganhos de produtividade, eficiência e bem-estar associados ao 5G. A resposta do âmbito das políticas públicas tem sido lenta, apesar do movimento modernizador de anos recentes. A baixa atratividade (econômica) da expansão da rede, sobretudo em áreas remotas, é reforçada por questões de ordem legal e regulatória, que atuam também sobre grandes centros urbanos e contribuem para a relativa escassez de infraestrutura de telecomunicações.

De fato, há características “naturais” do país que tornam a instalação de novas linhas um empreendimento caro e pouco atrativo ao setor privado, a saber sua vasta extensão territorial, sobre a qual a população está esparsamente distribuída. Estima-se que 31,2 milhões de brasileiros vivam em áreas rurais (PNAD, 2015), distantes dos grandes centros urbanos e com baixa densidade demográfica, de modo que ampliar a cobertura implica em altos custos, e que acompanham o nível de tecnologia. A precária infraestrutura física de acesso a tais locais e a inconstância da provisão de energia elétrica encarecem a manutenção da rede, submetendo o consumidor a maiores tarifas – quando há a oferta do serviço.

A ampliação das necessidades de infraestrutura do 5G agravam o problema da conectividade em áreas rurais e de vulnerabilidade social, e o risco de maior desigualdade na provisão dos serviços de telecomunicações. Portanto, iniciativas que buscam expandir a banda larga, se bem desenhadas e implantadas, seriam de extrema importância para a inclusão digital no país. No que segue serão listados alguns dos principais desafios à expansão da rede de banda larga no Brasil e disseminação da tecnologia 5G, bem como possíveis medidas que visam tornar o setor um instrumento de transformação econômica e inclusão social.

5.1 A DEFASAGEM DAS LEIS MUNICIPAIS E ESTADUAIS DE ANTENAS

A necessidade imposta pelo 5G de construção de grande número de antenas lança um desafio inédito de ampliação da infraestrutura de telecomunicações em um curto período para cumprir com as obrigações de cobertura do edital, que requer a presença da rede nas capitais até julho de 2022. Nesse sentido, é fundamental que a legislação dê segurança e suporte para que as empresas provedoras de infraestrutura e serviços, garantindo também a agilidade do processo.

A Lei Geral das Antenas²⁵, aprovada em 2015, buscou facilitar a construção da infraestrutura de telecomunicações no Brasil, ao conferir previsibilidade nas solicitações de estabelecimento de antenas, e harmonizar as normas e diretrizes locais. Entre outras medidas, a Lei estabelece o princípio do silêncio positivo, que implica em aprovação tácita de pedidos de instalação de antenas caso as autoridades municipais não se manifestem no prazo de 60 dias. Apesar de sua relevância, a Lei só foi regulamentada em setembro de 2020²⁶, e sua efetividade em reduzir a burocracia dos processos tem sido lenta, em razão do baixo nível de aderência pelos estados e municípios (OCDE, 2020a). Ainda que os entes subnacionais não tenham a opção de não aderir à legislação - a própria lei federal tem como pressuposto (essa é a palavra utilizada) que a atuação de estados e municípios não deve comprometer as condições determinadas pela União sobre os serviços de telecomunicações - as operadoras devem obedecer às leis locais, que em muitos casos criam exigências e obstáculos administrativos adicionais

Na prática, os pedidos de aprovação da construção da infraestrutura continuam demorados – apesar do princípio do silêncio positivo, as operadoras reportam insegurança jurídica de executar a instalação sem autorização expressa. Além disso, existem outras restrições regulatórias, visto que os entes federativos impõem normas quanto à legalidade da área de construção. São comuns requerimentos municipais que destoam da legislação federal quanto à distância mínima de escolas e hospitais permitida para construção de antenas – isto é, exigem distâncias superiores às necessárias para garantir a qualidade da conexão –, ou até entre antenas e edifícios urbanos, o que inviabiliza a construção em grandes regiões metropolitanas. O problema também ocorre em áreas rurais e periferias, na medida que são impostas limitações exageradas quanto à largura da via em que a antena será instalada.

²⁵ Lei 13.116/2015.

²⁶ Decreto 10.480/2020.

Tais determinações rígidas são reflexo de uma visão desatualizada sobre a infraestrutura de telecomunicações, e centrada no impacto de grandes torres de celular. No entanto, o desenvolvimento da tecnologia permitiu a redução da dimensão dos equipamentos – as antenas do 5G podem alcançar apenas alguns centímetros de comprimento, e não requerem grandes intervenções, bastando apenas a fixação na fachada de postes, prédios e até placas de trânsito, locais por vezes ignorados pela legislação local. Sob o pretexto de legislar em temas como meio ambiente e saúde, municípios e estados por vezes invadem a competência da União de definir os limites de exposição a campos eletromagnéticos, e a distância a residências, hospitais, clínicas, escolas e creches.

Assim, existem mais de 300 leis municipais e estaduais de antenas em vigor no Brasil (Anatel, 2020), com singularidades que prejudicam a segurança jurídica dos procedimentos – muitas vezes por meio da cobrança de multas que passam de 100 mil reais no caso de irregularidades – e efetivamente inviabilizam a expansão da rede. Somente na cidade de São Paulo, há um estoque de 1,7 mil antenas aguardando licença para instalação, fruto de uma lei municipal²⁷ que vigorou por 17 anos e que impunha limites rígidos à cobertura das operadoras (VALOR ECONÔMICO, 2021b). No final de 2020, eram estimados 4.000 pedidos de instalação de antenas no país, o equivalente a R\$ 2 bilhões em investimentos paralisados e que poderiam contribuir para ampliar a conectividade da população (TELETIME, 2021b).

Portanto, é essencial uma uniformização das diferentes leis de antenas de acordo com a legislação federal estabelecida pela Lei das Antenas e pelo Decreto 10.480/2020, por meio de um processo centralizado e com base em critérios objetivos que propicie a obtenção de autorizações em prazos inferiores a 2 meses, sem a imposição de custos adicionais. Aos municípios, cabe – e assim permanece – o licenciamento urbano e ambiental de infraestruturas, o ordenamento territorial, a proteção do patrimônio público, e o planejamento e controle do solo urbano, levando em consideração a necessidade de modernização da infraestrutura de comunicações e abrir caminho para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Uma possível solução para o problema da multiplicidade das normas é a modernização de leis de antenas “no atacado”, ou seja, o planejamento integrado entre municípios e estados de modo a uniformizar a legislação de antenas e ampliar a previsibilidade para as operadoras de telecomunicações. Dessa forma, promove-se o debate sobre as melhores práticas para o setor e um texto único para orientar as ações dos entes e setor privado. A aprovação da Lei Estadual 9.151/2020 pelo estado do Rio de Janeiro pode ser vista como um exemplo nesse sentido: além de reduzir a burocracia para a instalação de antenas e

27 Lei Municipal 13.756/2004, invalidada pelo Supremo Tribunal Federal em dezembro de 2020.

definir de forma objetiva os procedimentos a serem seguidos, a Lei propõe um modelo de lei municipal a ser adotada em todos os municípios fluminenses. Minas Gerais e Mato Grosso também possuem projetos de leis estaduais similares para a padronização nas diretrizes jurídicas. O esforço é relevante pois, segundo o edital do 5G, as operadoras poderão priorizar a instalação da tecnologia em cidades que já tiverem modernizado sua legislação municipal, incentivo relevante para acelerar o processo de uniformização da legislação.

5.2 O PAPEL DO COMPARTILHAMENTO DE INFRAESTRUTURA

A uniformização das leis locais é importante também no âmbito do compartilhamento de infraestrutura, cujo racional é claro: tendo em vista os pesados investimentos tecnológicos exigidos pelo 5G e a urgência de ampliação da cobertura de banda larga no Brasil, o compartilhamento se mostra um meio de estimular a construção de novas redes com redução substancial dos custos fixos, que costumam ser afundados, mitigando riscos do empreendimento. Tal dinâmica é especialmente relevante para atrair operadoras a áreas rurais e remotas, mas também tem o potencial de melhorar o custo-efetividade em centros urbanos, onde o espaço físico é limitado. O mecanismo é incentivado pela OCDE e exercerá um papel fundamental na disseminação da tecnologia 5G.

O compartilhamento pode ser de dois tipos: passivo ou ativo. No primeiro, empresas dividem o uso de postes, dutos e torres; no segundo, há o compartilhamento das redes de acesso de fato, como equipamentos de rádio, antenas, redes de fibra óptica e até os espectros de frequências. A experiência de países europeus mostra que o compartilhamento passivo pode gerar economias de CAPEX e OPEX de até 35%, enquanto o compartilhamento ativo permite reduções nos custos de 45% para CAPEX e 33% para OPEX (Body of European Regulators for Electronic Communications, 2019).

Cabe ressaltar que o compartilhamento passivo já é praticado pelas operadoras no Brasil, sobretudo entre as provedoras de pequeno e médio porte, havendo ainda espaço para maior uso dessa prática. A Lei das Antenas configura um importante passo nesse sentido, na medida que obriga o compartilhamento quando tecnicamente viável e determina que obras públicas sejam executadas de modo a permitir a instalação da fibra – a chamada política de “*dig once*” –, além de estabelecer a gratuidade do direito de passagem em bens públicos de uso comum, como faixas de domínio.

Na prática, ainda existem obstáculos ao compartilhamento – provedores regionais muitas vezes pagam preços maiores que os de referência para acessar a infraestrutura de grandes operadoras, devido à falta de fiscalização (OCDE, 2020a). É essencial, portanto, que o âmbito do compartilhamento seja visto como prioridade na elaboração das novas leis estaduais e municipais de antenas, em conformidade com as diretrizes da Lei federal.

Na Europa, o Código Europeu de Comunicações Eletrônicas eleva a segurança jurídica do co-investimento em infraestrutura, promove o compartilhamento de riscos e estabelece que operadoras têm o direito de acessar infraestrutura passiva controlada por autoridades nacionais, regionais e locais que sejam viáveis para implantação de células. Uma série de “corredores” 5G estão sendo planejados por meio da cooperação entre diferentes países europeus para acomodar a tecnologia de carros autônomos.

No Reino Unido, além de um fundo de £ 200 milhões que visa melhorar as oportunidades de negócios para desenvolver a tecnologia 5G, o governo criou um programa para expandir o 4G de alta qualidade em comunidades rurais, denominado *Shared Rural Network* (KPMG, 2020). O acordo estipula que o governo complementar os investimentos das operadoras móveis por meio de um financiamento público de £ 500 milhões, que serão alocados para coordenar o compartilhamento da infraestrutura existente. O governo também alocará £ 4 milhões na expansão da rede de fibra óptica por meio do encanamento de distribuição de água, de modo a reduzir os dispêndios com novos dutos – que podem alcançar 4/5 dos custos das operadoras de fibra do país – e disponibilizar uma conexão de alta velocidade em regiões rurais e de difícil acesso. Além disso, a rede será testada para instalação de sensores que identificam falhas na infraestrutura e vazamentos de água (THE GUARDIAN, 2021). De forma similar, o governo sul coreano estabeleceu o compartilhamento como condição para que as operadoras recebessem incentivos fiscais, e serviços de manutenção e segurança subsidiados. Espera-se que os acordos entre as companhias que dividirão os custos da implementação de infraestrutura lhes gerarão uma economia da ordem de 933 milhões de dólares (OCDE, 2020c).

O Brasil deve espelhar-se nas políticas de outros países para estimular a cooperação entre empresas e promover a concorrência, visto que o compartilhamento de infraestrutura permite que provedoras menores se insiram nos mercados, pressionando a redução de preços para o consumidor. A coordenação entre as diferentes instâncias do governo é essencial para reduzir barreiras à construção de infraestrutura e facilitar acordos de compartilhamento. A exemplo da experiência britânica e sul coreana, poderiam ser concedidos incentivos às empresas que dividirem os custos de construção de fibra óptica em locais rurais e remotos, visto que essa, além de possibilitar conexões mais velozes e de maior qualidade, também se faz necessária para a adaptação da tecnologia 5G. De modo a não agravar a frágil situação fiscal enfrentada pelo país, tais recursos devem advir dos fundos setoriais de desenvolvimento das telecomunicações – Fust²⁸ e Funttel²⁹. A Anatel também pode, quando tecnicamente e financeiramente viável para as empresas, incluir a obrigação de acesso aberto nos Termos de Ajustamento de Conduta (TACs), documento

28 Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações.

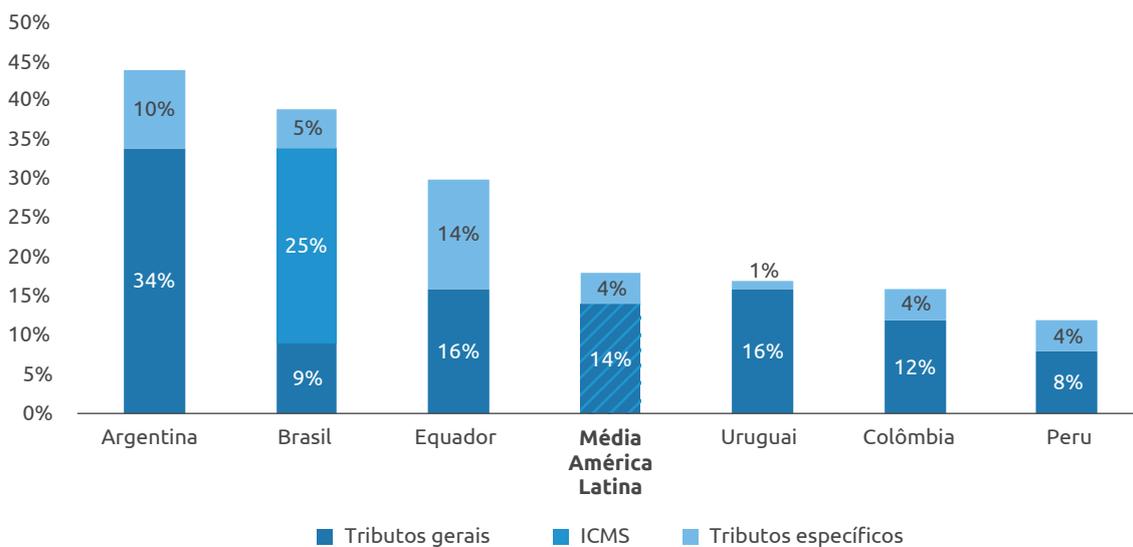
29 Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações.

utilizado por órgãos públicos no qual a empresa signatária se compromete a ajustar algum comportamento considerado ilegal e compensar os prejuízos causados.

5.3 CARGA TRIBUTÁRIA

Assim como para diversos outros setores da economia do país, o complexo e oneroso sistema tributário brasileiro desincentiva os investimentos em expansão de rede e inovações, além de ser responsável por custos significativamente maiores para o consumidor final – impostos compõem cerca de 40,2% do preço da banda larga fixa e móvel (ANATEL, 2020). Custos mais elevados são uma barreira adicional ao acesso à rede de uma parcela considerável da população, e logo dos ganhos potenciais da tecnologia 5G. É relevante que 51% dos domicílios de classe D e E, 57% daqueles com renda familiar de até um salário mínimo que não adotam a Internet, identificaram os altos preços como um dos principais motivos para tal (TIC DOMICÍLIOS, 2019). Como a introdução do 5G no mercado deve ocorrer a preços mais elevados que os atuais para 3G e 4G – por conta dos custos de instalação da infraestrutura e maior qualidade do serviço ofertado –, a alta carga tributária incidente sobre o setor – de 38%, contra a média de 18% da América Latina (Gráfico 2) – representa um risco não trivial de ampliar a desigualdade no acesso aos serviços e desestimular a expansão da rede por parte das operadoras, caso a demanda efetiva não se aproxime à planejada.

GRÁFICO 2 – Porcentagem da receita do setor móvel destinada a tributos gerais¹, específicos² e ICMS, Brasil e América Latina



Fonte: GSMA (2020d). Argentina (2016), Brasil (2018), Equador (2017), média da América Latina (2017), Uruguai (2014), Colômbia (2015), Peru (2014); **Notas:** ¹ Tributos gerais são aqueles pagos em diversos setores da economia, e incluem, no Brasil: Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS), além do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). ² Tributos específicos são exclusivos do setor de telecomunicações, e incluem, no Brasil: contribuições ao Fistel, Condecine-Teles, Fust e Funttel.

O problema do sistema tributário brasileiro não se limita ao peso dos impostos: a própria estrutura de tributação é ineficiente. O ICMS, que incide sobre a circulação de mercadorias e prestação de serviços de transporte, eletricidade e comunicações, representa 64% do total de impostos pagos pelo setor móvel (GSMA, 2020d), e constitui uma das principais fontes de distorções. Além do problema inerente aos tributos em cascata, o ICMS que incide nas telecomunicações é substancialmente maior que a alíquota básica (está entre 17% e 18%) e varia de acordo com as legislações estaduais, podendo alcançar 35%. Deve-se levar em consideração que a base de cálculo do ICMS difere de outros impostos convencionais, visto que engloba, além do preço do serviço, as contribuições do PIS e COFINS, outros dois tributos incidentes no setor. Assim, a alíquota do ICMS efetivamente paga é ainda maior: entre 38,20% e 59,46%, a depender da jurisdição estadual (Quadro 5). O ICMS encarece os serviços de telecomunicações não apenas por gerar custos administrativos e de *compliance* (acentuados pelo frequente atraso no reembolso do tributo), mas também ao incidir sobre a energia elétrica, um dos principais insumos do setor.

QUADRO 5 – Alíquota nominal e efetiva do ICMS sobre o setor de telecomunicações, 2020

UFs	Alíquota ICMS incidente sobre telecomunicações	PIS + COFINS	Fator Multiplicador do ICMS	Alíquota efetiva do ICMS [Fator ICMS x (1 + PIS + COFINS)]
AC, ES, RR, SC e SP	25%	3,65%	1,333	38,20%
MG	27%	3,65%	1,370	41,99%
BA e DF	28%	3,65%	1,389	43,96%
AP, GO, MA, MS, PR e TO	29%	3,65%	1,408	45,99%
AL, AM, CE, PA, PB, PE, PI, RN, RS e SE	30%	3,65%	1,429	48,07%
MT e RJ	32%	3,65%	1,471	52,43%
RO	35%	3,65%	1,538	59,46%

Fonte: Elaboração própria com dados de GSMA (2020d) e Anatel (2021).

É, portanto, essencial que haja um esforço para harmonizar a aplicação de ICMS nos estados e reduzir a alíquota aplicada ao setor de telecomunicações, que, no estado do Rio de Janeiro, por exemplo, é superior a bebidas alcoólicas e tabaco (GSMA, 2020d). Mais além, é urgente a execução de uma reforma tributária que reduza a quantidade de impostos – sobretudo os indiretos – e uniformize as diferentes legislações estaduais e municipais por meio de um imposto no modelo IVA (imposto sobre valor agregado), a fim de mitigar a insegurança jurídica e os dispêndios administrativos das empresas. Nesse sentido, são superiores as iniciativas da PEC 45/2019 e da PEC 110/2019, que preveem a substituição de vários tributos por um imposto único.

5.4 FUNDOS SETORIAIS

Parte considerável da receita das empresas de telecomunicações é destinada ao pagamento de taxas para os fundos setoriais³⁰: o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (Fust), Fundo para Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (Funttel) e Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (Fistel), que foram constituídos para apoiar investimentos em cobertura de rede e tecnologia, como também custear parte das atividades de fiscalização da Anatel.

No entanto, uma ínfima parcela dos recursos é de fato utilizada para desenvolver o setor – uma auditoria do TCU realizada em 2016³¹ concluiu que, dos mais de R\$ 20 bilhões arrecadados pelo Fust entre 2001 e 2016, apenas R\$ 341 mil (ou 0,002%) foram empenhados em investimentos na universalização, sendo que o restante se encontrava parado ou foi desvinculado para outros fins pela União (R\$ 2 bilhões) e por medidas provisórias (R\$ 15,2 bilhões)³², como o pagamento da dívida pública e previdência. A situação é grave também para o Fistel e Funttel, cujas ações finalísticas representaram, respectivamente, apenas 4% (entre 1997 e 2016) e 29,5% (entre 2001 e 2016) dos recursos arrecadados.

Desde então, apesar das recomendações do TCU, que incluem a imposição de procedimentos de controle dos fundos pela Anatel e publicidade do uso de seus recursos, pouco mudou efetivamente em relação à eficiência dos gastos no desenvolvimento do setor. De 2017 a 2020, o total executado pelo Fust foi de R\$ 172,3 mil (Quadro 6) – uma média anual de execução de 0,0078% do montante planejado –, de modo que o fundo possui um superávit de R\$ 6,5 bilhões que estão virtualmente paralisados nos cofres públicos. Para 2021, projeta-se um cenário parecido, visto que os R\$ 840 milhões previstos para uso do Fundo estão contingenciados, restando apenas R\$ 61 mil para a expansão dos serviços de telecomunicações. Similarmente, o superávit de arrecadação do Fistel – que deveria ser utilizado para balizar a fiscalização da Anatel – alcança R\$ 4,9 bilhões, sendo que o governo não disponibiliza plataforma de transparência para seus gastos anuais.

30 Fust: 1% da receita operacional bruta após dedução do ICMS, PIS e COFINS; Fistel: pagamento único de R\$ 27 a R\$ 34.000 correspondente à Taxa de Fiscalização de Instalação (TFI) e 33% da Taxa de Fiscalização de Funcionamento (TFF); e Funttel: 0,5% da receita operacional bruta após dedução do ICMS, PIS e COFINS.

31 Processo TC 033.793/2015-8.

32 Além dos gastos citados, houve uma despesa de aproximadamente R\$ 1,5 milhões em 2010 para custear gastos administrativos da Anatel, novamente escapando da finalidade do fundo de universalização do serviço de telecomunicações.

QUADRO 6 – Orçamento planejado e executado do Fust, 2017-2020, em R\$ milhões correntes e %

	2017	2018	2019	2020
Planejado	1200	279,9	1100	756,6
Executado	0,101	0,0613	0,01	0
Planejado/executado (%)	0,0084	0,0219	0,0009	0

Fonte: SIGA Brasil – Painel Cidadão do Senado Federal.

Para o Funttel, a média de execução no período 2017-2019 foi superior ao do Fust, mas ainda baixa: 7,4% do orçamento aprovado (Quadro 7). Em 2020, o fundo executou quase a totalidade do orçamento (99,44%), porém isso decorre da substancial redução de seu orçamento anual, visto que a execução se manteve no patamar dos anos anteriores. Não é possível obter informações sobre a finalidade dos gastos executados. Ainda assim, o fundo acumulou um superávit de R\$ 2,1 bilhões em 2020³³.

QUADRO 7 – Orçamento planejado e executado do Funttel, 2017-2020, em R\$ milhões correntes e %

	2017	2018	2019	2020
Planejado	307,1	241,8	204,5	18,1
Executado	22,5	16,6	16,5	18
Planejado/executado (%)	7,3	6,9	8,1	99,4

Fonte: SIGA Brasil – Painel Cidadão do Senado Federal.

Ainda que se possa questionar a forma de mobilizar recursos por meio de taxas setoriais, e mesmo sua alocação, a desvinculação *ad hoc* dos recursos e a falta de transparência dificultam – senão impossibilitam – uma análise com mais rigor dos Fundos, critérios de alocação e uso efetivo. Os fundos setoriais poderiam se constituir em instrumentos relevantes na perspectiva de redução da desigualdade ao acesso ao 5G, na expansão da rede de fibra óptica e ERBs voltados a escolas e hospitais públicos. No entanto, isso só será possível uma vez que a regulamentação dos fundos setoriais seja alterada, para remover barreiras que dificultam o seu uso na modernização e ampliação do acesso aos serviços públicos alicerçados no 5G para a população dependente desses serviços – a exemplo do Sistema SUS ou da educação fundamental pública. O redirecionamento do Fust para banda larga foi um importante passo na modernização institucional – antes da Lei 14.109 de 2020, seus recursos podiam ser investidos apenas em telefonia fixa.

33 Dado obtido por meio de um pedido de acesso à informação ao Ministério das Comunicações.

O problema da má alocação poderia ser enfrentado ao conferir maior autonomia à Anatel sobre os gastos do setor e diminuir o risco de captura por interesses políticos externos, e garantindo a transparência da destinação dos recursos (vale lembrar, apenas uma auditoria do TCU em 2016 possibilitou conhecimento mais detalhado da alocação de recursos, mais de uma década após Fust, Funttel e Fistel iniciarem suas operações). Nesse sentido, sugere-se a aprovação do PL 8.943/2017, que altera a Lei Geral das Telecomunicações ao exigir que a Anatel divulgue, em tempo real, dados da receita e despesa do Fust e Fistel, identificando os fundamentos legais para os dispêndios – o que não é feito atualmente. O projeto de lei foi desarquivado em 2019 e ainda aguarda pareceres do Plenário.

Talvez a utilização de maior retorno dos recursos mobilizados pelos Fundos – mais além de reforçar a autonomia administrativa, técnica e financeira da ANATEL e logo aumentar o grau de previsibilidade regulatória – é investir no desenho e avaliação *ex-ante* de políticas públicas voltadas à difusão do 5G. A premissa básica é que as barreiras à disseminação da tecnologia serão relativamente menores no âmbito dos setores econômicos, e voltadas aos ganhos de produtividade. É essencial a remoção desses obstáculos, como já apontado nesse trabalho. Mas o uso do 5G para a redução da desigualdade no país irá enfrentar possivelmente barreiras ainda mais elevadas, e políticas públicas necessitam endereçá-las tanto no âmbito horizontal como setorial. Nesta perspectiva, o país já deveria estar fazendo um esforço sistemático de produzir novos desenhos de políticas públicas calcadas em evidência, se antecipando aos efeitos possivelmente concentradores do 5G. Pode-se argumentar que essa é uma prioridade de governo e da sociedade, na medida em que não se deveria permitir o aumento da desigualdade no país frente a uma tecnologia cujas consequências nessa dimensão ainda são pouco conhecidas.

Finalmente, a prazo mais longo, e com objetivo de elevar a eficiência dos gastos em telecomunicações, deve-se examinar a conveniência da consolidação do Fust, Fistel e Funttel em um único fundo, que poderia agregar também a Contribuição para o Desenvolvimento da Indústria Cinematográfica Nacional (Condecine) e Contribuição para Fomento da Radiodifusão Pública (CFRP), dada a necessidade de convergência regulatória dessas atividades. Tal proposta, além de constituir uma boa prática regulatória em telecomunicações, recomendada pela OCDE, tem o potencial de reduzir substancialmente os custos administrativos do governo, cujos recursos poderão ser redirecionados para a universalização do serviço. No longo prazo, quando a conexão à Internet de qualidade for efetivamente universal, pode-se discutir a extinção das contribuições setoriais de telecomunicações.



CONCLUSÃO

A tecnologia do 5G tem poder transformacional na economia e na sociedade. Mais além de contribuir para avanços na produtividade do trabalho, abre caminho para uma quebra de paradigma na entrega de serviços públicos essenciais e contribui para ampliar a eficiência e racionalidade no consumo de recursos, principalmente no âmbito das cidades.

A realização das potencialidades do 5G dependerá de sua difusão, que irá demandar a expansão e modernização da infraestrutura de telecomunicações direcionadas pelas empresas privadas. A trajetória futura dos investimentos estará sujeita aos termos do leilão de espectro de 2021 e contratos correspondentes, bem como à regulação da nova tecnologia. Assegurar que a nova tecnologia impulse a produtividade, melhore a qualidade de vida das pessoas e seja instrumento de redução das desigualdades irá depender de políticas públicas direcionadas à sua ampla disseminação, igualdade de oportunidade de acesso e utilização na provisão de serviços públicos essenciais ao bem-estar da população. Este trabalho examina as principais barreiras à implementação da nova tecnologia no Brasil e as formas de impulsionar não apenas o 5G, como também a cobertura de maneira geral – seja por meio do 4G ou da banda larga fixa.

Em primeiro lugar, é necessário atualizar e uniformizar as leis municipais e estaduais de antenas, que ainda estão alicerçadas sobre uma percepção datada de infraestrutura de telecomunicações, e com isso impõem restrições não condizentes com as características físicas (e demais atributos) das novas infraestruturas, e condenam cidades e regiões à ausência ou má qualidade de cobertura. *Segundo*, é preciso que a Anatel, o executivo e demais poderes direcionem esforços para reduzir a insegurança jurídica associada ao compartilhamento de infraestrutura e o tornar mais atraente para o setor privado, na medida que configura um meio de atenuar significativamente os custos de implantação e operação da nova tecnologia. *Terceiro*, é necessária uma reforma tributária que diminua o peso de impostos indiretos sobre os serviços de telecomunicações, cuja carga tributária ultrapassa 40% no Brasil, o que reduz o espaço não apenas para acelerar os investimentos no setor, mas o nível de consumo dos serviços. *Por fim*, seria imperativo utilizar os recursos dos fundos setoriais de telecomunicações de maneira mais eficaz e transparente, com desenhos avaliados *ex-ante* e alicerçados em evidências, para apoiar a expansão do 5G e reduzir a desigualdade no acesso à tecnologia. Ademais, o edital do leilão deveria incluir explicitamente a obrigação de cobertura do 5G em escolas públicas e unidades do SUS.

Em síntese, a efetiva implantação e aplicação do 5G depende de reformas que visem melhorar a qualidade do arcabouço legal, regulatório e tributário do setor de telecomunicações, inclusive dos fundos associados ao setor. Se por um lado as obrigações de investimento do Edital do 5G são necessárias, elas não são suficientes para garantir uma cobertura ampla e relativamente isonômica da rede, tanto do ponto de vista de acesso da população historicamente excluída quanto da utilização da tecnologia na provisão de serviços públicos de maior relevância. O 5G é uma tecnologia transformadora, e uma oportunidade incomum de o país impulsionar a produtividade ao mesmo tempo que reduz sua desigualdade. Não deve ser desperdiçada.



REFERÊNCIAS

ACCENTURE. **The impact of 5G on the European economy**. 2021a. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-144/Accenture-5G-WP-EU-Feb26.pdf. Acesso em: 21 out. 2021

ACCENTURE. **The Impact of 5G on the United States Economy**. 2021b. Disponível em: https://www.accenture.com/us-en/insights/high-tech/5g-economic-impact#:~:text=5G%20has%20the%20potential%20to,%2Dtime%20and%20temporary%20jobs*.&text=5G%20will%20add%20up%20to,be%20felt%20in%20every%20industry. Acesso em: 21 out. 2021

ACEMOGLU, Alperen. *et al.* 5g robotic telesurgery: remote transoral laser microsurgeries on a cadaver. **IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics**, v. 2, n. 4, p. 511-518, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES - ANATEL. **Novos mercados nas telecomunicações: uma perspectiva sobre as novas frentes para a regulação econômica**. set. 2020. Disponível em: https://www.eventos.momentoeditorial.com.br/wp-content/uploads/2020/10/ESTUDO-COMPETIcao-20_compressed.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES - ANATEL. **Relatório de nível de carga tributária e custo das cestas de serviços: comparação internacional**. fev. 2021. Brasília: Anatel, 2021.

AIJAZ, Adnan. Private 5G: The future of industrial wireless. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 14, n. 4, p. 136-145, 2020.

ANDRONIE, Mihai *et al.* Sustainable, smart, and sensing technologies for cyber-physical manufacturing systems: a systematic literature review. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5495, 2021.

AQUINO, Mirian. **Nova versão do leilão da Anatel divide mercado sobre exigência de 5g pura**. 2021. Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/nova-versao-do-leilao-da-anatel-divide-mercado-sobre-exigencia-de-5g-pura/>. Acesso em: 21 out. 2021.

ARIAS, Diego; VIEIRA, Pedro; CONTINI, Elisio; FARINELLI, Barbara; MORRIS, Michael. **Agriculture productivity growth in Brazil: recent trends and future prospects**. [S.l.]: Banco Mundial, 2017.

ASHWOOD-SMITH, Peter. **Why end-to-end network slicing will be important for 5G**. Disponível em: <https://news.itu.int/why-end-to-end-network-slicing-will-be-important-for-5g/>. Acesso em: 21 out. 2021.

AT&T. **AT&T and VITAS Healthcare launch virtual reality study of hospice patients.** 2019. Disponível em: https://about.att.com/story/2019/att_vitas_launch_hospice_vr_study.html. Acesso em: 21 out. 2021.

ATLURI, Venkat; CORDINA, Jenny; MANGO, Paul; VELAMMOOR, Sri. **How tech-enabled consumers are reordering the healthcare landscape.** 2018a. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/how-tech-enabled-consumers-are-reordering-the-healthcare-landscape>. Acesso em: 21 out. 2021.

AUSTIN, Patrick. **Want to fix road congestion? try smarter traffic lights.** 2021. Disponível em: <https://time.com/5502192/smart-traffic-lights-ai/>. Acesso em: 21 out. 2021.

BACHANEK, Konrad Henryk *et al.* Intelligent street lighting in a smart city concepts: a direction to energy saving in cities: an overview and case study. **Energies**, v. 14, n. 11, p. 3018, 2021.

BAIGORRI, Carlos; NETO, José. **Editais do 5G: o que isso significa?** 2021. Disponível em: www.brasil-economia-governo.org.br/2021/03/10/editais-do-5g-o-que-isto-significa/. Acesso em: 21 out. 2021.

BODY OF EUROPEAN REGULATORS FOR ELECTRONIC COMMUNICATIONS - BEREC. **Report on infrastructure sharing.** 2019. Disponível em: file:///C:/Users/AYAMAG~1/AppData/Local/Temp/8605-berec-common-position-on-infrastructure-_0.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

CAMPBELL, Karen; CRUZ, Liz; FLANAGAN, Bob; MORELLI, Bill; O'NEIL, Brendan; TÉRAL, Stéphanie; WATSON, Julian. **The 5G economy: how will 5G contribute to the global economy.** 2019. Acesso em: 21 out. 2021.

CASTELLS, Pau; BAHIA, Kalvin; PEDROS, Xavier. **Mobile technology: two decades driving economic growth.** 2020. Disponível em: <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=54165922&file=121120-working-paper.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

CHEN, Baotong *et al.* Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. **Ieee Access**, v. 6, p. 6505-6519, 2017.

CHINA DAILY. **China performs first 5G-based remote surgery on human brain.** 2019. Disponível em: www.chinadaily.com.cn/a/201903/18/WS5c8f0528a3106c65c34ef2b6.html. Acesso em: 21 out. 2021.

DAKE, Delali Kwasi; ADJEI, Ben. 5G enabled technologies for smart education. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 10, n. 12, p. 201-206, 2019.

DEVANESAN, Joe. **China's first private 5G network deployed for mining.** 2020. Disponível em: <https://techwireasia.com/2020/10/chinas-first-private-5g-network-deployed-for-mining/>. Acesso em: 21 out. 2021.

ERICSSON. **The 5G connected ambulance**. 2020. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/cases/2020/the-5g-connected-ambulance>. Acesso em: 21 out. 2021

ERICSSON. **A case study on automation in mining**. 2016. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/a-case-study-on-automation-in-mining>. Acesso em: 21 out. 2021.

ERICSSON. **Cutting production time in blade smart manufacturing**. 2018b. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/cases/2018/fraunhofer>. Acesso em: 21 out. 2021.

ERICSSON. **5G ultra-low latency for industries**. 2018a. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/cases/2018/5g-ultra-low-latency-propels-jet-engine-manufacturing>. Acesso em: 21 out. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **New standards to curb the global spread of plant pests and diseases**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>. Acesso em: 21 out. 2021.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. **The impact of 5G: creating new value across industries and society**. 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/whitepapers/the-impact-of-5g-creating-new-value-across-industries-and-society>. Acesso em: 21 out. 2021.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; VALDES, C.; BACCHI, M. R. P. Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 3, jul./set. 2012.

GASQUES, José; BACCHI, Mirian; BASTOS, Eliana. Crescimento e produtividade da agricultura brasileira de 1975 a 2016. **IPEA, Carta de Conjuntura**, n. 38, jan./mar. 2018.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **5G IoT private & dedicated networks for industry 4.0**. 2020a. Disponível em: <https://www.gsma.com/iot/resources/5g-private-npn-industry40/>. Acesso em: 21 out. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **5G standalone update: executive summary**. jun. 2021a. Disponível em: <https://gsacom.com/paper/5g-standalone-update-executive-summary-june-2021/>. Acesso em: 21 out. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **Factory efficiency: 5G era iot manufacturing use cases and benefits**. 2020b. Disponível em: <https://www.gsma.com/iot/resources/manufacturing-factory-efficiency/>. Acesso em: 21 out. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **LTE to 5G: june 2021: global update**. 2021b. Disponível em: <https://gsacom.com/paper/lte-to-5g-june-2021-global-update/>. Acesso em: 21 out. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **Product build & quality: 5G era IoT manufacturing use cases and benefits.** 2020c. Disponível em: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-GSMA-Manufacturing-Benefits-Props-Product-Build-and-Quality.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS ASSOCIATION - GSMA. **Tributação do setor móvel no Brasil: apoio à transformação digital.** 2020d. Disponível em: <https://www.gsma.com/latinamerica/pt-br/resources/tributacao-do-setor-movel-no-brasil-apoio-a-transformacao-digital/>. Acesso em: 21 out. 2021.

GO with the flow: fibre optic cables to be laid in water pipes in £ 4 million UK trial. **The Guardian**, 2021.

GOHAR, Ali; NENCIONI, Gianfranco. The role of 5G technologies in a smart city: the case for intelligent transportation system. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 5188, 2021.

HABIBI, Mohammad Asif; HAN, Bin; SCHOTTEN, Hans D. **Network slicing in 5G mobile communication architecture, profit modeling, and challenges.** 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1707.00852>. Acesso em: 21 out. 2021.

IDRICA. **5G promises to revolutionize water management on the inevitable road towards digital transformation.** 2021. Disponível em: <https://www.idrica.com/blog/5g-promises-to-revolutionize-water-management/>. Acesso em: 21 out. 2021.

INAMASU, Ricardo Y.; BERNARDI, A. C. de C. **Embrapa instrumentação: capítulo em livro científico (ALICE).** 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1003476>. Acesso em: 21 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Conta-Satélite de Saúde.** 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9056-conta-satelite-de-saude.html>. Acesso em: 21 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saúde,** 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9160-pesquisa-nacional-de-saude.html>. Acesso em: 21 out. 2021.

IOT ANALYTICS. **State of the IoT Q4/2020 and Outlook 2021.** 2020. Disponível em: <https://iot-analytics.com/product/state-of-iot-q4-2020-outlook-2021/>. Acesso em: 21 out. 2021.

JULIÃO, Henrique. **5G standalone e non-standalone: fornecedoras explicam principais diferenças.** 2021a. Disponível em: <https://teletime.com.br/15/01/2021/5g-standalone-e-non-standalone-fornecedoras-explicam-principais-diferencas/>. Acesso em: 21 out. 2021.

JULIÃO, Henrique. **Brasil alcança 100 mil antenas, mas conta com 4 mil pedidos em espera.** 2021b. Disponível em: <https://teletime.com.br/02/07/2020/brasil-alcanca-100-mil-antenas-mas-counta-com-4-mil-pedidos-em-espera/>. Acesso em: 21 out. 2021.

KATZ, Raúl; CABELLO, Sebastián. **O valor da transformação digital por meio da expansão móvel na América Latina**. 2019. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/grupos-de-trabalho/56a-legislatura/implantacao-da-tecnologia-5g-no-brasil/documentos/seminarios/raul-e-sebastian-estudo>. Acesso em: 21 out. 2021.

KPMG. **Encouraging 5G investment: lessons learnt from around the world**. 2019. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/uk/pdf/2019/12/encouraging-5g-investment.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

LATIF, Siddique *et al.* How 5g wireless (and concomitant technologies) will revolutionize healthcare?. **Future Internet**, v. 9, n. 4, p. 93, 2017.

MA, Long. Study on intelligent mine based on the application of 5G wireless communication system. *In: IOP conference series: earth and environmental science*. [S.l.]: IOP Publishing, 2020.

MACHADO, Ana Paula. Faturamento do setor mineral no Brasil cresce 36% em 2020, para R\$ 209 bi. **Valor Econômico**, 02 fev. 2021c. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/02/02/faturamento-do-setor-mineral-no-brasil-cresce-36percent-em-2020-para-r-209-bi.ghtml>. Acesso em: 21 out. 2021.

MARR, Bernard. The biggest wearable technology trends in 2021. **Forbes**, 2021. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/03/05/the-biggest-wearable-technology-trends-in-2021/>. Acesso em: 21 out. 2021.

MOHANTA, Bhagyashree; DAS, Priti; PATNAIK, Srikanta. **Healthcare 5.0: a paradigm shift in digital healthcare system using artificial intelligence, IOT and 5G communication**. *In: 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED MACHINE LEARNING (ICAML)*. [S.l.]: IEEE, 2019. p. 191-196.

NEAL, Adrian; MIZARMANY, Esmat; DOHLER, Mischa; ROSAS, Maria. **5G and education**. [S.l.]: Jisc Whitepaper, 2019.

NERY, Carmen. Disputas judiciais são entrave à modernização na capital paulista. **Valor Econômico**, 12 abr. 2021b. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/suplementos/noticia/2021/04/12/disputas-judiciais-sao-entrave-a-modernizacao-na-capital-paulista.ghtml>. Acesso em: 21 out. 2021

OPEN SIGNAL. **Brazil mobile network experiency report**. jan. 2020. Disponível em: <https://www.opensignal.com/reports/2020/01/brazil/mobile-network-experience>. Acesso em: 21 out. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **The world population prospects 2019: highlights**. 2019. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html>. Acesso em: 21 out. 2021.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. **Avaliação da OCDE sobre telecomunicações e radiodifusão no Brasil 2020**. OCDE Publishing, 2020a.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. **Broadband portal**: percentage of fibre connections in total broadband. 2020b.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. **The road to 5G networks**: experience to date and future developments. [S.l.]: OCDE Publishing, 2020c.

PERRY, Chris; STEDUTO, Pasquale. **Does improved irrigation technology save water?** A review of the evidence. [S.l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

REUTERS. **5G-connected cows test milking parlor of the future**. 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-telecoms-5g-cows/5g-connected-cows-test-milking-parlor-of-the-future-idUSKCN1RN1IY>. Acesso em: 21 out. 2021.

ROCKMANN, Roberto. Demanda por fibra óptica deve crescer. **Valor Econômico**, 12 abr. 2021a. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/suplementos/noticia/2021/04/12/demanda-por-fibra-optica-deve-crescer.ghtml>. Acesso em: 21 out. 2021

ROY, Soumik. **A peek into China's smart IoT and 5G-enabled tomato farms in Wuzhen**. 2019. Disponível em: <https://techwireasia.com/2019/10/a-peek-into-chinas-smart-iot-and-5g-enabled-tomato-farms-in-wuzhen/>. Acesso em: 21 out. 2021.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Sustentabilidade 2018**. [S.l.]: SABESP, 2018.

SCHWAB, Klaus. The fourth industrial revolution. **Currency**, 2017.

SHANAHAN, Rebecca; KINGSFORD, Andy. **Technology & water**: how 5G and IoT can update our water infrastructure. 2021. Disponível em: <https://www.verizon.com/about/news/technology-water-how-5g-and-iot-can-update-our-water-infrastructure>. Acesso em: 21 out. 2021.

STL PARTNERS. **5G's healthcare impact**: 1 billion patients with improved access in 2030. 2019a. Disponível em: <https://stlpartners.com/research/5gs-healthcare-impact-1-billion-patients-with-improved-access-in-2030/>. Acesso em: 21 out. 2021.

STL PARTNERS. **\$ 1.4 TN of benefits in 2030**: 5G's impact on industry verticals. out. 2019b. Disponível em: <https://carrier.huawei.com/~media/CNBGV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Industry-Verticals.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

STUTZ, Luciano. **Workshop Implantação do 5G pelos municípios**. Abrintel, 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=I2niWVXzd44&ab_channel=FórumdaAlerjdeDesenvolvimentodoRio. Acesso em: 21 out. 2021.

SWAIN, Wally; LOPES, Ari; AGNESE, Sonia. **Why 5G in Latin America?** a call to action for Latin American operators and policymakers. ago. 2020. Disponível em: https://news.america-digital.com/wp-content/uploads/2020/08/Nokia_Why_5G_in_Latin_America__Report_ES.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

TANG, Yu *et al.* A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 180, p. 105895, 2021.

TELECO. **5G no Brasil**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/5g_brasil.asp. Acesso em: 23 jul. 2021.

TELECO. **ERBs**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/erb.asp>. Acesso em: 23 jul. 2021.

TELESÍNTESE. **Huawei implanta 5G em seu centro de logística em São Paulo**. 2020. Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/huawei-implanta-5g-em-seu-centro-de-logistica-em-sp/>. Acesso em: 21 out. 2021

THE BLUE NEWS E VIEWS FROM O2. **O2 plans rollout of 5G connectivity for world's most advanced urban testbed for self-driving vehicles**. 2019. Disponível em: <https://news.o2.co.uk/2019/11/04/o2-plans-rollout-of-5g-connectivity-for-worlds-most-advanced-urban-testbed-for-self-driving-vehicles/>. Acesso em: 21 out. 2021.

USMAN, Muhammad Arslan; PHILIP, Nada Y.; POLITIS, Christos. 5G enabled mobile healthcare for ambulances. *In: 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. [S.l.]: IEEE, 2019. p. 1-6.

VAN DIJK, Jan; HACKER, Kenneth. The digital divide as a complex and dynamic phenomenon. **The information society**, v. 19, n. 4, p. 315-326, 2003.

WILLIG, Andreas; MATHEUS, Kirsten; WOLISZ, Adam. Wireless technology in industrial networks. **Proceedings of the IEEE**, v. 93, n. 6, p. 1130-1151, 2005.

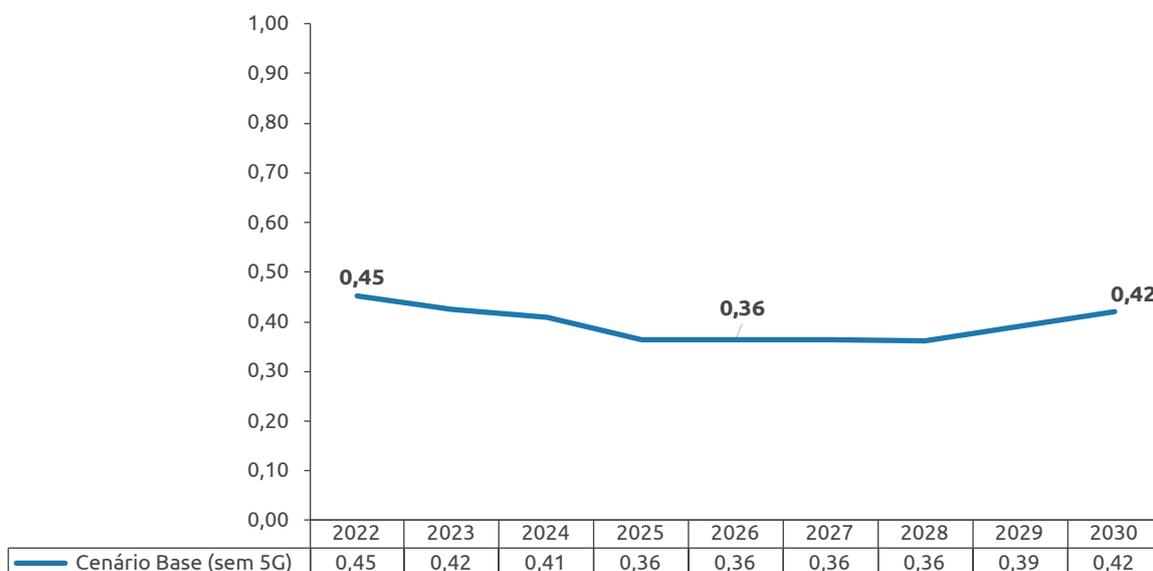
WOETZEL, Jonathan *et al.* **Smart cities: digital solutions for a more livable future**. [S.l.]: McKinsey&Company, 2018b.

APÊNDICE A - ANEXO METODOLÓGICO

Para avaliar os possíveis ganhos de produtividade do 5G no PIB brasileiro, algumas premissas foram adotadas. Primeiro, de que todo o crescimento futuro do PIB potencial será em decorrência do crescimento da população em idade ativa (PIA) ou da produtividade do trabalho; e que a adoção do 5G apenas impactará o último indicador.

Assim, foi necessário estimar a trajetória do crescimento do PIB potencial para o período em análise (2022 - 2030) – sem levar em consideração os ganhos do 5G –, o que foi feito com base em projeções da população em idade ativa do IBGE, e com dados da produtividade do trabalho brasileira, fornecidos por Bonelli e Bacha. Para esse cálculo, adotou-se a premissa de que, sem o 5G, o crescimento da produtividade do trabalho se manteria no patamar correspondente à média dos últimos 30 anos: 0,67% ao ano. Com as projeções demográficas do IBGE, é possível calcular o crescimento do PIB *per capita* a partir das premissas estipuladas. O Gráfico A permite visualizar esse cenário base sem implementação do 5G.

GRÁFICO A – Projeções de crescimento anual do PIB potencial *per capita* brasileiro em cenário sem a implementação da tecnologia 5G, em %



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE, IPEA, Bonelli e Bacha.

Partindo do pressuposto que o primeiro ano de implementação do 5G será 2022 – como determina o edital do leilão –, foram delineados dois cenários de penetração da tecnologia até 2030. O primeiro advém das estimativas da Bain & Company, que prevê uma penetração de 5% em 2022, atingindo 43% em 2026 e 81% em 2030. Já o segundo cenário tem como fonte a projeção da GSMA para o Brasil em 2025, de 18%, a partir do qual foi estimada uma linha de tendência que permitiu extrapolar os valores para os outros anos da série. O Quadro A denota tais estimativas.

QUADRO A – Projeções da penetração¹ do 5G no Brasil, 2021 - 2030, em %

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cenário I	0,0	5,0	15,0	26,0	35,0	43,0	53,0	63,0	72,0	81,0
Cenário II	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5

Fonte: Elaboração própria, com base em Bain & Company (2021) e GSMA (2020). ¹A penetração equivale à participação do 5G nas conexões móveis totais.

As projeções de impacto do 5G no PIB potencial foram calculadas, então, por meio da seguinte equação:

$$\Delta PIB_{pot_{ij}} = \Delta PIB_{pot_i} + (penetração_{ij} \times 0,5\%)$$

Onde:

- $\Delta PIB_{pot_{ij}}$ é o crescimento do PIB potencial para o ano i e cenário j ;
- ΔPIB_{pot_i} é o crescimento do PIB potencial do cenário base (sem 5G) para o ano i ;
- $penetração_{ij}$ é a taxa de penetração estimada para o ano i e cenário j ; e
- 0.5% é o impacto do 5G no PIB. Esse coeficiente provém de artigo de propósito similar de Castells et. al (2020)³⁴, e traduz um acréscimo na taxa de crescimento do PIB potencial anual da ordem de 0.05 p.p. para cada elevação de 10% na penetração do 5G. Assim, sua multiplicação pela taxa de penetração permite estimar os efeitos da adoção parcial da tecnologia 5G.

Os resultados das equações estão presentes no Quadro B.

QUADRO B – Crescimento do PIB potencial nos cenários, 2022 - 2030, em %

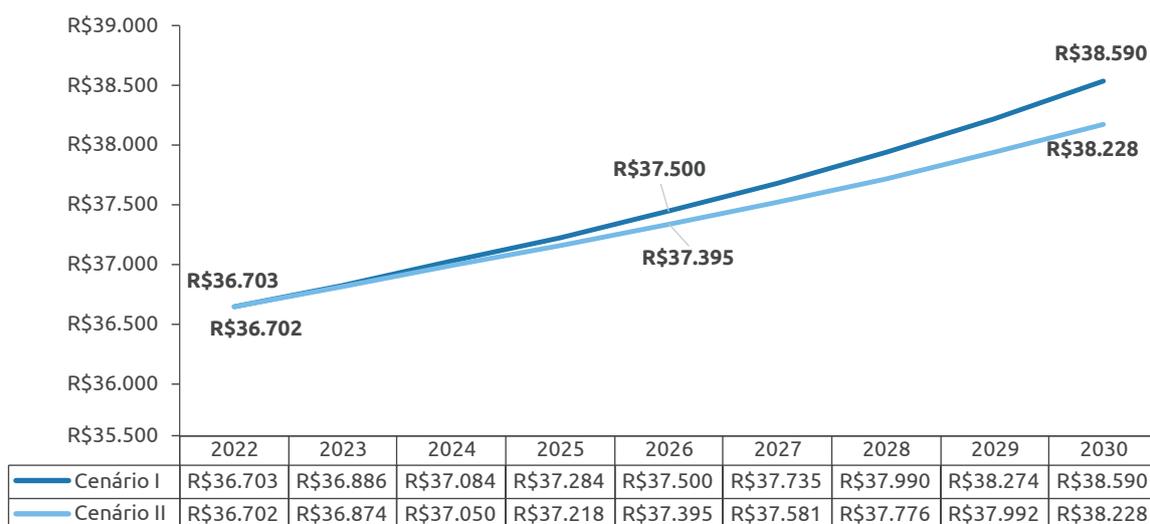
Ano	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cresc. PIB potencial (Base)	1,16	1,10	1,06	0,98	0,95	0,92	0,89	0,89	0,89
Cresc. PIB potencial (Cenário I)	1,19	1,18	1,19	1,16	1,17	1,19	1,21	1,25	1,30
Cresc. PIB potencial (Cenário II)	1,19	1,15	1,13	1,07	1,07	1,06	1,05	1,07	1,09

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE, IPEA, Bonelli e Bacha, Bain & Company (2021) e GSMA (2020).

34 CASTELLS, P.; SUARDI, S.; NICHIFOROV-CHUANG D.; GEORGE, D. 5G and economic growth: an assessment of GDP impacts in Canada. GSMA Intelligence Economic Research Working Paper, 2020.

Em seguida, os valores de crescimento para ambos os cenários foram aplicados na projeção do PIB (em R\$) de 2021³⁵, e, por meio das estimativas de crescimento da população do IBGE, foram obtidas as projeções de PIB per capita dos Cenários I e II, conforme observado no Gráfico B.

GRÁFICO B – Projeções do PIB per capita brasileiro em cenários com adoção veloz (Cenário I) e lenta (Cenário II) do 5G, em R\$ constantes de 2020



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE, IPEA, Bonelli e Bacha, Bain & Company (2021) e GSMA (2020).

O Quadro C permite analisar os resultados gerais do modelo estimado. Em 2030, o Cenário I, com premissas otimistas de adoção do 5G, representa um acréscimo de R\$81,3 Bi em relação ao cenário de implementação mais gradual (Cenário II) e R\$167,1 Bi em relação ao Cenário Base sem 5G. Similarmente, o crescimento anual do PIB potencial *per capita* em 2030 no Cenário I é 0,2 p.p. superior ao Cenário II e 0,4 p.p. superior ao Cenário Base.

QUADRO C – População, PIB potencial e *per capita* dos cenários, 2022 - 2030

Ano	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PIB potencial (Base)	7882,9	7970,0	8054,4	8133,7	8211,3	8287,1	8361,0	8435,4	8510,5
PIB potencial (Cenário I)	7884,8	7977,8	8072,7	8166,3	8261,8	8359,9	8460,8	8566,6	8677,6
PIB potencial (Cenário II)	7884,7	7975,3	8065,1	8151,8	8238,7	8325,9	8413,3	8503,4	8596,3
População	214,8	216,3	217,7	219,0	220,3	221,5	222,7	223,8	224,8
Cresc. PIB <i>per capita</i> potencial (Base)	0,45%	0,42%	0,41%	0,36%	0,36%	0,36%	0,36%	0,39%	0,42%
Cresc. PIB <i>per capita</i> potencial Cenário I)	0,48%	0,50%	0,54%	0,54%	0,58%	0,63%	0,68%	0,75%	0,82%
Cresc. PIB <i>per capita</i> potencial (Cenário II)	0,48%	0,47%	0,48%	0,45%	0,48%	0,50%	0,52%	0,57%	0,62%

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE, IPEA, Bonelli e Bacha, Bain & Company (2021) e GSMA (2020). Nota: PIB em R\$ Bi constantes de 2020, população em milhões.

35 A projeção do PIB de 2021 foi calculada por meio do crescimento real estipulado pelo relatório Focus, de 5,29%, em relação ao PIB de 2020.

CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS - DRI

Monica Messenberg Guimarães
Diretor de Relações Institucionais

Gerência Executiva de Infraestrutura - GEINFRA

Wagner Ferreira Cardoso
Gerente-Executivo de Infraestrutura

Rennaly Patricio Sousa
Mariana Lodder
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO - DIRCOM

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Gerência de Publicidade e Propaganda

Armando Uema
Gerente de Publicidade e Propaganda

Walner de Oliveira
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS - DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Superintendência de Administração - SUPAD

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Superintendente Administrativo

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

Cláudio R. Frischtak
Luiza Bellon
Gabriel Ferreira
Kauê Romano
Arthur M. Rodrigues
Consultores

Editorar Multimídia
Projeto Gráfico e Diagramação

www.cni.com.br

[/cniBrasil](https://www.facebook.com/cniBrasil)

[@CNI_br](https://twitter.com/CNI_br)

[@cniBr](https://www.instagram.com/cniBr)

[/cniweb](https://www.youtube.com/c/cniweb)

[/company/cni-brasil](https://www.linkedin.com/company/cni-brasil)



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA