



Supported by:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



on the basis of a decision
by the German Bundestag

Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil

Baseado nas experiências da Alemanha



Imprint

Commissioned and published by:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
(GIZ) GmbH
Registered offices: Bonn and Eschborn, Germany

Project: Bilateral Energy Partnerships in Developing and
Emerging Countries

Contact: German-Brazilian Energy Partnership

SCN Quadra 01, Bloco C, Sala 1501

70711-902 Brasília – DF, Brazil

Kristina Kramer

E-mail: kristina.kramer@giz.de

Stéphanie Gomes

E-mail: stephanie.gomes@giz.de

Website: www.energypartnership.com.br

Tel.: +55 61 2101 2170

As at

30/08/2021

Design

Vaz Gontijo Consultoria, Brasilia

Edelman GmbH, Berlin

Photo Credits

Shutterstock 662489227 by Sergey Nivens (p.4)

Shutterstock 1377579011 by NicoElNino (p.19)

Shutterstock 1411294778 by metamorworks (p.28)

Shutterstock 1152934934 by 13_Phunkod (p.52)

Shutterstock 1599354271 by stockwerk-fotodesign (p.70)

Shutterstock 1722492775 by Blue Planet Studio (p.79)

Text

Carlos Alberto Fróes Lima, PhD, International Energy
Initiative – IEI Brasil

Rodolfo Dourado Maia Gomes, MSc, International Energy
Initiative – IEI Brasil

Revision

Alexandra Albuquerque Maciel, Ministério de Minas e
Energia (MME)

GIZ is responsible for the content of this publication.

On behalf of the
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)

Conteúdo

Glossário	4
Lista de figuras	6
Lista de tabelas	7
Sumário Executivo	8
1. Introdução	10
2. Tecnologias	15
3. Coleta de dados	19
4. Privacidade e Segurança dos dados	28
5. Aplicações e projetos pilotos realizados no Brasil	40
6. O comportamento do cliente/consumidor e o reconhecimento do uso da energia inteligente	52
7. Transparência & Resposta à Demanda	62
8. Condições regulatórias, legais e comportamentos sociais no Brasil	64
9. Proposições	70
10. Conclusão	79
Referências	82



Glossário

AI	Artificial Intelligence	DPIA	<i>Data Protection Impact Assessment</i>
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial	DRES	<i>Distributed Renewable Energy Sources</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	DR	<i>Demand Response</i>
ACL	Ambiente de Contratação Livre - Brasil	DSO	<i>Distribution system operator</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica- Brasil	EDIFACT	<i>Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações - Brasil	EPRI	<i>Electric Power Research Institute - EUA</i>
BDEW	<i>Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft</i> - Associação Federal para a Gestão de Energia e Água	EnWG	<i>Energy Industry Act</i>
BMWi	German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy	EPE	Empresa de Pesquisa Energética
BSI	<i>Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik</i> - Escritório Federal de Segurança em Tecnologia da Informação da Alemanha	EU	<i>European Union</i>
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável	f	<i>frequency</i>
GCCE	Grupo Coordenador de Conservação de Energia Elétrica	GD	Geração distribuída
CSP	<i>Charge Service Provider</i>	GDEW	<i>Act on the Digitalization of the Energy Transition</i> <i>Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende</i>
DENA	<i>Deutsche Energie-Agentur GmbH</i> - Agência de Energia Alemã	GDPR	General Data Protection Regulation
DER	<i>Distributed Energy Resources</i>	GEE	Gases de efeito estufa
		GPS	Global Positioning System
		GSM	<i>Global System for Mobile Communications: second generation mobile communications standard</i>
		ICT	<i>Information and Communications Technology</i>
		IoT	<i>Internet of Things</i> - internet das coisas
		IP	Internet Protocol
		JRC	<i>Joint Research Centre</i> - UE

LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais	PRODIST	Procedimentos de Distribuição - ANEEL
LTE	<i>Long Term Evolution: Third generation mobile communications standard</i>	PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
M2M	<i>Machine to machine connection</i>	PV	<i>Photovoltaic</i>
MME	Ministério das Minas e Energia	RED	Recursos Energéticos Distribuídos
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída	REI	Redes de Energia Inteligentes
MSCONS	<i>Metered Services Consumption</i>	RES	<i>Renewable Energy Sources</i>
MW	Mega Watt	RTP	<i>Real-time pricing</i>
MWh	Mega Watt Hour	SGAM	<i>Smart Grid Architecture Model</i>
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada	SG-CG	<i>Smart Grid Coordination Group</i>
NIS	<i>Network and Information Security</i>	SGIS	<i>Smart Grid Information Security</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i> – EUA	SIN	Sistema Interligado Nacional
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico - Brasil	SME	<i>Small and Medium Enterprises</i>
P2P	<i>Peer-to-Peer</i>	SMECS	<i>Smart Energy Communities</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento	TI	Tecnologia da Informação
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem	TMN	<i>Telecommunication Management Network</i>
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia	TIC	Tecnologia de informação e comunicação
PLC	<i>Power Line Communication</i>	U	Voltage
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças	UE	União Europeia
PMU	<i>Phasor Measurement Unit</i>	VE	Veículos elétricos
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica- Brasil	VPN	<i>Virtual Private Network</i>

Lista de figuras

Figura 1 – Sistema unidirecional de fornecimento de energia até a residência	10
Figura 2 – Sistema centralizado de eletricidade	11
Figura 3 – Atualização do sistema de entrega de energia, bidirecional	11
Figura 4 – Evolução da capacidade instalada total no Brasil	12
Figura 5 – Projeção da capacidade instalada de MMGD	13
Figura 6 – Acoplamento setorial – Moldando um sistema integrado de energia renovável	14
Figura 7 – Diagrama de Venn, demonstrando interconexão dentre sistemas analíticos, estatística, aprendizado de máquina e inteligência artificial	20
Figura 8 – Áreas de atuação, segundo as normas de segurança	32
Figura 9 – Aplicabilidade das normas de segurança	33
Figura 10 – Modelo de Arquitetura Smart Grid – camadas, domínios e zonas	34
Figura 11 – Domicílios brasileiros com acesso à internet, por região	50
Figura 12 – Acesso à internet por domicílio, por área	51
Figura 13 – Representação gráfica de condicionantes do relacionamento do consumidor de energia brasileiro atual	53
Figura 14 – Ações foco para o desenvolvimento energético europeu	56
Figura 15 – Exemplos de aplicações para encantar o consumidor no engajamento do uso da energia no projeto Enera	57
Figura 16 – Contribuição setorial para os ganhos de eficiência energética elétrica	58
Figura 17 – Peças para promover a inserção eficiente de RED no Brasil, segundo a EPE	58
Figura 18 – Mapa estratégico da ANEEL 2018-2021	65
Figura 19 – Incertezas regulatórias para MMGD, segundo a EPE no plano decenal 2030	67
Figura 20 – Redução (em US\$) do preço do kWh	68
Figura 21 – Sistema de Gestão da Energia (SGE)	72
Figura 22 – Implantação de geração solar no topo do edifício do MME na Esplanada dos Ministérios	73
Figura 23 – Estruturação simplificada para a digitalização da iluminação predial, com controle central e via dispositivos smart	74
Figura 24 – Fachada de um prédio da Esplanada, com uma diversidade de equipamentos de ar-condicionado instalados	76
Figura 25 – Proposição de uma caracterização da digitalização predial para um contexto de Esplanada Inteligente	77

Lista de tabelas

Tabela 1 – Conformidade de Smart Grid com o modelo de 5Vs para Big Data	20
Tabela 2 – Estrato de projetos ligados à inteligência da rede na ANEEL	42
Tabela 3 – Quadro resumo de tecnologias abordadas nos projetos piloto	44
Tabela 4 – Conexões GD no Brasil	48
Tabela 5 – Etiquetagem em edificações no horizonte do PDE 2029	60
Tabela 6 – Divisão de reduções digitais previstas no cenário de “descarbonização ambiciosa” para o setor de energia	61
Tabela 7 – Itens do planejamento estratégico ANEEL 2018-2021	65

Sumário Executivo

It's not about technology. It's about business transformation.

“Nos primeiros dias de eletrificação, as empresas mantiveram os layouts de fábricas construídas em torno do local original do motor a vapor, embora não precisassem mais das conexões mecânicas do motor antigo para operar as máquinas. A história está se repetindo agora. Muitas empresas estão digitalizando as correias e polias de processos existentes quando deveriam pensar de forma profunda e criativa sobre como usar o digital para operar e organizar-se de novas maneiras, para que novas oportunidades possam ser criadas.” [1]

O Brasil passa por um momento de inflexão tecnológica quanto a digitalização possível de ser aplicada em todos os processos, sejam comerciais, industriais ou associadas ao cotidiano individual. Testemunha-se a digitalização dos serviços públicos, das cidades e dos aparelhos eletrodomésticos, com comandos de voz para acionamentos de múltiplas funções cotidianas e com informação e transparência nos dados disponibilizados nas interações de consumo de bens e serviços.

Conjuntamente, as concessionárias e empresas de energia brasileiras têm sido colocadas frente a este novo momento de mercado. A digitalização, a evolução de sistemas de controle e as facilidades oferecidas pelos sistemas de telecomunicações atuais, bem como a diminuição de custos destes sistemas, tem permitido novas possibilidades operacionais e nova gestão, monitoramento, controle e robustez para suportar as necessidades físicas, técnicas e financeiras das/nas redes de energia, com mais granularidade geográfica e no tempo.

Embora possa parecer natural e parte do negócio das concessionárias e empresas de distribuição de energia brasileiras, elas não possuem sistemas que demonstrem o real consumo individualizado ou regional em tempo real, não tem sistemas ou redes preparadas para absorver ou comunicar a quantidade de informações que demonstrem a relação de consumo e a relação de geração de energia dos consumidores (que estão participando mais do processo, envolvidos pela autogeração de energia e disponibilizando seus excessos gerados na rede).

Uma única leitura (ainda manual) mensal do consumo, como realizado nos procedimentos de tarifação do consumo brasileiro atuais, não permite o entendimento da dinâmica das necessidades energéticas. Não se poderá subsidiar decisões de investimentos estratégicos necessários pelo país para garantir seu desenvolvimento, com esta forma de conhecimento simplificado, estatístico (devido a forma de geração do balanço energético), sem detalhamento efetivo da demanda em períodos precisos de observação.

A legislação está evoluindo para uma realidade de relação de consumo e preços mais flexíveis na qual o usuário possa reagir pelo conhecimento efetivo de sua contribuição para a sustentabilidade. A questão que se apresenta neste momento está relacionada em como demonstrar o uso da energia (consumo) para se criar direcionadores necessários para esta consciência e mudanças de comportamento de forma continuada e garantir infraestrutura e recursos técnicos e provocações de investimentos necessários pela sociedade, governos e empresários. Também perpassa as necessidades de tratar de forma adequada as questões sociais associadas à digitalização e a incorporação, ao longo do tempo, das necessidades e possibilidades diferenciadas de parte da população, proporcionando equilíbrio na prestação dos serviços.

Reconhecer e engajar o cliente, conduzir o uso efetivo da energia e de novas tecnologias, torná-las simples e adequadas às diversas necessidades, por um custo aceitável, é um desafio adicional à construção de sistemas, de comunicação e de grandes logísticas operacionais. Exemplos das implantações americanas e europeias e, principalmente alemãs, já efetivadas, demonstram claramente a questão da digitalização do negócio de energia como um grande desafio. Devemos, obviamente, considerar as diferenças culturais, sociais, econômicas, climáticas, de geração descentralizada, da constituição renovável particular da matriz energética brasileira, além do consumo médio anual de energia no país, relativamente menor, que podem ainda mais exigir estratégias diferenciadas para a efetividade financeira da digitalização no setor de energia.

E associado, intrínseco à digitalização, está o tratamento da informação gerada, a sua coleta de forma sistemática, a privacidade dos dados coletados e a segurança nos sistemas de energia, desde a coleta até o uso efetivo dos dados adquiridos para o processo de monitoração, controle e gestão da energia e dos elementos digitais inseridos na rede (até os medidores dos clientes), dados dos sistemas de Geração Distribuída (GD) e da disponibilidade energética regional.

Muitos resultados já estão disponíveis na realidade alemã, nos projetos executados e em execução na comunidade europeia, que podem servir como modelos e referências para subsidiar o projeto de digitalização que o Brasil precisará elaborar. Estas experiências trazem contribuições via os caminhos trilhados na transição do modelo unidirecional da energia para um modelo de negócios diferenciado, que requer modernização para a regulação brasileira, para o relacionamento com os consumidores brasileiros, para a mudança de paradigma do negócio de energia e da concessão brasileiros. Podem trazer, principalmente, uma nova visão estrutural, administrativa e estratégica para as distribuidoras de energia no país e para seus investidores.

A análise feita neste documento, passo a passo, busca comparar o estado da arte apresentado nos projetos alemães com o momento da concessão da distribuição elétrica brasileira. Busca traduzir tecnologia em resultados e passos. Busca também apresentar o contexto regulatório, de leis, de incentivos, de negócios, quando possível, exigido para as mudanças disruptivas no modelo vigente. Busca sinalizar a necessidade de parcerias ou modelos de comunicação para viabilizar a tecnologia, a necessidade de sistemas de tratamento de dados de forma analítica, segura e com anonimato. Busca reforçar que o cliente é o demandante das mudanças e pode ser engajado no processo, ser coautor.

1. Introdução

O início da análise da evolução e digitalização das redes de distribuição de energia, como bem apresentado no documento de referência [2], reforça as condições históricas de uso/entrega da energia e traduzem as condições de rede de energia num novo paradigma de uso baseado em novos conceitos e possibilidades tecnológicos bem como de novos serviços e atores.

Tradicionalmente, os sistemas de energia, da geração de energia às residências, são unidirecionais e baseados em uma geração de energia mais previsível, controlável e centralizada, parecidos com os desenhos apresentados nas Figura 1 e Figura 2.

No contexto da análise de tendência evolutiva, vamos levar em consideração que, cada vez mais, uma maior quantidade de energia está sendo gerada localmente e conectada diretamente às redes de distribuição, desde painéis solares nos telhados a pequenas centrais elétricas. Isto geralmente é denominado pelas DSO (*Distribution System Operators* - empresas de distribuição) como recursos energéticos distribuídos (DER- *Distributed Energy Resources*) e, no caso específico das energias renováveis, fontes renováveis distribuídas de energia (DRES - *Distributed Renewable Energy Sources*). Essas aplicações e novos serviços (como eletropostos e a carga de carros elétricos) estão exigindo das redes de energia uma bidirecionalidade da energia, e mudanças de planejamento, controle e gestão, que diferem do padrão até então existente.

1.1 Políticas/diretrizes legais e regulatórias da Comunidade Europeia estão impulsionando a necessidade de redes elétricas inteligentes

Desde 2007, a União Europeia (UE) comprometeu-se e cumpriu as metas chamadas 20-20-20, ou seja, até 2020, redução das emissões de gases de efeito estufa em 20% em comparação com os níveis de 1990, de produção de 20% da

energia consumida de fontes renováveis (RES - *Renewable Energy Sources*), e consumindo 20% menos energia. Após 2020, a UE traz como meta neutralizar suas emissões de gases de efeito estufa até 2050 (comparado com 1990) e estabelece critérios para poder alcançar até 55% de reduções até 2030 [5].

Para que estes objetivos sejam alcançados, cada vez mais energia renovável está sendo conectada às redes de eletricidade. A eletricidade gerada a partir de fontes renováveis é de natureza predominantemente variável (eólica e solar) e está conectada a redes de distribuição. Isto torna a missão central da Distribuidora cada vez mais desafiadora em garantir um fornecimento seguro de eletricidade (não variável) e a qualidade de serviço. Para ampliar mais ainda o desafio, adiciona-se à natureza intermitente (variável) do fornecimento de energia as novas formas de demanda de energia, como para os veículos elétricos (VE).

Na Europa, o cenário de mudança de energia requer uma reformulação dramática de como garantir a manutenção das luzes acesas, ao mesmo tempo fazendo o melhor uso das novas fontes de energia e mantendo baixos os custos de infraestrutura [2]. Em vez de apenas estender/reforçar a infraestrutura física, o que é extremamente caro e problemático para implantação, soluções de TI (tecnologia da informação) complementares estão sendo introduzidas, adicionando comunicação, sensores e automação¹. Isto deve permitir que as distribuidoras gerenciem de forma ativa a geração e a demanda, que são variáveis. Essa combinação de soluções é o que comumente se refere como **rede elétrica inteligente** (*smart grid*).

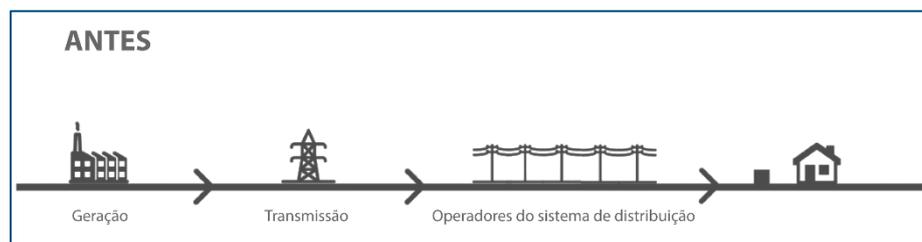


Figura 1 - Sistema unidirecional de fornecimento de energia até a residência [3] (traduzida)

¹ A análise de custos da mudança da introdução da digitalização nas redes de energia é sempre uma variável dependente das condições das redes e dos sistemas das empresas de distribuição. Varia também com relação às estratégias de adoção. Este custo vem sendo reduzido, entretanto, devido a maturidade das soluções e controles para rede elétrica inteligente, o que pode ser avaliado nas discussões apresentadas pela IEA - International Energy Agency [6].

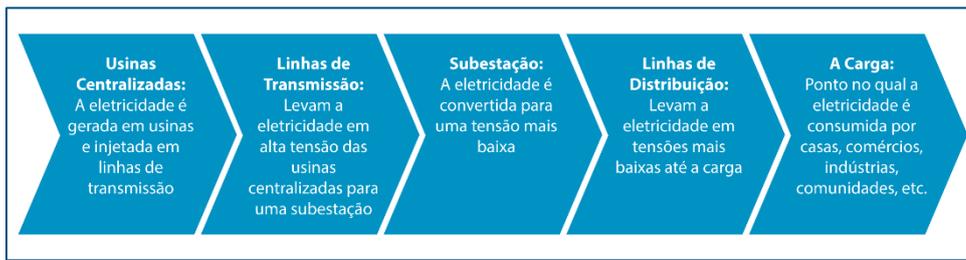


Figura 2 – Sistema centralizado de eletricidade [4] (traduzida)

No Brasil, o cenário de implantação de redes elétricas inteligentes apresenta diretrizes regulamentares e legais incipientes, e as incertezas serão apresentadas ao longo deste documento, junto com a caracterização tecnológica da digitalização mínima necessária.

Em vez do sistema unidirecional mostrado na Figura 1, as redes de distribuição estão começando a se parecer mais com o diagrama apresentado na Figura 3 [3], num compêndio de uso da energia no ambiente *smart* de gestão e geração.

As principais responsabilidades das distribuidoras, segundo a eDSO [3], de segurança do abastecimento e qualidade do serviço, permanecem as mesmas, mas para continuar a garanti-las, precisam evoluir, tornando-se gestoras cada vez mais ativas da rede. Para isso, precisam de um conjunto maior de ferramentas e estruturas legislativas e regulatórias adaptadas.

As redes inteligentes ainda estão em sua infância, segundo [2] e [3], mas serão os principais facilitadores de outros desenvolvimentos tecnológicos e novos serviços e modelos de negócio. Estas e outras tecnologias relativamente novas, como medição inteligente e armazenamento de energia, estão sendo testadas em grande escala e em cenários da vida real e, em alguns estados membros da UE, foram implantadas completamente na rede de energia.

Muitos países também estão se esforçando para reduzir as emissões de gases de efeito estufa desde as empresas até as residências. Além disso, a digitalização não para na indústria de energia. Mudanças climáticas e digitalização são megatendências e desafios que afetam muito de perto todas as outras indústrias. O setor de energia está enfrentando os mesmos desafios com o aumento do número de aparelhos interconectados, aplicações descentralizadas e unidades de geração de pequeno porte.

Assim, o sistema de energia está se tornando cada vez mais fragmentado, no sentido de permitir e promover, geração ao longo de toda a rede e a geração de energia intermitente (no sentido de geração variável ao longo do tempo), com a Europa, e a Alemanha em particular, liderando o que é feito no mundo todo. O declínio contínuo dos custos dos recursos energéticos distribuídos (DER) e o enfrentamento do desafio das mudanças climáticas levam a uma mudança dramática no setor de energia global.

No Brasil, segundo o Plano Decenal 2029 [7], como representado na Figura 4, a alta participação de renováveis na matriz energética é apresentada como contribuição para o cumprimento das metas assumidas no Acordo de Paris, por meio de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), adotando-se a abordagem de caminhos flexíveis, não configurando metas setoriais.

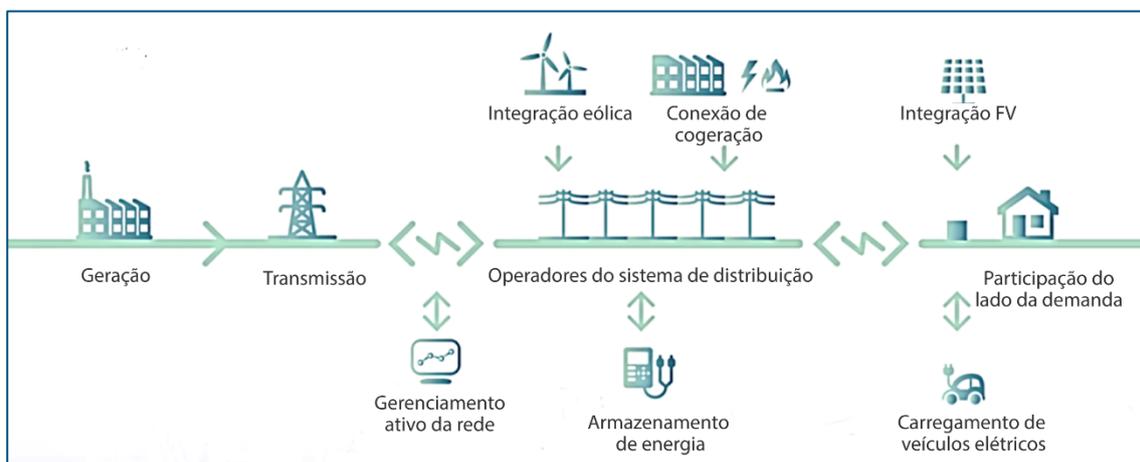


Figura 3 - Atualização do sistema de entrega de energia, bidirecional [3] (traduzida)

FONTE	2019	2024	2029	2019	2024	2029
	MW			%		
CENTRALIZADA	160.956	183.489	220.974	92	90	88
RENOVÁVEIS	138.284	154.196	178.915	79	76	71
NÃO-RENOVÁVEIS	22.672	29.293	42.059	13	14	17
AUTOPRODUÇÃO	13.205	15.583	18.641	8	8	7
RENOVÁVEIS	7.076	8.436	9.915	4	4	4
NÃO-RENOVÁVEIS	6.129	7.147	8.726	3	4	3
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	1.352	4.837	11.367	1	2	5
RENOVÁVEIS	1.274	4.573	10.819	1	2	4
NÃO-RENOVÁVEIS	78	264	549	0	0	1
TOTAL DISPONÍVEL	175.513	203.909	250.983	100	100	100
RENOVÁVEIS	146.634	167.205	199.649	84	82	80
NÃO-RENOVÁVEIS	28.879	36.704	51.334	16	18	20

Nota: Não inclui parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai

Figura 4 - Evolução da capacidade instalada total no Brasil [7]

O Brasil comprometeu-se a reduzir, em 2025, as emissões de GEE em 37% em relação aos níveis de 2005 e como contribuição indicativa subsequente, em 2030, reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005 [8]. Importante frisar que a NDC do Brasil compreende o conjunto da economia e se baseia em caminhos flexíveis para atingir esses objetivos, ou seja, o alcance dos objetivos pode ocorrer de diversas formas, com diferentes contribuições dos setores da economia.

O Plano Decenal 2029 [7] insiste que a manutenção da elevada participação de fontes renováveis na matriz energética e o aumento dos ganhos de eficiência no setor elétrico são desafios para o Brasil. Contudo é interessante observar que existe racionalidade econômica na expansão da oferta e da demanda com base em fontes renováveis, que a eficiência energética precisa ser fomentada como possibilidade para cumprir com as condições de aumento da demanda como metas mensuráveis e rastreáveis a serem praticadas, como realizado pelo Japão.

Foi também reforçado nos estudos para o Plano Decenal 2030 [9], a projeção da capacidade instalada de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), conforme a Figura 5. Entretanto, diferentes mecanismos de compensação dos créditos da MMGD e de aplicação de tarifa binômica, além da variação na data de entrada das medidas, se traduzem em uma vasta gama de resultados possíveis para o horizonte decenal [9].

Mesmo que o sistema energético brasileiro continue a ser caracterizado pela enorme capacidade de produção das usinas hidrelétricas, os conceitos de gestão integrada descentralizada da energia e acoplamento setorial² (veja Figura 6) se tornarão cada vez mais competitivos. Além disso, a expansão da capacidade hidrelétrica é limitada e não terá como atender à demanda adicional gerada pelo crescimento econômico e o aumento da eletrificação (considerando o aumento de aparelhos demandantes de energia elétrica [2]).

Segundo Price Waterhouse and Coopers & Lybrand [11], existem quatro fatores que, combinados estão atuando para mudar a dinâmica de negócios em energia a dinâmica da operação das *utilities* e a dinâmica de uso dos recursos necessários para as ofertas de energia e serviços associados. Estes fatores reforçam um protagonismo do consumidor:

- a) **Descarbonização e agenda de sustentabilidade:** não importa como as empresas veem as mudanças climáticas, seus *stakeholders* estão insistindo cada vez mais que a energia e os produtos fornecidos sejam mais limpos e menos intensivos em carbono;
- b) **Pressão sobre os recursos:** a alta demanda por recursos naturais necessários para as ofertas (de energia e serviços associados) e o aumento do custo ambiental e financeiro para obtê-los;
- c) **Digitalização e avanços tecnológicos, juntamente com a urbanização:** análise de dados; IA (Inteligência Artificial); realidade aumentada e virtual; impressão digital; e outros avanços tecnológicos, como energia renovável, armazenamento e baterias, *power-to-X* e, captura, utilização e armazenamento de carbono, estão sendo adicionadas à capacidade da indústria de energia;
- d) **Descentralização e customização:** avanços em tecnologias renováveis, combinados com armazenamento, permitem que indivíduos e comunidades/regiões locais produzam, usem e vendam sua própria energia e criem uma nova forma de acesso à energia. Esta democratização da energia e dos recursos evidenciam e fortalecem o foco no cliente.

² O acoplamento setorial (*sector coupling* - alemão: *Sektorkopplung*) refere-se à ideia de interconectar (integrar) os setores de consumo de energia - edifícios (aquecimento e refrigeração), transporte e indústria - com o setor de produção de energia.

³ *Power-to-X* (também P2X e P2Y) é uma série de conversões de energia, armazenamento de energia e reconversão de eletricidade para a energia elétrica excedente, normalmente durante períodos de flutuação da energia renovável ou quando a geração excede a carga.

1.2 O envolvimento do consumidor no processo diferenciado e consciente de uso da energia

Empresas, residências e cidades estão se preparando e investindo recursos financeiros consideráveis em capacidade de geração renovável, eficiência do consumo e dos processos energéticos e armazenamento de energia, no mundo.

Isso representa a mudança para uma energia gerada localmente, produzida de forma independente, a preços competitivos frente o fornecimento atual da rede da distribuidora e para algumas empresas, uma decisão considerada estratégica do ponto de vista de independência de fornecimento. O mercado mundial apresenta indicadores de investimentos em grande escala em uma mistura de fontes renováveis e recursos de energia distribuída por trás do medidor (internamente à residência ou empresa), como solar fotovoltaico distribuído, armazenamento de energia, mobilidade elétrica, sistemas de gerenciamento de energia e aparelhos “inteligentes”.

Para gerir a complexidade associada neste ambiente, as tecnologias da informação, como Internet das coisas (IoT), *blockchain* e, especialmente, abordagens de big data (associadas aos avanços em *Data Science*, IA e sistemas analíticos) são essenciais para suportar as necessidades avançadas pelo novo ambiente [11].

O Brasil já apresenta reflexos destas tendências. Em um país privilegiado em insolação, portanto um mercado potencial, consegue-se resultados positivos para o consumidor que investe em geração fotovoltaica e para as cidades, em seus programas de “cidades inteligentes e de

futuro” [12], obtém-se destaque em seus objetivos de demonstrar eficiência operacional. A quantidade de empresas recentes no mercado brasileiro ofertando sistemas de geração fotovoltaica é crescente, bem como a qualidade dos sistemas e a ampliação da mão de obra especializada para manutenção e operação destes sistemas. Isto impacta também a estrutura do desenvolvimento do país e as condições sociais e técnicas envolvidas no uso da energia. Há a necessidade das redes das distribuidoras, e estas empresas, se prepararem com o uso de tecnologias digitais para garantir a manutenção da oferta de energia segundo a demanda, não suportada pela intermitência das fontes entrantes, e para o gerenciamento da qualidade dos serviços oferecidos e da energia entregue (volume e disponibilidade). A manutenção desta qualidade, bem como as condicionantes da operação, bilhetagem e da evolução dos modelos de negócio precisam ser planejadas e asseguradas. Neste ponto, regulação e legislação, incentivos e metas devem ser postos a mesa.

Adicionalmente, é amplamente reconhecido que a eficiência energética é parte fundamental de uma estratégia ampla para enfrentar os múltiplos desafios de lidar com as mudanças climáticas, a segurança energética e a digitalização. As inovações digitais recentes oferecem novas oportunidades para enfrentar os desafios de eficiência energética existentes, desde a eficiência operacional de aparelhos até a gestão de processos energo-intensivos para garantir eficácia. A análise de dados e a comunicação direta com os *stakeholders* em todos os segmentos de energia - da produção ao consumo - fundamentalmente melhora as oportunidades de eficiência energética e de novos serviços e negócios. Isso também diz respeito à eficiência da infraestrutura e sua expansão.

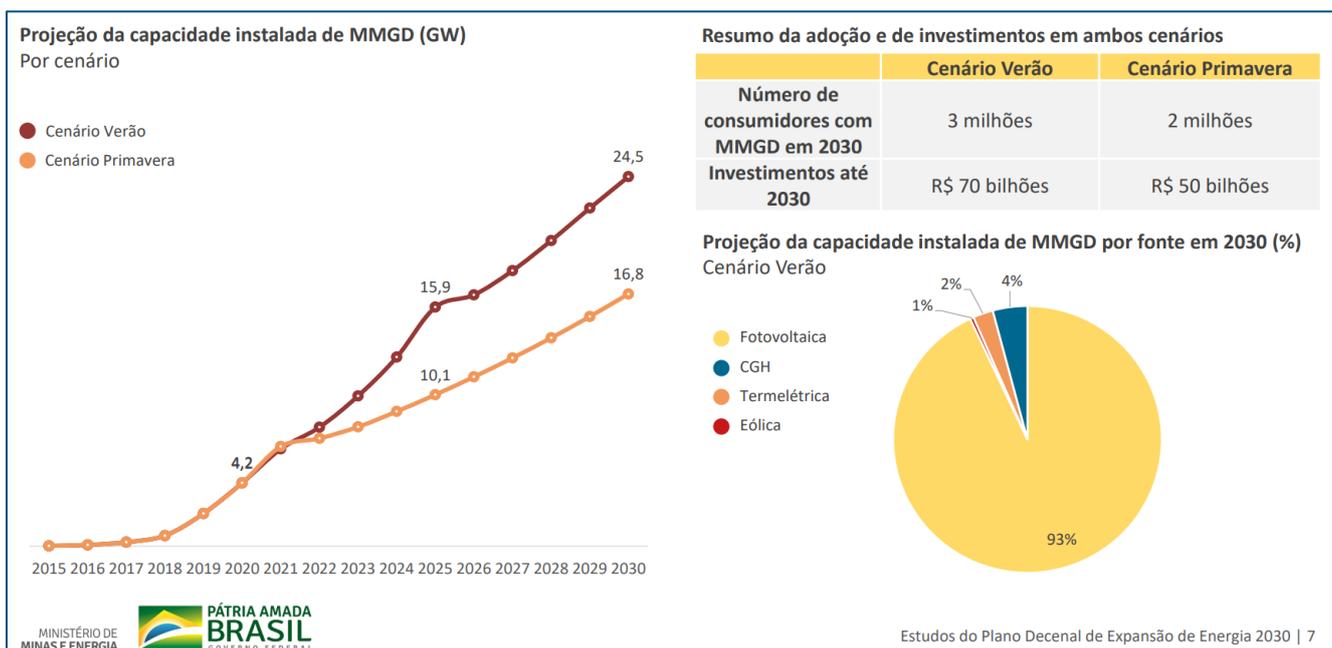


Figura 5 - Projeção da capacidade instalada de MMGD, conforme [9]

Portanto, a digitalização tem o potencial de catalisar mudanças mais fundamentais no sistema como um todo e afeta diretamente o setor elétrico [13]. Afeta sobremaneira, também o negócio da energia, que neste ponto de inflexão precisa ser revisto de forma disruptiva. Precisa ser revisto segundo uma óptica de operação diferenciada, segundo os novos recursos alocados em sua estrutura. A operação monopolista da oferta, sem a participação consciente de consumidores e fornecedores não se apresenta como opção. Isto também é reforçado nas análises do GEEE-7 [14].

Este trabalho segue os direcionamentos tecnológicos apresentados no documento do Estudo das experiências alemãs no uso de tecnologias digitais [2], para realizar a análise comparativa do desenvolvimento e status tecnológicos no Brasil. Assim, para facilidade comparativa, buscou-se manter uma referência direta com o formato original, que traz uma abordagem técnica inicial e depois permeia as condições de digitalização e uso da tecnologia e inteligência operacional com a apresentação de projetos e resultados aplicados na rede de energia alemã. Neste contexto, buscando evidenciar resultados, serão mantidos e utilizados os mecanismos e técnicas digitais dos projetos referenciados [2] para expor as condições brasileiras e representar o questionamento do estado da arte no país.

Neste documento buscou-se reforçar e trazer as diretrizes tecnológicas apresentadas no estudo sobre experiências alemãs [2] como suporte às ponderações feitas. Reconhece-se que a conceituação para leitores não acostumados com todas as nuances da tecnologia é vital para o entendimento e contextualização da complexidade dos temas tratados. Assim, são utilizados os conteúdos, muitas vezes literais, de Strüker e Schmid [2] para posicionar estes conceitos e os expandindo com exemplos, casos e condicionantes existentes no Brasil. Desta forma, em cada momento, é enfatizada a conceituação da tecnologia ou processo utilizado, do ponto de vista da tecnologia da informação, de telecomunicações, de energia, de negócios, de regulação e outras para o Brasil. Buscou-se também reforçar pontos críticos da tecnologia ainda não resolvidos e em testes na Alemanha, União Europeia e Estados Unidos, como referências.

Os aspectos próprios das condições brasileiras, projetos e estudos realizados serão relatados de forma independente do modelo alemão, mas sempre a referência das tecnologias será balizadora das análises.

Finalmente, um estudo de caso será discutido, considerando as condições de aplicabilidade de eficiência e governança do uso da energia com recursos digitais discutidos.

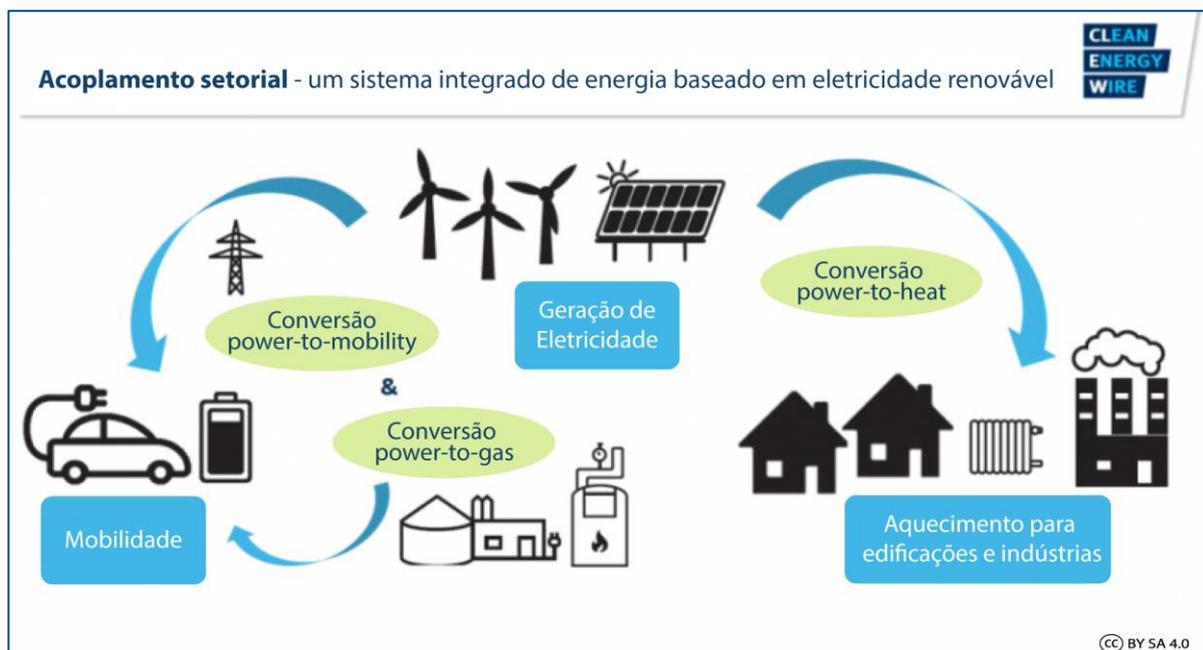


Figura 6 - Acoplamento setorial - Moldando um sistema integrado de energia renovável [10] (traduzida)

2. Tecnologias

Segundo o Estudo sobre as experiências alemãs [2], conforme a digitalização avança, um sistema altamente interconectado pode emergir, considerando que as redes de energia e seus elementos não serão mais passivos do ponto de vista de gestão/operação, mas participantes efetivamente da rede, sinalizando condições operacionais e recebendo/respondendo, comandando/sendo comandados por operadores, centrais de operação de forma automática ou manual.

Também, neste contexto, a distinção entre geradores tradicionais e consumidores pode ficar tênue, com os *prosumers* (prosumidores): pessoas físicas ou jurídicas, produtores e consumidores ao mesmo tempo, que produzem por exemplo, energia via placas solares e disponibilizam seu excesso produzido, em algum momento, na rede. Isso pode gerar oportunidades para a comercialização local da energia e novos serviços de rede. As tecnologias digitais são a base para este desenvolvimento.

Assim, medidores inteligentes, IoT e potencialmente inteligência artificial, em particular *machine learning* e *blockchain* como infraestrutura digital, devem ser considerados [13].

As tecnologias e conceitos, segundo o estudo sobre as experiências alemãs [2] são apresentadas a seguir e formam as bases da digitalização no setor de energia apresentadas pela Alemanha e UE e que serão avaliadas no mercado brasileiro no escopo deste trabalho. É, portanto, relevante a sua replicação neste relatório, como base para as análises de sua aplicabilidade e necessidades regulatórias/legais para a sua viabilidade.

Buscou-se trazer exemplos simples aplicados no setor de energia para demonstrar situações de uso conceitual da tecnologia apresentada.

2.1 Big Data, aprendizado de máquina e inteligência artificial

Uma enorme massa de dados medidos e coletados em tempo real ou em intervalos regulares curtos, provenientes da digitalização, requer o uso de tecnologias que comportem seu transporte, análise e permitam a tomada de decisão de forma rápida ou automática. Este é o cenário aplicado da ciência de dados, aplicada sobre big data e com ferramentas de inteligência artificial e aprendizado de máquina.

A inteligência artificial (AI - *Artificial Intelligence*) é um subconjunto da ciência de dados (*data science*) voltada para a construção de soluções que permitam que as máquinas simulem o comportamento humano. O aprendizado de máquina ou *machine learning*, segundo Aurélien Géron (2017), “é a ciência (e arte) de programar computadores para que eles aprendam com os dados”. Assim, o aprendizado de máquina, como um subcampo da inteligência artificial, busca fornecer às máquinas a capacidade de aprender automaticamente e melhorar com a experiência, sem ser explicitamente programadas para isso, contemplando o **aprendizado estatístico** e o fornecimento de **previsões**. Para que o software aprenda e encontre soluções por conta própria, é necessária, entretanto, uma ação humana prévia, fornecendo os dados e algoritmos relevantes para o aprendizado. Além disso, regras devem ser estabelecidas para analisar o conjunto de dados e reconhecer padrões. Uma vez que os dados adequados estejam disponíveis e as regras tenham sido definidas, a inteligência artificial pode, entre outras coisas, encontrar, extrair e resumir dados relevantes e os sistemas de aprendizado de máquina reconhecerem padrões e regularidades neles. Com base nos dados analisados, as previsões podem ser feitas e as probabilidades para a ocorrência de certos eventos podem ser formadas. Os sistemas podem ser capacitados para se adaptar de forma independente às mudanças na situação dos dados.

Grandes conjuntos de dados são necessários para treinar os algoritmos. Os dados de treinamento são absolutamente necessários para obter previsões precisas no aprendizado de máquina.

O aprendizado de máquina, segundo a forma, disponibilidade e uso dos dados (forma de treinamento dos sistemas) é distinguido entre **aprendizagem supervisionada** (*supervised learning*), **não supervisionada** (*unsupervised learning*) e **aprendizagem por reforço** (*reinforcement learning*).

Na aprendizagem supervisionada, os dados a serem analisados são preestabelecidos, buscando-se assim uma saída/resultados específicos condicionados aos dados fornecidos. Ao final do processamento, os padrões aprendidos devem ser transferidos para novos conjuntos de dados. Como exemplos, podemos citar a forma de analisar perdas não técnicas no ambiente de *smart metering* e a detecção de padrões de corrosão através da análise de imagens.

No aprendizado não supervisionado, nenhuma especificação é feita; o algoritmo pesquisa os dados em busca de padrões de forma independente e sem especificações e gera um modelo estatístico para um determinado conjunto de entradas, que descreve as entradas e atribui categorias e correlações reconhecidas. Temos como exemplo a detecção de padrões de consumo de energia e de características de prossumidores em determinadas áreas.

O aprendizado por reforço é baseado no reconhecimento das condições positivas e negativas históricas dos dados e da influência destes dados no modelo⁴. Essa interação informa ao algoritmo como reagir a diferentes situações. Esta informação é fornecida por humanos. O exemplo típico é o uso em veículos autôdirigidos, mas em energia, a aplicação de uma enormidade de sensores nas redes necessitará habilitar aplicativos autônomos de autoaprendizagem/adaptativos com suporte para gerenciamento eficiente de recursos/tarefas – por exemplo, detectado um comportamento diferenciado de uso da energia, o sensor poderá enviar uma sinalização para um centro de operação indicando a demanda de energia de um cliente ou de uma região, permitindo adequação rápida da variação de carga detectada e/ou sobrecargas.

Como o aprendizado de máquina envolve grandes quantidades de dados e deve ser processado de forma eficiente, os sistemas que utilizam técnicas de *big data* são formas preferidas para esse tipo de aprendizado: tanto dados estruturados (tabelas) como não estruturados (textos, filmes, comandos de voz, por exemplo) podem ser analisados rapidamente e, com relativamente pouco esforço de hardware, alimentar os algoritmos de aprendizagem. Técnicas de big data implicam na reorganização dos dados agrupados garantindo agilidade e facilidade no uso da informação recorrente. Estruturas de computação distribuídas e sistemas de banco de dados particularmente rápidos são necessários para o aprendizado de máquina⁵.

2.2 Blockchain

A arquitetura da *blockchain* foi introduzida originalmente com a implementação da primeira criptomoeda. Em 2008, o(s) desenvolvedor(es) da moeda Bitcoin criaram um conceito para um sistema de pagamento distribuído, autônomo, neutro e puramente digital, que permitisse que pessoas físicas realizem transações sem intermediários. *Blockchain* é a base teórica e tecnológica, combinando bancos de dados *peer-to-peer* (P2P)⁶ existentes, com tecnologia de criptografia e com os eventos da rede (volume de energia gerada, tempo de disponibilidade da energia, tempos de interrupção, etc.). A moeda digital Bitcoin foi finalmente implementada nesta base em 2009. Ela usa uma rede distribuída de computadores para processar e armazenar as transações.

No entanto, as transações em um *blockchain* podem não ser dedicadas unicamente à troca de dinheiro. Um *blockchain* permite o controle de dados de todos os tipos, como, por exemplo, dados de consumo e produção da energia por prossumidores, controle de solicitações de demanda adicional de energia por indústrias em tempo real e o desligamento setorizado e controlado de energia em uma região. Estas condições precisam de grande garantia de sua execução e controle/reconhecimento inequívoco do gerador da ação.

Para dispensar uma autoridade certificadora centralizada para toda ação, todas as transações dentro da rede *blockchain* são armazenadas de forma transparente, cronológica e inalterável em todos os dispositivos. A verificação e gravação das transações são feitas de forma distribuída nos computadores da rede. O *blockchain* atua como um certificador público distribuído que fornece a todos os participantes um histórico visível/auditável das transações. Para gerar um histórico de transações em constante crescimento, as transações são divididas em blocos, coletadas, ordenadas e criptograficamente encadeadas de forma inalterável. O resultado é uma cadeia de blocos de dados em constante crescimento.

Os computadores na rede de *blockchain* primeiro coletam as transações que devem ser confirmadas por meio do sistema *blockchain*. Essas transações são agrupadas em blocos, que por sua vez são anexados aos blocos de transações anteriores. O que parece muito simples é um processo de cálculo criptográfico altamente complexo que visa garantir a segurança, imutabilidade e transparência do *blockchain*.

⁴ A quantidade de informações recebidas e tratadas em um ambiente com sensoriamento em tempo real demanda sistemas de análise e de tomada de decisão extremamente ágeis no processamento das novas informações, que podem ser “*big data*”, segundo as suas influências no entorno. E isto somente é possível hoje com algoritmos adaptativos.

⁵ Dependendo quão necessária for uma análise de tempo real, maior será a necessidade de redes e de armazenamento/processamento da informação. Como exemplo, vamos considerar 1000 pontos gerando 100 bytes de informação por segundo. Geram aproximadamente 100 kbytes/segundo. Em um dia, terão que ser tratados/armazenados/descartados/escolhidas informações entre cerca de 8 Gbytes de dados.

⁶ Base de dados P2P: uma arquitetura de rede de computadores onde cada ponto ou nó da rede funciona tanto como cliente quanto como servidor, permitindo o compartilhamento de serviços e dados sem a necessidade de um servidor central.

Cada novo bloco em um *blockchain* contém a verificação (*checksum*) de todos os blocos anteriores calculados por um algoritmo na forma de um valor *hash* [15] (número de identificação de um bloco, que permite verificar em um curto espaço de tempo se dois blocos são idênticos. A base constitui-se de diferentes valores de entrada, como o conteúdo do bloco e o *hash* anterior). Isso garante que os blocos anteriores não possam ser alterados posteriormente, porque o valor de *hash* correspondente seria inválido. A determinação do valor de *hash* correspondente é agora tão complexa no *blockchain* Bitcoin que um único computador levaria vários anos para resolver. No entanto, como muitos computadores poderosos (ou agrupamento de computadores, os chamados pools de mineração) estão envolvidos na rede *blockchain* padrão, atualmente leva apenas alguns minutos⁷. Os chamados nós, checam (não calculam), os blocos quanto à compatibilidade do valor de *hash* com os blocos anteriores. O consenso dos nós dá continuidade à cadeia. Dependendo do tipo de *blockchain*, a manipulação dos dados exigiria o controle em uma quantidade crítica de nós de validação. Graças a esse sofisticado mecanismo de consenso, a confiança individual entre os participantes em uma transação não é mais necessária, uma vez que a maioria de todos os participantes garante a integridade do *blockchain*. Outras vantagens são, portanto: soberania de dados (existe uma única origem autêntica de um dado), desintermediação, automação de processos, redução de custos, segurança, transparência e anonimato.

Para o setor de energia, essa nova soberania de dados promete que, por exemplo, informações (dados) sobre a entrada e saída de eletricidade, gás ou aquecimento e o fluxo associado de energia nas redes podem ser rastreados de forma econômica (custo-efetividade), flexível e inviolável. Desse modo, ao atribuir propriedades como origem e tempo, a energia se torna mais tangível, ou seja, um produto diferenciável. Outra vantagem da digitalização baseada em *blockchain* é um ganho em resiliência. Isso ocorre porque, ao contrário dos bancos de dados centrais, não existe o chamado "ponto único de falha" no *blockchain*. Isso significa que as informações são amplamente protegidas contra falhas e ataques em servidores.

Consequentemente, a tecnologia de *blockchain*, enxuta e rápida, com uma quantidade limitada de validadores, é a solução ideal para a transmissão descentralizada de dados de energia. No momento, entretanto, eles são limitados em sua velocidade de processamento. Claramente os *blockchains* são a possibilidade de valor para os serviços digitais, mas devem ainda ser ampliadas as condições de escalabilidade da solução, o que é discutido por Mengelkamp e outros [16].

2.3 Internet of Things (IoT - Internet das coisas)

Agregar sensores no caminho da energia e no monitoramento do comportamento de uso é uma realidade tecnológica. Associada com as facilidades de comunicação e de processamento ágil e inteligente das informações sensorizadas, temos um universo de possibilidades e recorrentemente, de compromissos de controle e segurança.

Segundo dados do estudo sobre as experiências alemãs em digitalização [2], o conceito de internet das coisas (IoT) refere-se a objetos do mundo físico real que são equipados com sensores e perfeitamente integrados em seu ambiente. Esses objetos podem trocar os valores medidos (sensores) ou estados (atuadores) diretamente através do protocolo Internet. Ao conectar sensores individuais, medidores e máquinas à Internet, esses dados podem ser coletados de forma centralizada ou descentralizada e disponibilizados para procedimentos de análise. Estima-se que a cada segundo 127 novos dispositivos sejam conectados à Internet e que um total de três trilhões de dispositivos estarão online em 2030 [17]. Isso significa que a IoT também cobrirá o mundo da energia implicando que a economia em tempo real de energia no futuro poderá exigir uma frequência alta de interações entre potencialmente milhões ou bilhões de dispositivos.

Objetos do cotidiano já estão conectados a redes para fornecer uma variedade de serviços ou aplicações em áreas como carros, automação residencial e redes inteligentes. A IoT abrange a conexão máquina a máquina M2M (*machine-to-machine connection*), onde os dispositivos interagem e compartilham dados sem o envolvimento direto de pessoas, e "coisas" são conectadas a redes para permitir que pessoas controlem remotamente processos ou gerenciem seus dispositivos. Por exemplo, sensores com inteligência para o desligamento de ar-condicionados e iluminação, segundo o reconhecimento da falta de circulação de pessoas no local, numa função de melhoria da eficiência de forma inteligente.

⁷ Pesquisas vem sendo realizadas no mundo, buscando reduzir o custo e ampliar as aplicações com *blockchain*, que se apresentam ainda de forma onerosas em processamento e, portanto, em tempo. Como exemplo, tem-se o trabalho publicado pela FAPESP, disponível em https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/04/072-075_Blockchain_278.pdf

2.4 Medidores inteligentes

Um medidor inteligente no sentido mais estrito é um medidor de eletricidade que recebe e envia dados digitais e é integrado a uma rede de comunicação para esse fim. Os dados recebidos são, por exemplo alterações tarifárias, períodos de tarifação diferenciada a serem caracterizados de forma diferenciada, variação de períodos de medição, para, por exemplo, detectar possíveis condições de uso ou demanda considerados inadequados, outros parâmetros que comporão o envio dos dados para análise posterior. Os dados transmitidos são, além da energia elétrica consumida, potência máxima demandada em um período estabelecido nos parâmetros recebidos, energia reativa, e períodos sem medição, por exemplo.

O uso do termo medidor inteligente não é uniforme. Em princípio, um simples medidor digital pode ser chamado de dispositivo de medição moderno. Os medidores digitais que também estão conectados a uma rede podem ser chamados de sistemas de medição inteligentes ou medidores inteligentes!

Um medidor inteligente terá para se comunicar, um dispositivo de medição e um módulo de comunicação, que podem estar localizados no mesmo dispositivo. Além de memória para armazenamento de informação, entre períodos de transmissão da informação os medidores inteligentes, normalmente também tem uma funcionalidade de *gateway* (a interface entre o consumidor e a empresa de fornecimento de energia)⁸. A segurança e controle da comunicação via este *gateway* é fundamental para a garantia da integridade e privacidade dos dados trocados. O conceito lógico de *gateway*, entretanto, como interface estruturada pode estar incorporada na estrutura físico-lógica de comunicação do medidor e não estar explicitamente separado no conjunto da medição.

O uso de VPN (*Virtual Private Network*) para se estabelecer a comunicação tem sido uma forma utilizada para se garantir um caminho seguro de comunicação, além de criptografia nos dados transmitidos/recebidos e estruturas em *blockchain* para a alteração de parâmetros do medidor. Na versão mínima, o dispositivo de medição pode fornecer a corrente e o consumo das últimas 24 horas, semana, mês, ano. Não existem restrições quanto à granularidade (tempo entre medições) e funções de medição. Os dados de consumo (mas também os dados de entrada) podem ser transmitidos via módulo de comunicação ou *gateway*. A partir de aplicativos ou sistemas das empresas de energia (ou responsáveis pela comunicação), será então possível apresentar esses dados por residência, transmiti-los ao fornecedor de energia para fins de faturamento ou disponibilizá-los a um terceiro para serviços de valor agregado que muitas vezes ainda estão por definir.

Várias tecnologias são possíveis como base para a transmissão de informações. Devido à disponibilidade em residências, a Internet via conexão com o modem local é uma opção óbvia. Mas também transmissão pela própria rede de energia (PLC –*Power Line Communication*) ou serviços de rádio de dados móveis como LTE (*Long-term Evolution* - uma evolução da tecnologia de rádio), bem como a sua combinação (PLC na área local, agrupamento das ligações *Power Line* através de um concentrador de dados, transmissão de dados de rádio móvel em área de longa distância) é possível, razoável.

No Brasil foram testadas diversas tecnologias de comunicação com medidores nos testes pilotos de avaliação tecnológica de redes elétricas inteligentes realizados pelas concessionárias de distribuição com fundos de P&D regulados pela ANEEL. Foram avaliados sistemas de redes de comunicação como, rádio frequências licenciadas ou permitidas pela ANATEL, comunicação via distribuição de sinais em formato *mesh*, WIFI, canais dedicados de radiofrequências e uma mescla de tudo, isto, incluindo o uso da rede de telecomunicações formais com sinais 3G e 4G (as tecnologias de 5G não estavam disponíveis no momento dos testes piloto e, portanto, não foram formalmente utilizadas).

Alguns destes testes serão apresentados neste documento, porém não devem ser reconhecidos como experiências que possam direcionar o planejamento da gestão e dos tratamentos dos dados. Também tem limitações nas análises e abrangência do uso de telecomunicação e definição de soluções de conectividade para os elementos das redes de energia. Estes testes, ao que se sabe, não geraram estratégias de estabelecimento de interfaces para a infraestrutura, modelos de negócio ou de gestão para as distribuidoras no espaço de digitalização de suas redes.

A proteção, privacidade e integridade dos dados representam temas importantes na implantação de medidores inteligentes, pois o registro detalhado dos dados de consumo de energia da unidade consumidora pode permitir que sejam tiradas conclusões sobre a rotina de vida dos consumidores. Por exemplo, considerando o conhecimento do uso de chuveiros elétricos no Brasil, uma análise de valores de demanda de energia, pela potência máxima requerida em uma residência, obtida de leituras a 15 minutos, ou menos, armazenadas em medidores inteligentes, pode-se inferir horários de banhos de uma família e detectar, por exemplo, períodos de ausência ou de férias de seus membros, o que leva a questões de privacidade e segurança individual. Estas informações poderiam ser usadas de forma inadequada se tornadas públicas (de forma lícita ou ilícita).

⁸ Aqui vale observar que a informação de consumo de energia no Brasil é de propriedade da empresa de distribuição, responsável e utilizado para tarifação. Em uma rede inteligente, as informações de leitura podem ser encaminhadas para um órgão ou empresa responsável por esta tarefa (com controle da privacidade, já mencionada), que repassaria à empresa de distribuição as condições para a sua tarifação.



3. Coleta de dados

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), as concessionárias de distribuição de energia brasileiras devem compartilhar os dados compilados do montante da carga de energia elétrica com a agência reguladora, ANEEL. A Agência trata disso no Submódulo 10.6 do PRORET (Procedimentos de Regulação Tarifária) intitulado “Informações Periódicas da Distribuição” [18].

Esta regulação, estabelece que “as informações sejam encaminhadas de forma periódica, assim consideradas com periodicidade mensal, e serão utilizadas para subsidiar as atividades de regulação, possibilitando maior eficácia e segurança na atualização, captação, análise, divulgação, administração e controle”. Não existe, entretanto, uma homogeneidade quanto a qualidade dos dados. Algumas distribuidoras já têm quase todos os índices e valores medidos digitalmente e disponíveis *online*. Não sendo, entretanto, uma obrigação regulatória esta forma de medição e externalização.

A agência recebe somente os dados pré-compilados, agregados da carga de energia, não tendo acesso a dados com maior granularidade, por exemplo, que demonstrem a carga ou consumo nos níveis de cidades, bairros ou

alimentadores, considerando as topologias geográficas ou do caminho elétrico (da rede de energia implantada), ou em períodos de tempo específicos. Com novas opções de tecnologia tem-se atualmente em muitos países a oportunidade de um olhar mais de perto nas redes e nas condições de carga e demanda. Através do trabalho realizado na Alemanha [2] e na comunidade europeia nos últimos anos um *rol* de possibilidades pode ser caracterizado e faremos algumas avaliações deles neste documento. Ressalta-se que a disponibilidade de dados pode gerar novos modelos de negócios e novas estruturas de mercado, que por sua vez demandam, assim, a formulação de novas políticas e regras que fomentem o florescimento de uma robusta economia de dados e assegurem direitos, a defesa do consumidor e a privacidade.

3.1 Como obter os dados

As técnicas atuais do que chamamos de ciência de dados, que envolvem a mineração de dados (*data mining*), combinam ferramentas analíticas com técnicas estatísticas e inteligência artificial (como aprendizado de máquina) e o gerenciamento de banco de dados, conforme Figura 7. Com técnicas de processamento (por hardware e software) os dados brutos coletados da infraestrutura e os dados históricos são reestruturados em informações úteis - os chamados *smart data*. Estas técnicas permitem, desde a descrição analítica, diagnóstico, análise preditiva até a análise prescritiva (aplicada para identificar os eventos, dados os parâmetros do sistema, e desenhar estratégias para lidar de forma mais adequada com eventos semelhantes no futuro). Isso permite tornar visíveis condições escondidas, como por exemplo, falhas intermitentes ou interrupções de fornecimento, que seriam potencialmente ocultas numa análise sistêmica, mas que podem ajudar, entre outros dados, nas decisões sobre a gestão eficiente da energia e na manutenção das redes. Dados de consumo/demanda de energia em edifícios, como um outro exemplo, podem ser usados para otimizar as previsões de demanda de energia, considerando a sazonalidade histórica, para otimizar o reconhecimento das necessidades regionais de energia, de forma pontual [19].

Devido ao grande volume de dados coletados, a estruturação da informação coletada precisa ser organizada utilizando técnicas de *big data*, que permitem melhor desempenho no tratamento analítico e mineração da informação [19]. A Tabela 1 traz um registro de possibilidades aplicadas em redes elétricas inteligentes

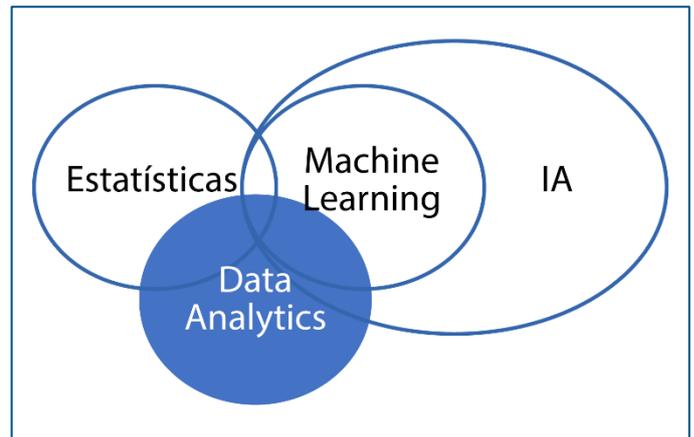


Figura 7 – Diagrama de Venn, demonstrando a interconexão dentre sistemas analíticos, estatística, aprendizado de máquina e inteligência artificial [19] (traduzida)

com *big data*, considerando os grandes desafios do tratamento de dados, seu volume, a velocidade de processamento, a variedade de fontes, a veracidade (ou qualidade da informação processada) e o real valor da informação para a análise. Os resultados da análise de *big data* podem ser usados para prever e entender o comportamento do consumidor final, para melhorar a resiliência e as falhas da rede, para melhorar a segurança e o monitoramento, para melhorar o desempenho e otimizar os recursos disponíveis e, para o planejamento. Culturalmente, verificam-se trabalhos ainda incipientes no tratamento e associação de dados (uso de *data science* e *big data*) entre as concessionárias de distribuição de energia brasileiras.

Tabela 1 – Conformidade de Rede Elétrica Inteligente com o modelo de 5Vs para Big Data [19]

Característica	Modelo 5Vs	Rede Elétrica Inteligente
Volume	Número de registros e necessidade de armazenamento	Alto volume de dados vindo dos medidores inteligentes e da tecnologia avançada de sensores
Velocidade	Frequência da geração, transferência e coleta dos dados	Se os dados do medidor inteligente forem coletados a cada 15 minutos, 1 milhão de dispositivos resultará em cerca de 35,04 bilhões de entradas de dados ou 2.920 Tb por ano. A frequência de coleta dos dados é, portanto, crucial para o monitoramento e análise em tempo real (quanto maior a frequência de coleta maior terá que ser a capacidade de todo o sistema para processar e armazenar dados).
Variedade	Diversidade de origens, formato e campos multidimensionais	Existência de dados estruturados (por exemplo, dados relacionais), semiestruturados (por exemplo, dados de serviço da web) e dados não estruturados (por exemplo, dados de vídeo)
Veracidade	Confiabilidade e qualidade dos dados	Dados confiáveis são cruciais para garantir a operação segura do sistema e sua estabilidade
Valor	Extração de benefícios e ideias úteis	Aplicativos podem derivar valor dos dados coletados, por exemplo, fazendo a previsão da geração e da demanda de energia dos consumidores

A tecnologia de sensores traz transparência e segurança ao monitoramento da rede. Os sensores na rede podem detectar a situação atual da rede, caracterizando a situação de carga e alimentação na rede. As informações obtidas podem ser usadas para avaliar a utilização e estabilidade dos segmentos da rede de distribuição. Isso não é possível em redes convencionais até agora. A quantidade de sensores necessária para esta análise dependerá das características de cada rede específica. Um sistema de sensores suficiente, do ponto de vista do gerenciamento da rede, pode se concentrar em segmentos ou nós de rede críticos, onde as condições de rede possam ser observadas mais intensamente. Para ser capaz de fazer previsões de carga em cada nó, para diferentes períodos de tempo, Morello *et al.* [20] e Frões Lima & Navas [21] afirmam ser fundamentais a qualidade e a quantidade dos dados.

Para monitorar a situação na rede, alguns sensores são mencionados no estudo sobre as experiências alemãs [2], como possibilidades ou efetivamente testados: estações locais de rede, unidade de medição fasorial (PMU - *phasor measurement unit*) para medição de tensão, ângulo de fase, frequência e mudanças de frequência na rede, por exemplo na rede de 110 kV com conexão ICT (GSM), bem como medidores digitais de eletricidade para registro de perfis de carga (consumo). As PMU podem fornecer uma visão precisa do status anterior da rede de distribuição. Com o uso de um sinal GPS para transmissão dos dados, são feitas medições sincronizadas no tempo⁹, e de alta precisão da rede (frequência, tensão e corrente: f , U , I), que registram o status da rede em alguns milissegundos e o transmitem a cada minuto. A segurança do fornecimento de energia é aumentada, uma vez que as medidas podem ser tomadas em tempo real e em caso de riscos de rede.

No âmbito destes projetos de investigação na Alemanha [2], os custos da infraestrutura inteligente foram suportados pelos parceiros do projeto e pela agência de financiamento. Os projetos demonstraram a viabilidade técnica destes equipamentos, mas ainda não se tem uma implementação economicamente viável [2]. Medidores inteligentes e *gateways* de medidores inteligentes tornam os sistemas de gerenciamento de energia inteligentes também acessíveis para residências, com softwares de gerenciamento de energia acessíveis, com informações úteis aos consumidores finais, para que conheçam seu desempenho e eficiência no uso da energia. Os medidores inteligentes serão analisados com destaque neste documento, bem como características de gerenciamento da energia pelas residências.

Com dados e algoritmos de medidores inteligentes, inteligência artificial e, se necessário, sensores adicionais posicionados em locais específicos na rede de distribuição, os valores de medição podem ser gerados, permitindo uma visão geral exata do estado na rede de baixa e média tensão. Isto cada vez se faz mais necessário, com a geração descentralizada e um grande número de prossumidores na rede. A energia introduzida pode ser melhor integralizada de maneira mais eficiente e a carga necessária para o abastecimento/demanda, melhor controlada, bem como a expansão da rede: a setorização da análise e das condições da rede podem permitir controles da geração/abastecimento em trechos de rede.

Os dados do medidor inteligente são, portanto, adequados para revelar de forma abrangente a situação da carga na rede. No entanto, a situação de uso desta informação (privacidade e segurança) é uma questão também a ser caracterizada. Por exemplo, a disponibilidade na forma de dados obtidos de forma quase contínua (leitura feita de forma contínua e não discreta (x leituras por hora, por exemplo), não é clara por motivos de proteção e volume de dados gerados. A qualidade e disponibilidade dos dados também deve ser caracterizada e garantida (devem ser garantidos controle de erros nas redes de comunicação e nos sensores). A capacidade suficiente de processamento dos dados também deve ser garantida. Além disso, o anonimato do uso dos dados obtidos não está claro, bem como o uso destes dados para inferir ou associar condições socioeconômicas, como tamanho da família, idade dos habitantes e metro quadrado da residência, tudo possível dentro da estrutura de análises de *big data*.

Portanto, pode ser apropriado para os operadores de rede não fazer uso extensivo de dados de consumo, mas somente utilizá-los para a operação da rede, controle de falhas e de possíveis fraudes. O que é importante são alguns pontos de medição corretamente definidos na rede, que monitorem de forma confiável os parâmetros relevantes da rede (tensão, corrente, direção do fluxo, frequência). Os dados do medidor inteligente podem ser usados para refinamento destas medições, em seções críticas da rede. O item de privacidade e uso da informação, neste documento, abordará esta questão de forma mais intensa.

⁹ Notar a condição de sincronicidade necessárias entre os elementos de rede quanto ao tempo que as medidas são executadas, para garantir o reconhecimento do evento e suas condições nos elementos adjacentes e na rede de energia. Isto exige uma base de relógio, como aquela utilizada nos elementos das redes de telecomunicações para garantia da transmissão de dados, conhecimento existente atualmente, somente não empregado normalmente nas redes de energia.

3.2 Comunicação e transferência de dados coletados

As operadoras de telecomunicações no Brasil (como empresas de comunicação ICT - *Information and Communication Technology*) podem desempenhar um papel central na implementação de uma rede inteligente. Podem criar sinergia no processo de comunicação dos dados, potencializando as condições da obtenção e garantia dos dados trocados/coletados pelos elementos das redes de energia, serviço inerente de seu negócio, de forma eficaz, e trazendo garantias, controles e conhecimentos que não fazem parte do negócio e da operação das distribuidoras de energia. Vale ressaltar os esforços do *Electric Power Research Institute* - EUA (EPRI) [22], com projetos de pesquisa direcionados ao reconhecimento das condições de ICT para a comunicação na digitalização das distribuidoras de energia americanas.

As empresas de energia estão implantando tecnologias de comunicação, computação e informação para permitir a digitalização e modernização de suas redes buscando monitoramento e controle de forma ampla, gerenciamento de ativos, automação da distribuição, e integração dos recursos energéticos distribuídos (DER - *Distributed Energy Resources*), além de resposta à demanda. As empresas de energia enfrentam desafios significativos ao implantar essas tecnologias, incluindo [22]:

- A possibilidade de utilizar redes e tecnologias de telecomunicações em parceria com as empresas de comunicação (ICT);
- A seleção das tecnologias que melhor atendem às necessidades de negócios atuais e futuras, minimizando o risco de obsolescência precoce e dependência do fornecedor;
- A criação de uma arquitetura geral que permita a integração dos diversos dispositivos inteligentes, redes de comunicações e sistemas corporativos para alavancar recursos e fornecer informações a todos os usuários;
- A coleta, armazenamento e gerenciamento da enorme quantidade de dados gerados;
- A criação de redes e tecnologias de comunicação abrangentes, confiáveis e resilientes que possam permitir múltiplas aplicações.

Segundo o EPRI (Electric Power Research Institute) [22] estes desafios direcionam pesquisas nas seguintes áreas, pelo menos:

- Interoperabilidade e integração;
- Telecomunicações: buscam-se ferramentas e técnicas para planejar e projetar redes de comunicação com eficácia e avaliar o desempenho de tecnologias em evolução e emergentes;
- Arquitetura corporativa e de rede;
- Medição Avançada: buscam-se guias de boas práticas para a operação e manutenção de sistemas de infraestrutura de medição avançada (AMI);
- Informática geoespacial: temos os desafios de gerenciamento de dados e forneçam novos serviços de geodados para aplicativos avançados de planejamento e operações;
- Tecnologia da Informação e Comunicação para DER: estudos devem ser feitos em aplicativos DER para resposta à demanda, armazenamento de energia, veículos elétricos e geração distribuída.

No que diz respeito à transmissão de dados de sensores distribuídos na rede, o PLC (*Power Line Communication* - troca de informações através da linha de energia existente) é uma opção possível para as empresas de energia, uma vez que qualquer outra comunicação (GSM, VPN) acarreta custos adicionais, na relação de serviços com a operadora de serviços de telecomunicações. Por outro lado, a gestão da comunicação é uma parte do negócio por desenvolver nas empresas de energia, e que é reconhecidamente diferente do modelo de operação nas empresas de energia brasileiras. Abordaremos este tema com mais detalhe ainda neste documento.

Baseado na disponibilidade das conexões de dados existentes nas residências, baseada no uso da internet, cada vez mais presente, alguns projetos na Alemanha e na UE utilizam esta facilidade para a transmissão de dados dos/para *smart meters*. Os medidores digitais de eletricidade são adequados para aquisição de dados e, dependendo da situação legal, para transmissão de dados. Em alguns países, como na Alemanha, um módulo de comunicação segura, o chamado *Smart Meter Gateway*, é necessário para a transmissão de dados. O uso de comunicação baseada em IP¹⁰, entretanto, traz novos perigos no que diz respeito à segurança dos sistemas. Por este motivo, é dada especial importância à questão da segurança no que diz respeito aos serviços de comunicação.

¹⁰ Protocolo de Internet: um protocolo de comunicação usado entre todas as máquinas em rede internet para encaminhar dados.

Uma lei de operações de pontos de medição regula o mercado de operação de pontos de medição, especifica o equipamento técnico e introduz a nova função do administrador de *gateway* de medidor inteligente que é responsável pelos processos [2].

A transmissão de dados no âmbito do faturamento (considerando tarifas horárias, medições, parâmetros) é efetuada através do tipo de mensagem EDIFACT (*Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport*). EDIFACT é um padrão internacional intersetorial para o formato de dados eletrônicos em transações comerciais. É um formato de dados e não um protocolo de transmissão. Na Alemanha, a Associação Federal para a Gestão de Energia e Água (BDEW - *Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*), juntamente com outras associações e a Agência Nacional de Redes (BNetzA - *Bundesnetzagentur*) determinam o seu uso no processo, no formato geral MCONS (*Metered Services Consumption*). MCONS é um formato de mensagem elétrica para transmissão padronizada de dados de perfil de carga e dados de medidor, que se baseia no padrão EDIFACT. As empresas de distribuição de energia e gás na Alemanha são direcionadas para o uso deste padrão [23]. A Comunidade Europeia também direciona esforços na padronização desta comunicação, como em EDI-NET [24] e CROS [25].

O uso de *blockchain* para a troca de dados com medidores também está em estudo. Dentro do projeto SMECS -*Smart Energy Communities* [26], tal troca com uma granularidade de 15 minutos foi tecnicamente implementada e armazenada descentralizadamente no *blockchain*. Buscam-se formas para certificar a comercialização de eletricidade de forma inter-regional, regional e com a participação e negociação da energia gerada de forma descentralizada [27], pensando em como os novos prosumidores irão participar ativamente deste mercado. No Brasil, esta comercialização/compartilhamento da energia gerada é restrita, regulada pela ANEEL [28] e prevê a compensação de energia gerada em excesso de forma restrita e limitada, compatível com as estruturas de concessão de comercialização adotadas no país. As informações de energia gerada são ainda restritas ao cliente (internas ao medidor, geridas somente pelo prosumidor e seu fornecedor de tecnologia de geração) e as concessionárias realizam somente a leitura consolidada fornecida pelos medidores homologados, que não integrados em uma rede de gestão ou leitura remota (neste momento do negócio, não fazem parte de uma rede inteligente de gestão da informação).

3.3 Processamento e qualidade dos dados

Para realizar previsões (preços de eletricidade, balanço da energia), são utilizados modelos de séries temporais (auto-regressiva) e fatores externos são frequentemente agregados. Isso vale tanto para regressões quanto para redes neurais artificiais e muitas outras. Uma base de dados de tamanho adequado (normalmente *big data*), abrangente e atualizada é, portanto, indispensável para a previsão [29]. Quanto maior granularidade for possível agregar aos dados na base, melhores serão os resultados e mais adequados à explicação das condições de energia a serem previstas.

Um dos problemas mais comuns na aquisição de dados de consumo de energia é que muitas vezes apenas dados agregados e pré-compilados (por exemplo, em relatórios anuais) estão disponíveis para estudos acadêmicos e setoriais, não sendo possível caracterizar o processamento diretamente nos chamados dados primários, por exemplo de consumidores ou conjunto de consumidores de uma determinada região (geodados) ou com um determinado perfil de consumo (segmentação). Esta é uma questão complexa, também relacionada com a privacidade e segurança dos dados, mas relativizada no Brasil pela regulação da concessão para os serviços de distribuição de energia e pela capacidade/processamento de informações pela agência reguladora. Explica-se que quanto mais informações puderem ser evidenciadas e tratadas, melhor pode ser a capacidade de ações estratégicas específicas. Por exemplo, sabendo-se dados específicos de eventos de rede em uma determinada região, o regulador poderia exigir ações pontuais para melhorias da rede. Com informações gerais, existe a diluição da criticidade regional, que é vista no contexto de qualidade funcional adequado.

As empresas de energia no Brasil, no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento regulado pela ANEEL já executaram/executam análises regionalizadas segundo suas áreas de concessão para caracterizar o seu balanço energético, por exemplo (o cálculo da quantidade de energia contratada x o consumo registrado) [30]. Com rede elétrica inteligente, o volume de dados a ser processado pode ser multiplicado imensamente, dependente dos períodos entre leituras, o que exigirá a aplicação de técnicas de *machine learning* e IA distribuídos para que este processamento possa ser executado de forma adequada. O compartilhamento destas análises e a sua aplicabilidade no processo energético, todavia, vem sendo reconhecido pelas empresas de energia brasileiras, para previsibilidade e a acurácia operacional.

Assim, situações de previsibilidade de energia partindo de datas de faturamento diferentes para os clientes, com datas e processos de obtenção das leituras dos medidores ainda de forma manual, trazem implicações estatísticas associadas ao fechamento do balanço energético local para as distribuidoras. Isto implica em erros estatísticos no balanço mensal, e claro, podendo gerar implicações financeiras. As questões de fraudes¹¹ no consumo de energia também estão neste arcabouço e refletem a necessidade de abordagens estatísticas, preditivas e diferenciadas para a avaliação da energia consumida versus faturada e realizada no fechamento do balanço mensal das distribuidoras.

Repensar, em tempo real, as condições de coleta, qualificação e uso dos dados, é um processo com características que englobam as técnicas de data streaming¹² com *big data*, e claro de *machine learning*. O quanto destas informações coletadas pode ou deve se tornar pública ou ser absorvida pela agência reguladora é uma questão a ser avaliada e o seu uso estabelecido criteriosamente.

A análise de dados, como sistemas de gerenciamento de energia, requer uma grande quantidade de dados externos. Isso inclui, como exemplos, os preços de eletricidade atuais, históricos e previstos, produção eólica e fotovoltaica e dados meteorológicos. Além disso, uma infinidade de outros dados podem ser relevantes, que à primeira vista não têm nada a ver com o consumo de energia. Por exemplo, a frequência e o número de passageiros ou funcionários que em um edifício, pode caracterizar o consumo de energia para o controle de acessos, o controle da temperatura e iluminação em determinados locais. Os conjuntos de dados obtidos geralmente diferem no tipo de conexão (servidor FTP, navegador da web com login do usuário, API REST), bem como no formato do arquivo (CSV, HTML, xlsx), para citar apenas alguns exemplos. Se tivermos um único servidor origem dos dados, esta operação de análise fica muito complexa. O uso de nuvem (*cloud*) para o processamento, que pode incorporar toda uma rede de servidores distribuídos e compartilhando dados e dividindo atividades de análise, é uma realidade atualmente. Esta tecnologia também está sujeita as questões de privacidade e segurança, que serão discutidas.

De modo geral, a qualidade dos dados está provando ser um critério decisivo. O valor agregado só pode ser alcançado com qualidade de dados suficiente. Os processos analíticos e a ciência de dados estão baseados nestas condições. Assim, tratamentos prévios sobre os dados recebidos devem ser feitos, como por exemplo, avaliar previamente os medidores ativos que enviam dados, alertar a falta deles para uma situação de manutenção, avaliar e consolidar os dados recebidos para se garantir a integridade das previsões (detectar e retirar dados repetidos, pois podem ser recebidos, e verificar ausências de medidas, por exemplo, em determinados períodos de tempo, que podem ser inferidas a partir das medidas anteriores e posteriores, etc.). É importante que valores medidos errados sejam extraídos e os conjuntos de dados restantes sejam convertidos em um formato uniforme (consistência, qualidade e homogeneidade). As condições dos dados recebidos e o tratamento adequado será a base para quaisquer modelagens que se pretenda realizar. Vale ressaltar que para a análise (base conceitual das condições de *Data Science*), devem ser garantidas a integridade (e completude dos dados), a verificação e retirada de *outliers*¹³ (em alguns casos especiais, este *outliers* podem ser a razão investigativa sobre os dados!).

Só faltam ser definidas as principais questões sobre a granularidade de dados obtida. São apresentados diversos projetos da Alemanha em [2] que tiveram este cuidado no tratamento da informação coletada como base para avaliações consistentes.

Vale ressaltar que também uma busca pela representação padronizada [31] da informação de energia coletada por medidores inteligentes e sensores será a base para a um processamento multisetorial e a aplicação de modelagens compartilhadas/predefinidas¹⁴.

Trabalhar com grandes quantidades de dados, portanto, requer algoritmos robustos e automatizados que podem contribuir para verificações de plausibilidade das medições, com tempo de processamento razoável. Outro problema de qualidade dos dados é a assincronia entre os relógios internos dos medidores e elementos da rede de energia, questão já mencionada.

¹¹ Com medições sistemáticas da energia em diversos pontos da rede de distribuição, pode-se detectar o vazamento de energia e possíveis manipulações no local de consumo.

¹² Coleta e uso de dados coletados em tempo real para o processamento de análises, previsões e alertas de sistemas.

¹³ Outlier (valor atípico) é um conceito estatístico. É um valor que foge da normalidade e que pode (e provavelmente irá) causar anomalias nos resultados de análises de dados coletados.

¹⁴ O projeto SmartRegio [32], por exemplo, visa a criação de um mercado de três níveis para (big) dados geotemporais, serviços de processamento e aplicativos *on-top-software*. SmartRegio deve permitir que as PMEs analisem seu ambiente local e clientes, para detectar tendências locais e considerá-las em sua estratégia de marketing, produto e serviço. SmartRegio é financiado pelo Ministério Federal Alemão para Assuntos Econômicos e Energia (*Federal Ministry of Economic Affairs and Energy* (BMW)).

Este é um problema típico e reconhecido em telecomunicações, quando os elementos precisam ser gerenciados e medidas interdependentes destes elementos devem garantir que tenham sido realizadas no mesmo *timestamp*¹⁵ e com a mesma duração do *slot* de tempo. Isto evitará “escorregamentos” ou defasagens nos dados coletados e informados nas medidas e conseqüentemente, evitará erros nas análises. Existem em telecomunicações diversas formas de sincronismos implementadas, buscando de forma regionalizada e com um relógio de referência de alta precisão, condições estabelecidas para garantir a qualidade da informação trocada. E este é ainda um tópico objeto de estudos para as redes de energia, considerando o parque instalado, a forma de comunicação utilizada e os critérios técnicos/sistemas existentes nos medidores e *gateways* de comunicação nos medidores na Alemanha e UE [2].

3.4 Outros critérios de qualidade (comunicação, intervalo entre coleta de dados e conteúdo dos dados coletados)

Os componentes inovadores de ICT irão acelerar a troca de informações, automação e integração dentro dos sistemas de energia, como parte integrante do sistema energético. A experiência mostra que os ciclos de desenvolvimento e de investimento em sistemas de comunicação serão mais e mais curtos, considerando as inovações e IoT. E isto implica em modelos de sistemas (de energia e de comunicação) e a comunicação que devam ser evolutivos e serem independentes de fabricantes (pensando na obsolescência tecnológica e na manutenção de serviços).

A comunicação entre os elementos da rede de energia, neste viés, pode ser considerada como um insumo. O contexto do negócio das operadoras de telecomunicações e uma parceria para o provimento da conectividade pode ser uma solução para a obsolescência nos investimentos e gestão da comunicação. A questão de planejamento e caracterização de uma operação conjunta, entre o setor de energia e o setor de telecomunicações, é uma questão bastante interessante e exercitada em diversos contextos mundiais, bem como, por outro prisma, a oportunidade da distribuidora de energia se tornar também uma provedora de comunicação!

Para reconhecer o balanço entre geração e consumo de energia dentro da rede ou em um período de análise, a granularidade de intervalos de 15 minutos na coleta de dados é atualmente suficiente na Europa. Isso significa que a gestão inteligente da energia nas plantas envia dados a um centro de controle ou data center do responsável pelo balanceamento de carga com uma frequência a cada quarto de hora¹⁶. Nos centros de controle, centralizados ou não, esses dados são processados para o planejamento de recursos (análise de demanda, por exemplo), combinados com várias previsões e servem como base para o desenho do despacho horário, por exemplo. A frequência de 15 minutos não é escolhida arbitrariamente, mas se tornou um parâmetro fixo na comercialização de energia.

Por exemplo, na bolsa de eletricidade intradiária Epex Spot¹⁷, a energia é comercializada em contratos de 15 minutos. O que chamamos de intervalo constitui a unidade utilizada na celebração de contratos para a prestação de serviços de reserva (reserva de minutos, controle de energia secundário - *secondary control power*) no controle do mercado de energia. Para a flexibilização do mercado, dependendo da penetração e da reserva de energia disponível, pode ser interessante aumentar a frequência de dados (com intervalos entre leituras menores) e garantir mais conteúdo nas informações das medições.

Como exemplo de aplicação, no âmbito da otimização de uma microrrede com geração local de energia, armazenamento e gestão da demanda, foi possível aumentar a autossuficiência aumentando a granularidade dos dados. No entanto, o aumento exponencial do poder de computação só poderia ser justificado até os valores medidos de um quarto de hora em uma simulação, realizada no conjunto de projetos financiados pelo Ministério Federal da Economia e Energia da Alemanha (BMW - *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*) no contexto de apoio à pesquisa e inovação no tema Digitalização da transição energética [33].

No Brasil, alguns testes feitos com medidores inteligentes, em uma região controlada, dentro do projeto piloto da CEMIG em Rede Elétrica Inteligente, parte financiada pelo Banco Mundial, permitiram, com dados de leitura de 1 em 1 minuto, agregando-se informações como potência máxima requerida por medidor por minuto, reconhecer a demanda de energia de clientes, primeiro passo para se estabelecer controles mais adequados para a caracterização da qualidade da energia entregue, controle de carga e

¹⁵ O *timestamp* é a questão mais delicada da análise da informação coletada: a garantia que todas foram obtidas no mesmo slot de tempo. Assim, existe a necessidade, como nos sistemas de dados, que seja garantida a sincronicidade precisa entre os relógios dos elementos que se comunicam na rede de energia e geram dados para serem analisados.

¹⁶ O tempo entre medições e o balanço de energia é dependente das condições locais, regionais, da distribuição e dependente de diversas condições como a quantidade de GD, e a forma de comercialização da energia gerada. Algumas diretrizes mínimas podem ser reguladas, mas a dinâmica operacional da distribuidora deve ser preservada quanto a poder ajustar a granularidade e tempos entre medições.

¹⁷ A *European Power Exchange* EPEX SPOT SE e suas afiliadas operam mercados físicos de eletricidade de curto prazo na Europa Central Ocidental e no Reino Unido. Como parte do EEX Group, um grupo de empresas que atendem aos mercados internacionais de commodities, a EPEX SPOT está comprometida com a criação de um mercado de energia pan-europeu.

sobrecarga em transformadores, planejamento evolutivo de trecho de rede e do balanço energético regional. Embora a medição, neste caso, fosse feita de minuto em minuto, o envio dos dados foi agregado e transmitido a cada 60 minutos, garantindo melhor desempenho nas redes de comunicação.

Como explicitado no exemplo brasileiro, o conjunto de informações fornecidas por um medidor inteligente pode variar (resolução) e o intervalo entre medições pode ser um valor ajustável (parametrizável ou ajustável em operação, por comando). Isto permitirá, análises e aplicações específicas dentro da rede de energia. Permite ainda previsões mais precisas ou ações específicas regionais, como caracterização de condições de uso social inadequado de energia (fraudes no Brasil), bem como a avaliação refinada da qualidade da energia entregue e da obsolescência/degradação de trechos de rede que precisam receber manutenção, além da caracterização de energia reativa, de sobrecarga de trechos de rede segundo a sazonalidade, e controles de energia intermitente inserida em trechos de rede por prossumidores.

O valor agregado de dados em alta resolução (mais informações com intervalos menores entre medidas) para medição de consumo e geração descentralizadas pode permitir muitas ações de controle da inserção de energia em trechos de rede, melhorando o desempenho energético geral da distribuidora. Esta análise foi feita no projeto DESIGNETZ [34], que buscou descrever a estrutura necessária para a transição energética e desenvolver soluções novas e inovadoras. No projeto, os planos para a rede elétrica descentralizada do futuro estão sendo desenvolvidos através da integração de energias renováveis no sistema de energia e, ao mesmo tempo, reduzindo a expansão da rede de distribuição ao mínimo. Isto exige o controle preciso da energia gerada e da demanda, com refinamento de controles entre amostragens e conteúdo da informação suficiente para a análise, proveniente dos medidores dos consumidores/prossumidores. Para atingir esse objetivo, muitas soluções individuais descentralizadas devem ser combinadas em um sistema geral. DESIGNETZ integra cerca de 30 projetos de energia inovadores em uma rede de energia inteligente [34].

3.5 Aplicações de dados na rede inteligente

Considerando que as redes de média e baixa tensão não foram projetadas no passado para receberem microgerações de forma descentralizada, um número crescente de redes pode estar sujeito a violação dos limites das condições técnicas, por exemplo, quanto ao aquecimento, corrente e tensão suportáveis. Isso leva a uma possível necessidade de expansão da rede convencional, e foi demonstrado em vários estudos, promovidos pela Agência Alemã de Energia (GmbH (DENA) - Deutsche Energie-Agentur) [35] e [36].

O uso das chamadas tecnologias de rede elétrica inteligente pode permitir reduzir a necessidade de expansão da rede convencional, como por exemplo, o uso de transformadores ajustáveis para a rede, controle da energia reativa, gerenciamento do lado da demanda e gerenciamento da injeção de energia pelos prossumidores (*feed-in management*). O uso específico ou um conjunto dessas tecnologias, no entanto, requer conhecimento prévio da rede, que é quase sempre desconhecido para os operadores no nível de média e baixa tensão até o momento. Um melhor conhecimento do estado da rede torna o controle ativo possível e, portanto, evita parcialmente a necessidade de expansão através do gerenciamento de sobrecarga da rede e da manutenção preditiva. Além disso, é possível gerenciar o *feed-in* descentralizado, por exemplo, por meio de *feedback* do consumidor e previsões mais precisas. Isto leva novamente ao reconhecimento da necessidade de dados da rede para o seu gerenciamento, controle, estabilidade e detecção de pontos críticos da rede de distribuição. Isto pode ser obtido com a ampliação do sensoriamento com granularidade temporal e espacial dos dados.

Será, portanto, cada vez mais necessário realizar tarefas de gerenciamento ativo nos diversos níveis da rede de distribuição. Por exemplo, a eletrificação crescente do setor de transporte (veículos elétricos que precisam ser carregados) pode representar um grande desafio para a infraestrutura da rede de distribuição devido a uma possível alta simultaneidade de procedimentos de carga dos veículos. Sem medidas inteligentes de controle de carga ou restrições na capacidade de carga disponível, a expansão da eletro-mobilidade pode exigir também grandes investimentos para fortalecer as redes de distribuição. A carga inteligente pode evitar que as redes de distribuição sofram sobrecarga e pode levar em consideração as necessidades individuais de carga dos consumidores. Diversos estudos e condições foram avaliados sob o guarda-chuva do projeto ENERA [37], para este caso, por exemplo.

Diversos projetos e condições de uso de dados foram apresentadas nas experiências alemãs [2], que demonstram o uso de dados de sensoriamento e inteligência sobre os dados coletados, permitindo o reconhecimento dos recursos e investimentos já realizados nas redes, e minimizando custos de expansão destas redes. Vale ressaltar estes recursos, como exemplo de tratamento de dados, além da inteligência associada a carga de veículos.

1. MoMa [38] – realizado ao redor da cidade alemã de Mannheim, o objetivo principal foi buscar o conhecimento do ponto ideal entre a expansão da rede e novos mercados e mecanismos de rede baseados nas tecnologias de informação e comunicação. Este projeto demonstrou que a combinação de medidas de rede inteligente, medindo transformadores, fornecimento de energia reativa, controle das usinas de geração, melhoria da qualidade da previsão, reduziu a necessidade de expansão da rede;

2. MeRegio (Minimum Emission Region) [39] – faz parte da questão o fato de que uma quantidade de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis varia de acordo com o sol e o vento e que, portanto, faz sentido consumir energia quando ela está disponível em grandes quantidades, a preços baixos. Um sistema de controle da rede pode derivar a necessidade de intervenção com o conhecimento do desempenho específico de um nó da rede (dados de inventário), dados de medição suficientemente precisos da rede (monitoramento) e valores de previsão (no consumo e na geração), com a ajuda de simulações e com a aplicação de sensoriamento adequado (número e capacidade de informação). Foi possível provar, por meio de testes de campo, que uma regulação de tensão inteligente na estação da rede local poderia reduzir as flutuações de tensão e evitar desvios de faixa de tensão e prejuízos em caso de fortes mudanças de carga em trechos periféricos devido à alimentação não persistente dos sistemas fotovoltaicos.

Uma melhoria adicional na qualidade da previsão foi alcançada por meio da iniciativa MeRegio [39] com valores reais medidos de medidores inteligentes. Isso ajuda cada vez mais os fornecedores de energia a substituir perfis de carga padrão por perfis específicos do cliente (perfis de consumo e geração) e a categorizar os tipos ideais representativos deles. Os valores medidos com alta granularidade (medição a cada segundo) foram combinados com metadados das famílias (por exemplo, tamanho da família e residência, dados socioeconômicos). No processo, foram feitos celebrados acordos com as famílias, por questões regulatórias e de privacidade dos dados. Assim, puderam ser criados perfis ideais ou de referência por tipo de família, utilizados também para simular, empregando construções com inteligência artificial, possibilidades e características de redes, eventos e condições de exceção.

Estas três aplicações exemplo, inteligência para a carga de veículos elétricos, inteligência para a análise de demanda e caracterização de consumo, além de caracterização da influência de microgeração/minigeração em trechos de rede, com ações em tempo real (automáticas) sobre a rede e seus elementos, são exemplos de uso de dados coletados e sensoriamento inteligente. O tratamento destes dados e a granularidade de sua coleta, exige uma preparação e foco de negócio. O modelo brasileiro de redes e oferta de energia está iniciando sua transformação e a digitalização com base descentralizada de ações e geração. Estas novas condições podem exigir investimentos novos (diferentes dos investimentos tradicionalmente reconhecidos na expansão de redes) direcionados à digitalização propriamente e não na infraestrutura da rede ou da geração. Uma mudança de paradigma para o negócio atual, que também deverá se preocupar com uma infraestrutura de comunicação econômica, confiável e amplamente disponível, para não limitar os recursos operacionais inovadores pretendidos, também detectado no projeto *Smart Area Aachen* [40].



4. Privacidade e Segurança dos dados

A proteção e a segurança dos dados são condições centrais para a implementação de inovações em redes inteligentes. As redes inteligentes têm mais probabilidade de serem socialmente desejáveis se fizerem a maior contribuição possível para a transformação do sistema de energia e se o uso dos dados for confiável e seguro [2].

A proteção de dados fornece a cada cidadão, a proteção contra o processamento impróprio de dados, o direito à escolha da informação prestada e a proteção da sua privacidade.

A segurança de dados tem o objetivo técnico de proteger adequadamente os dados de qualquer tipo contra manipulação, perda, acesso não autorizado de terceiros ou outras ameaças. **A segurança dos dados deve ser garantida pela implementação de medidas técnicas e organizacionais adequadas.**

4.1 Segurança de dados

Parte-se da hipótese que a análise inteligente de dados espaciais (multidimensionais, temporais e georreferenciados) já disponíveis hoje ou no futuro próximo, deve suportar uma grande variedade de aplicações como planejamento de infraestrutura, planejamento urbano, *geomarketing*¹⁸, todos os tipos de planejamento de localização, entre outros. Novas e futuras tecnologias de dados inteligentes devem ser capazes de integrar tipos heterogêneos de dados (dados governamentais abertos, dados gerados pelo usuário, fluxos de conteúdo de mídia social, fluxos de dados de sensores georreferenciados, conjuntos de dados proprietários como dados de clientes e marketing, etc.),

¹⁸ O *Geomarketing* engloba qualquer estratégia de marketing que trabalhe com inteligência sobre localização para otimizar campanhas e alcançar o consumidor na hora e local certos.

para analisá-los de forma inteligente e visualizar os resultados de maneiras fáceis de usar - tornando assim a análise de dados inteligentes disponível para especialistas no assunto, sem conhecimento específico de ciência de dados [41].

Assim, uma plataforma digital para dados de energia deve ser aberta e baseada em nuvem para poder processar e analisar dados heterogêneos, vindos de diversas origens, formatos e em grande volume. A plataforma deve ser aberta para que todas as partes interessadas possam acessá-la e usá-la. Portanto, questões como confiança, integridade e confiabilidade desempenham um papel importante no uso da plataforma. Além de operadores de plataforma, provedores de dados e fornecedores de software de processamento de dados, outras partes interessadas incluem desenvolvedores de aplicativos (orquestrando serviços para processamento de conjuntos de dados, criando valor agregado) e usuários finais.

Essa multidão de participantes heterogêneos torna a arquitetura de segurança complexa. Diversos estudos foram feitos para se estabelecer uma plataforma de referência, porém, esta condição, além de complexa, traz decisões estratégicas da implementação/infraestrutura das DSO (Distribution System Operators). O uso de nuvem como receptáculo dos dados traz diversas vantagens, incluso a segurança agregada com o uso deste formato de armazenamento e comunicação.

4.2 Segurança de transporte de dados

Para arquiteturas abertas baseadas em nuvem, devem ser usados padrões abertos da web. O *upload* ou entrega de dados para a plataforma é realizado por meio de protocolos como https e outros protocolos seguros como FTPS¹⁹, SSH²⁰ e protocolo de transferência de arquivos SSH²¹.

Os componentes da plataforma e, especialmente, os serviços podem se comunicar via HTTPS²². O Estudo sobre as experiências alemãs sobre digitalização [2] indica o SmartRegio [41] como referência para este tema.

¹⁹ FTPS: FTP (File Transfer Protocol) software que fornece transferência segura de arquivos.

²⁰ Secure Shell é um protocolo de rede criptográfico para operar serviços de rede com segurança em uma rede insegura. O exemplo de aplicação mais conhecido é para login de usuário remoto em sistemas de computador.

²¹ SSH File Transfer Protocol ou SFTP é um protocolo para transferência de arquivos e tratamento de funcionalidades. Sua finalidade é semelhante à do FTP convencional, mas devido ao uso da criptografia nas conexões o tráfego de informações tem um incremento efetivo de segurança.

²² Hypertext Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo de comunicação usado para sistemas de informação hipermídia distribuídos e colaborativos. HTTPS é uma implementação de protocolo HTTP com uma camada adicional de segurança que permite que os dados sejam transmitidos por meio de uma conexão criptografada e que a autenticidade do servidor e do cliente seja verificada por meio de certificados digitais.

O problema geral da comunicação é um mundo de sistemas heterogêneos baseados em hardwares fisicamente conectáveis, que podem servir como fontes de dados e origem para a lógica de decisão e controle. Traduzimos que podemos ter um sistema centralizado ou descentralizado de dados, com diferentes protocolos de comunicação.

Outra questão importante é a heterogeneidade dentro dos mesmos tipos de produtos. Na ausência de padrões de comunicação, dispositivos com finalidades idênticas de dois fabricantes podem ser muito diferentes, tanto em termos de funcionalidade quanto na forma como se comunicam, por exemplo, no caso dos medidores. E isto implica em situações complexas nos sistemas de gestão, que podem receber informações em formatos ou conteúdo distintos para serem tratadas. Estas questões são muito parecidas com as enfrentadas pelas empresas de telecomunicações e nos protocolos e estruturas de gestão da TMN (*Telecommunication Management Network*), seus protocolos e padrões de dados definidos para os elementos gerenciáveis/controláveis ou que trocam informações na rede. E estas condições estão presentes nos padrões estabelecidos para os Estados Unidos – NIST *National Institute of Standards and Technology* [42] – e especificamente para os medidores, as recomendações ANSI C12.19-2008 version 2, IEEE 1377 version 2 [42] e para a Alemanha a recomendação do BMWi na Estratégia de Padronização para a Digitalização Intersectorial [43].

4.3 Segurança de Armazenamento

Se a propriedade dos dados significa que apenas uma parte (por exemplo, a própria família) pode ter acesso a eles devido a questões de segurança, isso deve ser alcançado por meio de mecanismos de direitos de acesso apropriados: por exemplo, apenas pessoas autorizadas têm acesso concedido para áreas seguras. Outros conjuntos de dados devem ser protegidos por regras de direitos de acesso no contexto de gerenciamento de identidade e acesso.

Segurança adicional, para evitar falhas de segurança no quesito identidade e acesso, pode ser obtida criptografando os dados. Isso permitirá que os dados sejam

protegidos onde apenas usuários e sistemas com direitos de acesso e a chave apropriada para descryptografia possam usar os dados. Na prática há complexidade na implementação de regras de acesso para diferentes usuários e funções, como evidenciado por Memmel *et al.* [41].

A troca descentralizada de dados e o armazenamento dos dados podem ser implementados de uma maneira diferenciada usando a tecnologia *blockchain*, por exemplo. A implementação do *blockchain* pode ser recomendada para os casos de uso de contabilidade/verificação dos valores medidos do medidor inteligente e tokenização, ou seja, a prova de uma quantidade gerada de eletricidade por um prosumidor em um determinado local. Algumas funções também adequadas para uso de *blockchain* são:

- a **netting**: a alocação calculada de todos os feeds (fornecimento de energia para a rede) e retiradas (consumo de energia da rede) pelos prosumidores conectados na rede de distribuição, com cálculo da distribuidora com base em restrições regulatórias e físicas,
- a **contratação**: garantia de feeds futuros ou compras de energia da rede por um prosumidor em um ponto fixo no tempo, e;
- a **compensação**: pelo não cumprimento do compromisso contratual.

Considerando a disponibilidade e requisitos à prova de violação de todas as aplicações o *blockchain* é a indicação. As desvantagens são escalabilidade e privacidade. Uma variedade de possíveis soluções está sendo estudada, bem como padronizações de uso [44].

4.4 Direitos de acesso

O gerenciamento de chaves criptográficas consiste em armazenar, proteger, organizar e garantir seu uso adequado, gerenciar seu ciclo de vida e manter *backups* de forma segura e consistente. Isto é fundamental para a segurança técnica dos dados. Assim é garantida a comunicação criptografada nas redes inteligentes.

Atenção especial tem que ser dada à usabilidade e confiabilidade do gerenciamento de chaves, bem como a sua aplicabilidade em uma infraestrutura de fornecimento de energia que se caracteriza por uma infinidade de participantes (atores) e componentes que interagem, que são de muitos tipos, parcialmente sujeitos a alta flutuação e podem ter interesses de segurança conflitantes [2]. Por exemplo, o cliente prosumidor pode não querer permitir que a distribuidora tenha acesso a sua energia injetada na rede em tempo real, porém, isto é, de extrema necessidade para o atendimento da demanda dos demais consumidores na região.

A gestão de chaves também deve garantir que os participantes tenham diferentes direitos de acesso para garantir a confidencialidade das informações pessoais de consumo. Se necessário, direitos de acesso dinâmico são úteis para conceder temporariamente diferentes direitos de acesso aos participantes com a mesma tarefa formal (por exemplo, desenvolvedores de aplicativos) [41].

4.5 Privacidade: anonimato

À medida que aumenta a conscientização e a regulação sobre as questões de privacidade, há uma necessidade de proteger esses direitos no contexto da plataforma de dados de energia. Os métodos convencionais para proteger esses direitos são *pseudomization* (substituição dos dados da identificação) e anonimização, transformando o conjunto de dados de forma que entradas individuais não oferecem o risco de identificação. A criptografia e a transformação de dados são soluções técnicas convencionais para isto. Aumentar o anonimato, entretanto, geralmente leva a uma redução no valor informativo dos dados no que diz respeito ao potencial de análise.

No entanto, um conjunto de dados anônimos não significa que uma re-identificação por correlação de diferentes conjuntos de dados não seja possível. Especialmente na área de *big data*, muitas das fontes podem conter informações pessoais e o anonimato é particularmente difícil de garantir devido, por exemplo, à referência espacial e à combinação de muitas fontes.

O risco aqui é principalmente a divulgação de identidade e, portanto, a identificação de uma pessoa (divulgação de identidade), a publicação de características sensíveis de uma pessoa (divulgação de atributos) e o risco de identificar características sensíveis de uma pessoa atribuindo a ela um conjunto de dados com alta probabilidade (divulgação de membros) [41].

A fim de garantir a interoperabilidade dos vários componentes presentes em um sistema de medição inteligente, não somente as especificações puramente funcionais também devem ser desenvolvidas, mas os requisitos de segurança também devem ser especificados com um perfil de proteção para o gateway (interface) de comunicação do medidor. Esses requisitos adicionais para o uso seguro de sistemas de medição inteligentes foram especificados pelo BSI (*Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik* - Escritório Federal de Segurança em Tecnologia da Informação da Alemanha) em uma diretriz técnica (BSI TR-03109) [45]. Recomenda-se fortemente um olhar criterioso sobre o conjunto de recomendações/padronizações apresentado no BSI TR-03109 [45] como estudos já realizados e condições estabelecidas de uso e de suporte a informação.

Além disso, na Alemanha existe uma portaria sobre requisitos técnicos mínimos para a utilização de sistemas de medição inteligentes na Lei sobre a digitalização da transição energética (Gesetz Zur Digitalisierung Der Energiewende [46]). Está disponível também um *roadmap* que acompanha a lei, com a estratégia de padronização para a Digitalização intersetorial de acordo com a lei para digitalização da transição energética; que é o plano de trabalho continuamente atualizado para o desenvolvimento de gateway de medidores inteligentes [47].

4.6 A cibersegurança

Uma rede elétrica inteligente é uma rede elétrica que pode integrar de forma econômica o comportamento e as ações de todos os usuários conectados a ela (geradores e/ou consumidores), a fim de garantir um sistema de energia economicamente eficiente, sustentável e com altos níveis de qualidade, de segurança de abastecimento e segurança operacional (e da informação). Para direcionar as questões específicas de segurança, as organizações europeias de normatização (CEN, CENELEC e ETSI) criaram em 2011 o grupo de Coordenação da Cibersegurança para fornecer aconselhamento estratégico sobre a normatização no domínio da segurança informática, *Network and Information Security (NIS)* e *Cyber Security (CS)*. O Grupo foi convertido em *CEN-CENELEC Focus Group on Cybersecurity* em 2016 [48].

A normatização de segurança, a padronização de segurança específica para Smart Energy Grid [49] e a padronização de segurança visando padrões genéricos são monitoradas e analisadas com foco em dois casos de uso específicos: recurso energéticos distribuídos (DER) e automação de subestações. Além disso, a abordagem *Smart Grid Information Security* foi seguida para mostrar a aplicabilidade de diferentes normatizações nos casos de uso específicos selecionados para implantações de redes inteligentes.

As normas de segurança focadas em CEN-CENELEC-ETSI [49] são diferenciadas em normas de requisitos (tipo 1) e normas de solução (tipo 2 e tipo 3) conforme listado abaixo. As normas de requisitos resumem os requisitos abstratos de segurança, enquanto as normas de solução descrevem uma realização que visa a interoperabilidade entre produtos de diferentes fornecedores.

Normas de requisitos considerados (The 'What'):

- ISO/IEC 27001: Information technology — Security techniques — Information security 224 management systems — Requirements;
- ISO/IEC 27002: Information technology — Security techniques — Code of practice for information security management ISO/IEC TR 27001;
- ISO/IEC TR 27019: Information technology - Security techniques - Information security management guidelines based on ISO/IEC 27002 for process control systems specific to the energy utility industry;
- IEC 62443-2-4: Security for industrial automation and control systems - Network and system security - Part 2-4: Requirements for Industrial Automation Control Systems (IACS) solution suppliers;
- IEC 62443-3-3: Security for industrial automation and control systems, Part 3-3: System security requirements and security levels;
- IEC 62443-4-2: Security for industrial automation and control systems, Part 4-2: Technical Security Requirements for IACS Components;
- IEEE 1686: Substation Intelligent Electronic Devices (IED) Cyber Security Capabilities;
- IEEE C37.240: Cyber Security Requirements for Substation Automation, Protection and Control Systems.

Normas de soluções considerados (The 'How'):

- ISO /IEC 15118: Road vehicles – Vehicle-to-Grid Communication Interface, Part 8: Physical and data link layer requirements for wireless communication;
- ISO / IEC 61850-8-2: Communication networks and systems for power utility automation - Part 8-2: Specific communication service mapping (SCSM) - Mapping to Extensible Messaging Presence Protocol (XMPP);
- IEC 62351-x Power systems management and associated information exchange – Data and communication security;
- IEC 62743 Industrial communication networks – Wireless communication network and communication profiles - ISA 100.11a;
- IETF draft-weis-gdoi-iec62351-9: IEC 62351 Security Protocol support for the Group Domain of Interpretation (GDOI);
- IETF draft-TLS1.3 TLS Version 1.3.

Essas normas são analisadas em relação à sua cobertura seguindo a abordagem SGIS (*Smart Grid Information Security*), conforme ilustrado na Figura 8.

Esta recomendação indicada em CEN-CENELEC-ETSI [49] busca fornecer subsídios para a identificação das normas mais adequadas para o uso específico relacionado a Rede Elétrica Inteligente e isto pode ser resumido na Figura 9.

Vale ressaltar que estas normas são aplicadas nas diversas camadas da operação de Rede Elétrica Inteligente, que reflete a estrutura de negócios de energia, representada na arquitetura modelo, via os diversos atores e funcionalidades, na Figura 10.

O cuidado com a análise de segurança deve ser estabelecido através do reconhecimento dos detalhes das necessidades de interação entre os elementos de um domínio e as diversas funções que necessitará para resolver o negócio e as condições de negócio que necessita. As condições de segurança de cada uma das camadas também são avaliadas e direcionadas em CEN-CENELEC-ETSI [49], na arquitetura modelo *Smart Grid Architecture Model* (SGAM).

O EPRI (*Electric Power Research Institute*), americano, apresenta um *road map* de continuidade com a dinâmica da digitalização do setor, que aborda o tema também de forma evolutiva, com direcionamentos e recomendações segundo as condições já reconhecidas, grau de risco e condições futuras, com proposições para assegurar desde a previsibilidade, detecção até as ações de recuperação dos sistemas de energia [50].

O conceito teórico/padronização existente foi apresentado acima. No Brasil o tema é reconhecido pela ANEEL. A Agência patrocinou um seminário para discussão do tema em outubro de 2016 [51], reconhecendo como fatores que intensificam este cenário:

- imprevisibilidade dos ataques cibernéticos que evoluem mais rápido que as contramedidas;
- dificuldade de implantar atualizações de segurança no legado;
- dificuldade de realizar testes de simulação de ataque e avaliação de vulnerabilidade;
- compartilhamento de informações de ameaças, vulnerabilidades, incidentes e mitigação;
- segurança da informação para a maioria das concessionárias é custo;
- incertezas regulatórias (ou inexistência regulatória) em cibersegurança para o setor de energia.

O programa do seminário foi elaborado com o objetivo de sensibilizar o público interno da ANEEL e demais interessados no setor elétrico brasileiro sobre o tema da cibersegurança e seus possíveis impactos em termos de regulamentação.

O ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) participou do evento e levou seu planejamento para o tema. Entretanto, a ampliação da digitalização no setor não foi caracterizada naquele momento, não permitindo caracterização e avaliação de compromissos associados.

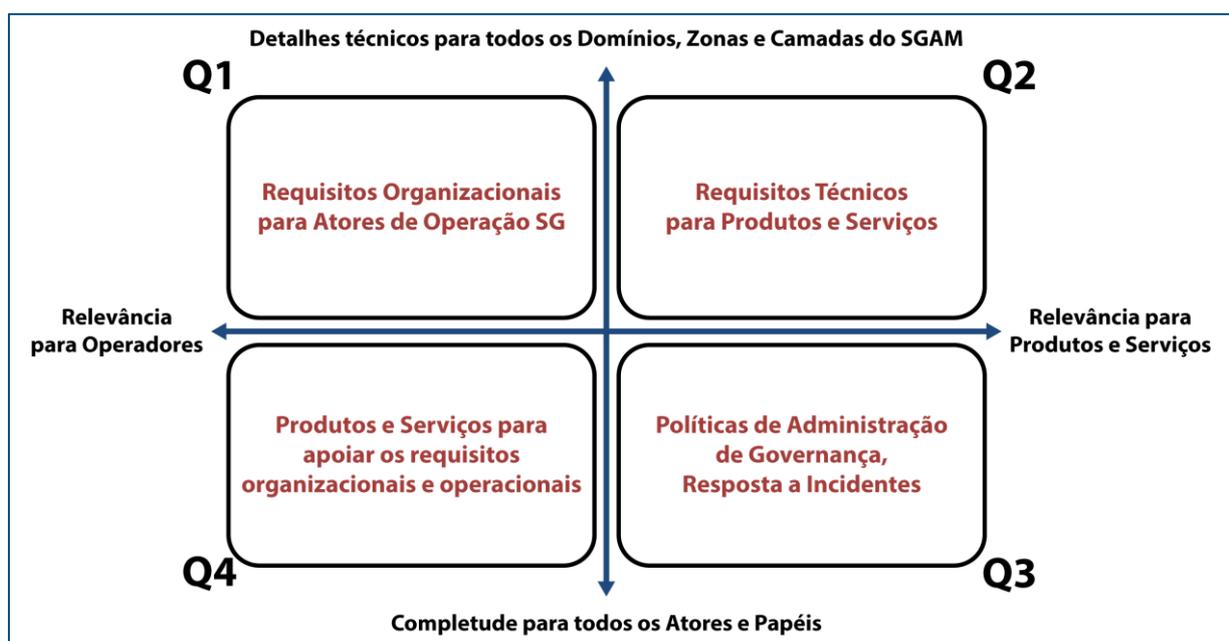


Figura 8 - Áreas de atuação, segundo as normas de segurança [49] (traduzida)

As concessionárias de energia elétrica brasileiras também estão implantando suas políticas, metodologias e sistemas de Segurança Cibernética. Cada uma das empresas criou seus critérios de segurança com base em publicações, normas ou regulamentos internacionais, algumas mais focadas no modelo Norte Americano, outras no modelo Europeu e, certamente, cada uma adaptando os critérios externos à realidade brasileira. Em algum momento, em havendo compartilhamento de controles sobre elementos das redes, ou com o SIN (Sistema Interligado Nacional), acordos de segurança adequados deverão ser consensados.

É importante conhecer o que as empresas elétricas consideram importante e fundamental para evitar ataques bem-sucedidos, mitigar riscos e, também, apresentar os seus requisitos mínimos de segurança cibernética (*compliance*).

O CIGRE Brasil²³, tem um grupo de estudo, WGD2.40_BR – Grupo Espelho Nacional de Segurança Cibernética [52] para tratar do tema para o setor, coordenado pela Siemens, buscando responder questões relativas à segurança cibernética em redes corporativas e operativas:

- Cenário de ameaças cibernéticas: mapeamento de ameaças e vulnerabilidades e metodologia para sua classificação;

- Política de segurança cibernética: aderência de marcos regulatórios mundiais à realidade brasileira e propor um conjunto mínimo de controles por parte das *utilities* de energia elétrica;
- Requisitos operacionais de um centro de controle cibernético
- Proposta de arquitetura de rede para redes seguras;
- Time de resposta a incidentes de segurança cibernética (ICS-CSIRT).

Vale ressaltar, todavia, e cada vez mais, que este tema é uma questão de estabelecimento e incorporação de estratégias, de estruturas de governança e políticas para executar a estratégia e a capacidade de comunicar intenções e resultados. Está associado em como se gere a segurança e os processos de segurança, de forma sólida e eficaz.

O conhecimento do tema e a prática no tema têm que ser incorporados, baseados nas condições de segurança cibernética, no mínimo baseada em riscos. E isto é imprescindível para as empresas do setor, cada vez com mais componentes na linha de gerenciamento digital, e, portanto, mais vulneráveis; ONS, cada vez mais sensível nas interligações entre as empresas; órgãos reguladores, cada vez mais necessários em termos de definição de compromissos. É uma necessidade do setor a segurança e proteção dos sistemas e isto tem que ser mais enraizado, mais culturalmente organizado e promovido.

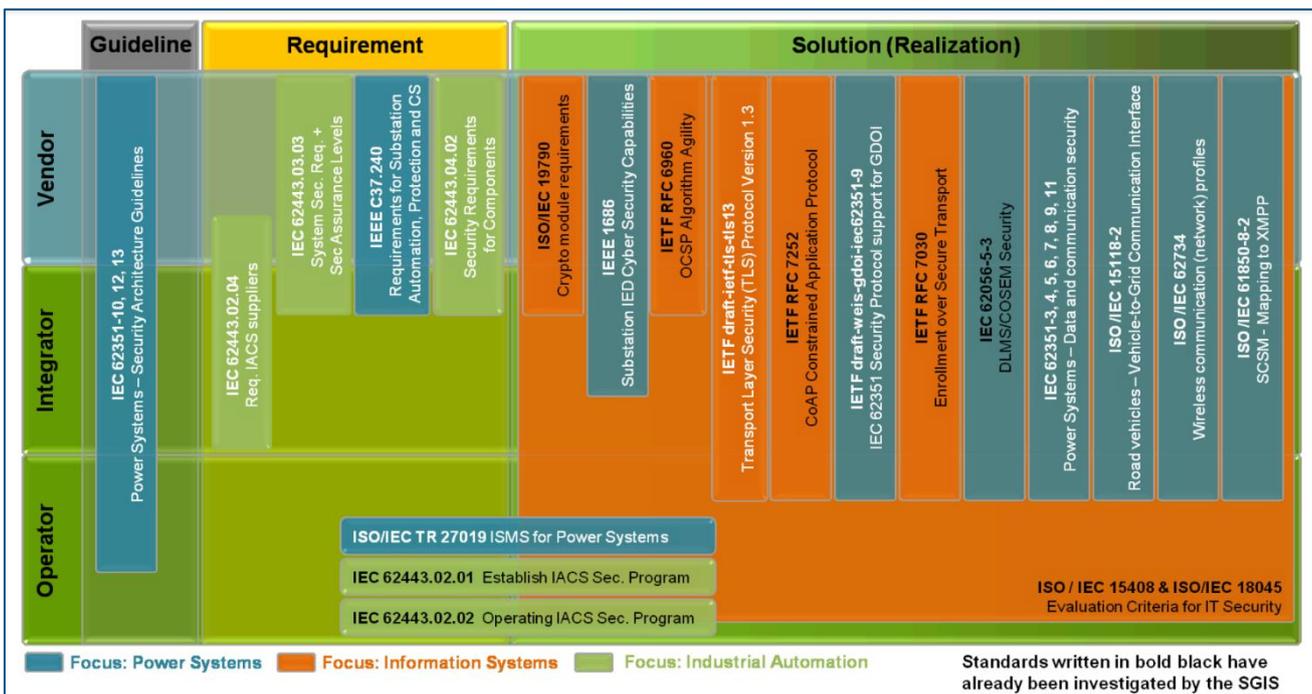


Figura 9 – Aplicabilidade das normas de segurança [49]

²³ Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (www.cigre.com.br)

No plano governamental, para superar esses desafios e dissuadir o crime cibernético no Brasil, o governo federal estabeleceu diretrizes para a implementação de estratégias para a segurança para o quadriênio 2020-2023, e-Ciber [53]. A e-Ciber recomenda a participação do país em esforços internacionais para elaboração de procedimentos operacionais padrão a serem utilizados para o compartilhamento de informações e de respostas a grandes crises transnacionais, e incentivar a participação de entidades públicas e privadas em exercícios regionais e internacionais como forma de apoiar a cooperação com parceiros estratégicos. A necessidade de estabelecer e consolidar parcerias estratégicas no ambiente cibernético torna-se ainda mais evidente ao se constatar que grande parte das infraestruturas críticas estão sob responsabilidade do setor privado, o que reforça a necessidade de propósitos comuns, em segurança cibernética, entre Governo, empresas privadas, academia e a sociedade em geral.

4.7 A proteção de dados na UE

O pacote de medidas sobre proteção de dados, adotado em maio de 2016 pela EU, teve por objetivo preparar a Europa para a era digital. Mais de 90% dos europeus querem o mesmo nível de proteção dos dados pessoais em toda a UE, independentemente do lugar onde os dados são tratados [54].

4.7.1 Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (General Data Protection Regulation - GDPR)

O [Regulamento \(EU\) n.º 2016/679](#) [55] é relativo à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados (incluindo a retificação publicada no Jornal Oficial de 23 de maio de 2018).

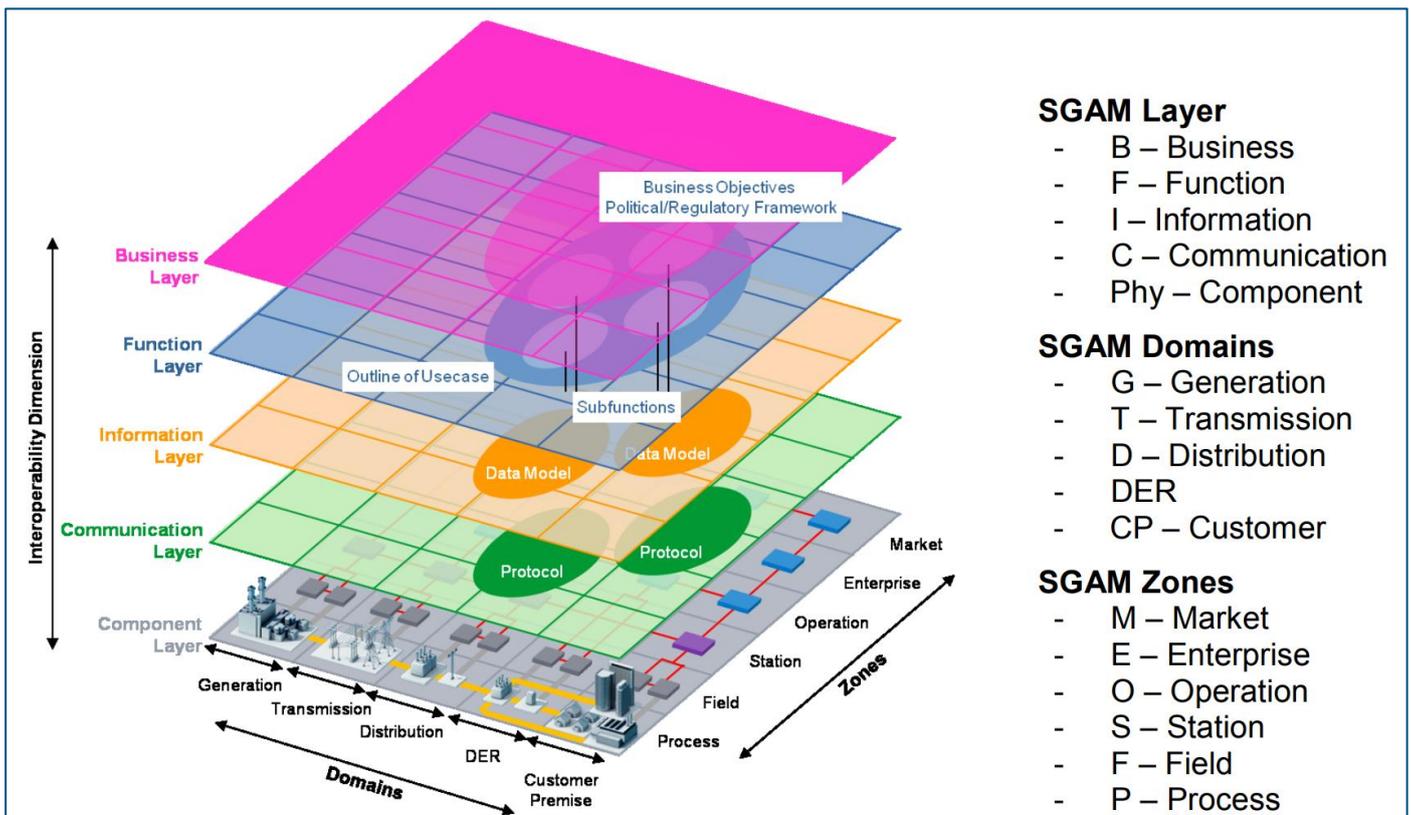


Figura 10 - Modelo de Arquitetura Smart Grid – camadas, domínios e zonas [49]

Segundo informações do Smart Area Aachen [54], “este regulamento é uma medida essencial para reforçar os direitos fundamentais das pessoas na era digital e facilitar a atividade comercial mediante a clarificação das normas aplicáveis às empresas e aos organismos públicos no mercado único digital. A adoção de um ato legislativo único visa também acabar com a fragmentação resultante da coexistência de sistemas nacionais diferentes e com encargos administrativos desnecessários.

O regulamento entrou em vigor em 24 de maio de 2016 e é aplicável desde 25 de maio de 2018.”

Vale ressaltar na GDPR (*General Data Protection Regulation*) europeia algumas condições inerentes ao processamento de dados (grifos do consultor) [55]:

Artigo 5º

Princípios relativos ao tratamento de dados pessoais

1. Os dados pessoais são:

a) **Objeto de um tratamento lícito, leal e transparente em relação ao titular dos dados** («licitude, lealdade e transparência»);

b) Recolhidos para finalidades determinadas, explícitas e legítimas e não podendo ser tratados posteriormente de uma forma incompatível com essas finalidades; o tratamento posterior para fins de arquivo de interesse público, ou para fins de investigação científica ou histórica ou para fins estatísticos, **não é considerado incompatível com as finalidades iniciais**, em conformidade com o artigo 89º., no. 1 («limitação das finalidades»);

c) **Adequados, pertinentes e limitados ao que é necessário relativamente às finalidades para as quais são tratados** («minimização dos dados»);

d) Exatos e atualizados sempre que necessário; devem ser adotadas todas as medidas adequadas para que os dados inexatos, tendo em conta as finalidades para que são tratados, sejam apagados ou retificados sem demora («exatidão»);

e) Conservados de uma forma que permita a identificação dos titulares dos dados apenas durante o período necessário para as finalidades para as quais são tratados; **os dados pessoais podem ser conservados durante períodos mais longos, desde que sejam tratados exclusivamente para fins de arquivo de interesse público, ou para fins de investigação científica ou histórica ou para fins estatísticos**, em conformidade com o artigo 89º., no. 1, sujeitos à aplicação das medidas técnicas e organizativas adequadas exigidas pelo presente regulamento, a fim de salvaguardar os direitos e liberdades do titular dos dados («limitação da conservação»);

f) **Tratados de uma forma que garanta a sua segurança, incluindo a proteção contra o seu tratamento não autorizado ou ilícito e contra a sua perda, destruição ou danificação accidental, adotando as medidas técnicas ou organizativas adequadas** («integridade e confidencialidade»);

2. O responsável pelo tratamento é responsável pelo cumprimento do disposto no nº 1 e tem de poder comprová-lo («responsabilidade»).

Artigo 35º

Avaliação de impacto sobre a proteção de dados

1. Quando um certo tipo de tratamento, em particular que utilize novas tecnologias e tendo em conta a sua natureza, âmbito, contexto e finalidades, for suscetível de implicar um elevado risco para os direitos e liberdades das pessoas singulares, o responsável pelo tratamento procede, antes de iniciar o tratamento, **a uma avaliação de impacto das operações de tratamento previstas sobre a proteção de dados pessoais**. Se um conjunto de operações de tratamento que apresentar riscos elevados semelhantes, pode ser analisado numa única avaliação.

.....

3. A realização de uma avaliação de impacto sobre a proteção de dados a que se refere o no. 1 é obrigatória nomeadamente em caso de:

a) Avaliação sistemática e completa dos aspetos pessoais relacionados com pessoas singulares, baseada no tratamento automatizado, incluindo a definição de perfis, sendo com base nela adotadas decisões que produzem efeitos jurídicos relativamente à pessoa singular ou que a afetem significativamente de forma similar;

b) Operações de tratamento em grande escala de categorias especiais de dados a que se refere o artigo 9º., no. 1, ou de dados pessoais relacionados com condenações penais e infrações a que se refere o artigo 10º. ou

c) Controle sistemático de zonas acessíveis ao público em grande escala.

.....

7. A avaliação inclui, pelo menos:

a) **Uma descrição sistemática das operações de tratamento previstas e a finalidade do tratamento, inclusive, se for caso disso, os interesses legítimos do responsável pelo tratamento;**

b) Uma avaliação da necessidade e proporcionalidade das operações de tratamento em relação aos objetivos;

c) Uma avaliação dos riscos para os direitos e liberdades dos titulares dos direitos a que se refere o no item 1; e

d) As medidas previstas para fazer face aos riscos, incluindo as garantias, medidas de segurança e procedimentos destinados a assegurar a proteção dos dados pessoais e a demonstrar a conformidade com o presente regulamento, tendo em conta os direitos e os legítimos interesses dos titulares dos dados e de outras pessoas em causa.

8. Ao avaliar o impacto das operações de tratamento efetuadas pelos responsáveis pelo tratamento ou pelos subcontratantes, em especial para efeitos de uma avaliação de impacto sobre a proteção de dados, é tido na devida conta o cumprimento dos códigos de conduta aprovados a que se refere o artigo 40º. por parte desses responsáveis ou subcontratantes.

9. Se for adequado, o responsável pelo tratamento solicita a opinião dos titulares de dados ou dos seus representantes sobre o tratamento previsto, sem prejuízo da defesa dos interesses comerciais ou públicos ou da segurança das operações de tratamento.

.....

11. Se necessário, o responsável pelo tratamento procede a um controlo para avaliar se o tratamento é realizado em conformidade com a avaliação de impacto sobre a proteção de dados, pelo menos quando haja uma alteração dos riscos que as operações de tratamento representam.

.....

Artigo 89º

Garantias e derrogações relativas ao tratamento para fins de arquivo de interesse público ou para fins de investigação científica ou histórica ou para fins estatísticos

1. O tratamento para fins de arquivo de interesse público, ou para fins de investigação científica ou histórica ou para fins estatísticos, está sujeito a garantias adequadas, nos termos do presente regulamento, para os direitos e liberdades do titular dos dados. Essas garantias asseguram a adoção de medidas técnicas e organizativas a fim de assegurar, nomeadamente, o respeito do princípio da minimização dos dados. Essas medidas podem incluir a pseudonimização, desde que os fins visados possam ser atingidos desse modo. Sempre que esses fins possam ser atingidos por novos tratamentos que não permitam, ou já não permitam, a identificação dos titulares dos dados, os referidos fins são atingidos desse modo.

A Comissão Europeia, em colaboração com a indústria e outras partes interessadas, conduziu um processo de avaliação de dois anos e entregou um pacote completo de recomendações no final de novembro de 2016 para garantir a privacidade e cibersegurança em sistemas de medição inteligente de acordo com os requisitos funcionais mínimos estabelecidos na **recomendação da Comissão e em conformidade com o regulamento geral de proteção de dados** (GDPR) [56]. Neste grupo de estudos foi desenvolvido um modelo de avaliação do impacto da proteção de dados para redes inteligentes e ambientes de medidores inteligentes [57] buscando:

- a) prevenir ajustes caros em processos ou redesenho de sistemas, mitigando os riscos à Privacidade e Dados Pessoais;
- b) prevenir a descontinuidade de um projeto pela detecção precoce dos principais riscos;
- c) facilitar o cumprimento do princípio de minimização e exatidão dos Dados Pessoais (qualidade dos Dados Pessoais);
- d) aumentar a conscientização sobre os riscos à privacidade e proteção de dados dentro da organização;
- e) facilitar a tomada de decisões corporativas com base no relatório DPIA (Data Protection Impact Assessment);
- f) fortalecer a confiança de consumidores, funcionários, cidadãos e DPAs (Data Protection Authorities), demonstrando conformidade com o GDPR, respeito à privacidade e compromisso com a proteção da proteção de dados pessoais;
- g) estimular a consciência pública ou perda de credibilidade como resultado de uma perda percebida de privacidade ou falha em atender às expectativas em relação à proteção de informações pessoais.

Além disso, a execução do DPIA fornecerá informações valiosas para diferentes partes interessadas dentro da organização do Controlador de Dados. Uma extração do texto do documento do Smart Grid Task Force [57] deixa clara a relevância e necessidade da análise sobre a proteção de dados em um tema especial: Dados pessoais envolvidos e atividades de processamento de dados relacionadas. É importante considerar, a qualquer momento, que os Dados Pessoais devam ser processados, se eles são absolutamente necessários para fins operacionais. Caso contrário, o processamento de dados pessoais deve ser evitado sempre que possível [57]. Uma base legal para o processamento de dados pessoais deve ser sempre identificada.

Exemplos de dados pessoais para os aplicativos de Rede Elétrica Inteligente [57]:

- **Dados de cadastro do consumidor:** nomes e endereços dos titulares dos dados, etc.;
- **Dados de uso: consumo de energia**, em particular consumo residencial, informações de demanda e horários, pois fornecem uma visão da rotina diária do titular dos dados;
- **Quantidade de energia e potência** (por exemplo, kW) fornecida à rede (geração de energia), visto que fornecem uma visão da quantidade de recursos de energia sustentável disponíveis;
- **Perfis e tipos de consumidores**, pois podem influenciar a forma como o consumidor é abordado;
- **Dados do perfil de uso da instalação** (por exemplo, horas de uso, quantos ocupantes, em que horas e tipo de ocupantes);
- Frequência de transmissão de dados (se limitada a certos limites), pois estes podem fornecer uma visão sobre a rotina diária do titular dos dados;
- Dados de **faturamento** e método de pagamento do consumidor.

Exemplos de Processamento de Dados:

- Leituras remotas para fins de faturamento;
- Leituras remotas frequentes para planejamento de rede;
- Tarifação dinâmica e avançada;
- Fornecimento de informações *online* ao consumidor (por exemplo, em site, aplicativo móvel);
- Comutação (chaveamento) remoto.

Exemplos ilustrativos apresentados no Modelo de Avaliação de Impacto da Proteção de Dados [57]:

1. A empresa de energia disponibiliza um site que permite aos consumidores acessar seus dados de consumo *online*. Os consumidores devem se inscrever neste serviço e dar o seu consentimento. Os Dados Pessoais - por definição - devem ser transmitidos do medidor inteligente para os sistemas centrais de forma segura, a fim de mitigar, em um nível satisfatório, o risco de uma possível violação.

2. Os medidores inteligentes registram os dados de consumo a cada 15 minutos (configurável). O concentrador de dados coleta esses 15 minutos de leitura uma vez por dia e os envia de volta aos sistemas de *backend*. Essas leituras podem ser consideradas informações privadas de forma que possam ser utilizadas de forma ilegítima para avaliar informações sensíveis sobre o comportamento de cada cliente.
3. A implementação de carregamento inteligente de veículos elétricos (VE) exige uma interação e troca de informações correspondentes entre DSOs, pontos de carga, VE, motoristas e novos participantes do mercado. Para estes últimos, pode-se citar o *Charge Service Provider* (CSP) que trata do atendimento do carregamento do carro e o *Charge Spot Operator* (CSO), que trata da cobrança, que pode ser feita com uma fatura diferenciada e agrupando diversas cargas feitas, por exemplo por mês. Com estas medições pode-se estabelecer os locais de carga de um VE ao longo do tempo. Se isso puder ser associado a um motorista, então se torna Dados Pessoais, pois revela os seus destinos e paradeiro. Sem levar em consideração as preocupações com a proteção de dados, isso pode levar a uma menor aceitação do veículo elétrico e do carregamento inteligente.
4. A funcionalidade avançada de Rede Elétrica Inteligente de balanceamento de carga exige que os coletores de dados tenham acesso quase em tempo real às leituras dos medidores mapeados para poder gerenciar com eficiência a geração e o consumo de energia, incluindo microgeração e geração distribuída. As leituras do medidor inteligente são críticas para o processamento da resposta da rede inteligente para um evento de balanceamento de carga usando a estratégia descrita de coleta de dados quase em tempo real no nível do medidor.

Vale ressaltar que a LGPD brasileira (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, [Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018](#) [58]) não prevê esta análise específica de processamento da informação e não traz uma estrutura regulatória/comitê de decisão/estudo de riscos para esta classe de necessidades das redes inteligentes. Este aprimoramento deverá ser decorrente das condições de ampliação da digitalização das redes de energia, dos serviços que forem incorporados. A experiência europeia e os caminhos trilhados podem ser um excelente guia para esta etapa futura.

4.8 A proteção de dados no Brasil

Como contraponto as condições da GRDP Europeia, reforçamos alguns pontos da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD, Lei nº 13.709) brasileira que traduzem os primeiros acordos para o tratamento intensivo e privativo de dados.

No que diz respeito à proteção dos direitos dos usuários na rede, há diversas normas legais e infralegais que tratam da questão em âmbito setorial, como: o Código de Defesa do Consumidor (artigos 43 e 44), que resguarda os dados pessoais de consumidores; a Lei de Acesso à Informação (artigo 31 da Lei nº 12.527/2011), que protege os dados pessoais ao mesmo tempo em que promove a transparência do poder público; a Lei do Cadastro Positivo (Lei nº 12.414/2011), que salvaguarda os dados pessoais no âmbito de análises de crédito; além do próprio Marco Civil da Internet (artigo 3º, incisos II e III, 7º a 17 da Lei nº 12.965/2014), que assegura a tutela da privacidade e da proteção de dados pessoais.

A fragmentação normativa relatada acima acaba também por gerar uma insegurança jurídica em decorrência das interpretações distintas aplicáveis à proteção de dados pessoais, especialmente quanto à sua observância no ambiente digital.

A LGPD, [Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018](#) [58], dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural.

Para proteger os direitos fundamentais de liberdade e privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural foi criada a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD), conforme estabelecido no Decreto nº 10.474, de 26 de agosto de 2020.

4.8.1 Direitos do titular dos dados

(...)

(...)

Art. 17. *Toda pessoa natural tem assegurada a titularidade de seus dados pessoais e garantidos os direitos fundamentais de liberdade, de intimidade e de privacidade, nos termos da LGPD.*

Art. 18. *O titular dos dados pessoais tem direito a obter do controlador, em relação aos dados do titular por ele tratados, a qualquer momento e mediante requisição:*

- I - confirmação da existência de tratamento;*
- II - acesso aos dados mantidos pelo controlador;*
- III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados;*

IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto na LGPD;

V - portabilidade dos dados a outro fornecedor de serviço ou produto, mediante requisição expressa;

VI - eliminação dos dados pessoais tratados quando revogado o consentimento dado pelo titular;

VII - informação com quem o controlador realizou compartilhamento de seus dados;

VIII - informação sobre a possibilidade de não fornecer consentimento e sobre as consequências da negativa;

IX - revogação do consentimento.

(...)

(...)

Art. 50. *Os controladores e operadores, no âmbito de suas competências, pelo tratamento de dados pessoais, individualmente ou por meio de associações, poderão formular regras de boas práticas e de governança que estabeleçam as condições de organização, o regime de funcionamento, os procedimentos, incluindo reclamações e petições de titulares, as normas de segurança, os padrões técnicos, as obrigações específicas para os diversos envolvidos no tratamento, as ações educativas, os mecanismos internos de supervisão e de mitigação de riscos e outros aspectos relacionados ao tratamento de dados pessoais.*

§ 1º Ao estabelecer regras de boas práticas, o controlador e o operador levarão em consideração, em relação ao tratamento e aos dados, a natureza, o escopo, a finalidade e a probabilidade e a gravidade dos riscos e dos benefícios decorrentes de tratamento de dados do titular.

§ 2º Na aplicação dos princípios indicados nos incisos VII e VIII do caput do art. 6º desta Lei, o controlador, observados a estrutura, a escala e o volume de suas operações, bem como a sensibilidade dos dados tratados e a probabilidade e a gravidade dos danos para os titulares dos dados, poderá:

I - implementar programa de governança em privacidade que, no mínimo:

a) demonstre o comprometimento do controlador em adotar processos e políticas internas que assegurem o cumprimento, de forma abrangente, de normas e boas práticas relativas à proteção de dados pessoais;

b) seja aplicável a todo o conjunto de dados pessoais que estejam sob seu controle, independentemente do modo como se realizou sua coleta;

c) seja adaptado à estrutura, à escala e ao volume de suas operações, bem como à sensibilidade dos dados tratados;

d) estabeleça políticas e salvaguardas adequadas com base em processo de avaliação sistemática de impactos e riscos à privacidade;

e) tenha o objetivo de estabelecer relação de confiança com o titular, por meio de atuação transparente e que assegure mecanismos de participação do titular;

f) esteja integrado a sua estrutura geral de governança e estabeleça e aplique mecanismos de supervisão internos e externos;

g) conte com planos de resposta a incidentes e remediação; e

h) seja atualizado constantemente com base em informações obtidas a partir de monitoramento contínuo e avaliações periódicas;

II - demonstrar a efetividade de seu programa de governança em privacidade quando apropriado e, em especial, a pedido da autoridade nacional ou de outra entidade responsável por promover o cumprimento de boas práticas ou códigos de conduta, os quais, de forma independente, promovam o cumprimento desta Lei.

§ 3º As regras de boas práticas e de governança deverão ser publicadas e atualizadas periodicamente e poderão ser reconhecidas e divulgadas pela autoridade nacional.

Embora sejam citadas regras de governança e boas práticas na LGPD brasileira, as questões de tratamento de dados (por exemplo de medições sistemáticas de consumo), garantias da privacidade e direcionamentos para o controle e gerenciamento de seu uso, no contexto de energia e de sistemas de telecomunicações associados, ainda precisam ser estabelecidas. Precisam ser caracterizadas condições de privacidade e autorizações de uso para dados que necessitem de avaliação de forma sistemática para a tomada de decisão, por exemplo, para garantir uma gestão da estabilidade local da energia quando existem muitos prossumidores conectados. As lições e direcionamentos europeus trazem este desafio enfrentado, como já mencionado.

5. Aplicações e projetos pilotos realizados no Brasil

O Brasil passou por condições especiais em seu processo de concessão e de renovação da concessão de distribuição de energia nos últimos 10 anos, com diversas alterações nos quadros de acionistas das concessionárias. Associadas as condições climáticas que levaram a estiagem e consequente necessidade de acionamento de usinas termelétricas de alto custo de geração, condições legais, políticas, e de mudanças executivas nos quadros superiores das empresas concessionárias de distribuição, levaram a um arrefecimento em investimentos em digitalização das redes que estava se pronunciando no início da década, em conjunto com as implementações de *smart metering* nas redes de energia na Europa, EUA e Austrália.

As mudanças do negócio da distribuição da energia no Brasil, caracterizada, dentre outras coisas, como detentora do monopólio de atendimento ao cliente residencial e de baixo consumo, e demais clientes considerados cativos, não foram instrumentalizadas ou incentivadas pela Agência reguladora, devido ao contexto de transição de modelos político-financeiros no período. A visão da geração distribuída, especialmente com relação a energia fotovoltaica apareceram como uma possibilidade para a indústria e para o consumidor residencial como alternativa de segurança energética para o negócio ou individual, ainda com custos elevados, mas mais atrativas nos últimos 3 anos devido ao aumento da oferta e qualidade das placas solares no mercado.

As novas empresas, nos atuais boards executivos das concessionárias de distribuição, já tiveram tempo de reconhecer as operações brasileiras, suas redes e características regionais de consumo e demanda. Depois das reestruturações operacionais, estão na avaliação e busca de espaços de melhoria de desempenho e neste momento a digitalização, gestão e controle das redes e dos ativos surge como necessidade. Aparenta estarmos vivenciando um momento de inflexão tecnológica no setor, provocado pela obsolescência do modelo local frente ao modelo existente nas matrizes dos novos acionistas. Este modelo ainda é inicial e a implantação de *smart meterings*, controles da medição e da qualidade da energia, segurança de dados de medições constantes e outros temas discutidos ainda é incipiente e precisa de diretrizes nacionais/incentivos provocativos. Os custos de medição e de telecomunicações para um uso mais generalizado de inteligência nas pontas, na casa do cliente, dependerá de como o tema seja tratado e na resposta crucial: a forma

como este custo acrescido na operação poderá ser ressarcido – o investimento deve se mostrar retornável.

As discussões sobre a digitalização estão sendo retomadas no Brasil, também no contexto da necessária atualização do setor, e para evitar apagões e situações de prejuízo operacional no modelo da concessão existente. Possibilidades e técnicas, como as apresentadas no modelo alemão [2] terão aderência a um prazo mais longo, devido às características diferenciadas da oferta e da geração da energia no país e ainda com relação ao poder de decisão de compra de energia restrita a poucos consumidores energointensivos no uso.

O espaço histórico de testes de condições de ruptura do modelo de operação passiva para uma operação ativa das redes de seus elementos constituintes, com rede elétrica inteligente, realizados como testes pilotos pelas concessionárias de energia no país, espera-se, possa fornecer algum subsídio e trazer reforços para uma modernização/evolução mais concreta nos próximos anos.

É importante destacar que nos encontramos distantes da definição de um *“standard de facto”* para as redes inteligentes no Brasil e, em consequência, a maioria dos projetos pilotos concluídos tiveram preocupação mais em testar tecnologias do que em desenvolver provas de conceito técnica-financeira que pudessem ser replicadas em futuros processos de expansão dos negócios das concessionárias, o que explica a existência de reduzidas pesquisas exploratórias que procurem determinar quais os modelos de negócio mais adequados a serem utilizados nas redes inteligentes do país [59].

E vale ressaltar que, no mínimo, no Brasil, as redes inteligentes terão um papel em incentivar a [59]:

- Eficiência energética por meio de uma gestão mais eficaz da rede elétrica com base na comunicação entre todas as partes da cadeia de conversão de energia e a orientação ao consumidor sobre como fazer a gestão eficaz do consumo em sua residência evitando desperdícios;
- Redução do risco de desabastecimento devido, principalmente, ao monitoramento da qualidade e da eficiência no consumo de energia elétrica, reduzindo perdas técnicas e promovendo a melhor observação das gerações não despachadas (GD - Geração Distribuída);
- Mitigação das perdas comerciais por intermédio do monitoramento do perfil de consumo dos clientes e da comparação da medição de balanço de energia nos transformadores; e
- Modicidade tarifária com a gestão mais eficiente da rede elétrica com a consequente redução dos custos operacionais que impactam nos custos gerenciáveis (custos de pessoal, de material e das atividades vinculadas diretamente à operação e manutenção dos serviços de distribuição de energia elétrica), componente da "Parcela B" das tarifas de energia dos contratos de concessão das Concessionárias de Energia.

Espera-se que esta evolução seja fomentada, que seja planejada e gerida. As experiências realizadas, e apresentadas a seguir, apresentam desafios técnicos enfrentados. As regulações do setor de energia e de telecomunicações também terão seu quinhão de trabalho para a realização de um novo modelo, mais eficaz (e, portanto, mais eficiente). Para suportar as análises serão apresentados alguns detalhes técnicos e compromissos destes projetos.

Considerando o exposto, focou-se neste espaço o contexto de digitalização das redes, em como torná-las inteligentes. Entretanto, este contexto deve se integrar na política energética, planejamento energético e na possibilidade de melhorias neste planejamento, com uma gestão operacional (monitorada, avaliada de forma mais granular) das redes e dos serviços proporcionados aos consumidores.

5.1 Projetos Piloto e de P&D regulados no programa ANEEL

Segundo a legislação brasileira que regulamenta o programa de Pesquisa e Desenvolvimento do setor de energia, Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000, as empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica devem realizar investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética utilizando parte de seu faturamento. Desde 2010, diversas concessionárias de energia executaram projetos dentro das condições de P&D reguladas, buscando o reconhecimento e avaliação das condições de rede elétrica inteligente para as particularidades de suas redes de energia e de atendimento de seus consumidores regionais.

De todos os projetos registrados pelas concessionárias junto à ANEEL [60], detectamos pela descrição feita, 43 projetos com referência de desenvolvimento para *Smart Grid*, redes inteligentes, cibersegurança para redes, *smart metering*, comunicação e inteligência de processamento. Estes projetos, iniciados entre 2010 e 2016 foram agregados por concessionária, e são apresentados na Tabela 2, totalizando um investimento de R\$ 276.232.370,52, segundo a previsão orçamentária para sua realização [60].

Alguns pilotos realizados pelas concessionárias tiveram destaque pelas suas características de foco na implementação e desafios encontrados em sua execução:

1. Projeto piloto em Parintins, AM pela Manaus Energia do grupo Eletrobrás [61];
2. Projeto Cidade Inteligente Búzios, RJ, pela ENEL/AMPLA [62] e [63];
3. Projeto piloto na ilha de Fernando de Noronha, PE, pela CELPE [64];
4. Piloto Cidades do Futuro em Sete Lagoas, MG, pela CEMIG Distribuição [65], [66], [67] e [68];
5. Projeto piloto em São Luis do Paraitinga, SP, pela Elektro [69] e [70];
6. Programa Smart Grid no Rio de Janeiro, pela Light [71], [72] e [73];
7. Projeto Estruturante Eletropaulo Digital na cidade de Barueri, SP, pela AES-Eletropaulo [74];
8. Projeto InovCity, em Aparecida do Norte, SP, pela EDP Bandeirante.

Tabela 2 - Estrato de projetos ligados à inteligência da rede na ANEEL [60]

Empresa	Título do Projeto	Custo previsto do Projeto	Data de Início de Execução
AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A.	Tecnologia Inovadora PSM para Sistemas Rurais considerando a realidade de Redes Inteligentes e Geração Distribuída	R\$ 1.198.081,16	30/01/2014
AES Uruguaiana Empreendimentos Ltda.	SMART-SEN - Um Modelo de Simulação do Sistema Elétrico Nacional com Presença de Geração de Renováveis Intermitentes	R\$ 13.983.841,64	12/02/2016
Ampla Energia e Serviços S/A	Solução de comunicação para smart-grid utilizando tecnologias de rede em malha	R\$ 2.391.240,00	18/05/2010
Ampla Energia e Serviços S/A	Estudo dos efeitos da implementação de tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes (smart city) - projeto CIDADE INTELIGENTE BÚZIOS	R\$ 17.807.830,27	01/11/2011
Ampla Energia e Serviços S/A	Avaliação dos impactos operacionais gerados pela implementação da medição eletrônica e de redes inteligentes em distribuidoras de energia	R\$ 947.000,00	02/05/2011
Bandeirante Energia S/A.	Laboratório Smart Grid - Análise de funcionalidades de automação, medição, tecnologias da informação e comunicação aplicáveis a redes elétricas inteligentes (REIs).	R\$ 7.852.060,00	03/03/2014
Bandeirante Energia S/A.	Linha de produtos para otimização e controle do uso de energia residencial no conceito Smart Grid	R\$ 213.578,99	15/04/2010
Bandeirante Energia S/A.	Medição e Automação de Iluminação Pública com Integração em Redes Inteligentes	R\$ 730.000,00	05/01/2015
Celesc Distribuição S.A.	Metodologia para Estimativa Robusta de Estados com Tratamento Fuzzy de Incertezas de Sistemas Trifásicos Desequilibrados em Ambientes com Redes de Distribuição Ativas e Inteligentes (smart-grid)	R\$ 968.766,00	02/07/2012
Celesc Distribuição S.A.	SMARTFIX - Metodologia de Recomposição Automática de Redes de Distribuição Utilizando Fontes Mistas de Informação Para Detecção e Localização de Falhas em Ambientes Smart Grid	R\$ 1.516.231,00	28/11/2011
Celesc Distribuição S.A.	Utilização da Energia Solar em Sistemas Fotovoltaicos Multifuncionais Operando em Redes Inteligentes	R\$ 3.953.560,00	02/07/2012
Celesc Distribuição S.A.	Sistema de Recarga Rápida com Armazenamento Híbrido-Estacionário de Energia para Abastecimento de Veículos Elétricos no Conceito de Redes Inteligentes	R\$ 3.595.196,33	05/08/2015
Celg Distribuição S.A.	Plataforma GIS de Alta Performance para Processamento em Tempo Real de Grande Volume de Dados em Smart Grid	R\$ 2.506.170,50	15/07/2016
Celg Distribuição S.A.	Aplicação da rede inteligente (smartgrid) na supervisão do fornecimento de energia elétrica em média e baixa tensão utilizando diferentes tecnologias de comunicação	R\$ 1.232.046,00	06/11/2011
Celg Distribuição S.A.	Validação de Arquiteturas de Automação na Rede de Distribuição via Técnicas Avançadas de Self-Healing e Diferentes Tecnologias de Comunicação, dentro do Conceito Smart Grid	R\$ 2.591.251,76	11/03/2015
CEMIG Distribuição S/A	D423 - DE - Desenv. de Modelo Funcional Smart Grid através de integra. sistêmicas de soluções intelig. para automação da rede de distribuição, infraestr. avançada de medição e particip. do consumidor	R\$ 25.318.843,39	23/11/2010
CEMIG Distribuição S/A	D424 - DE - Desenv. de uma Plataforma de Testes de Conformidade e Interoperabilidade de Dispositivos Smart Metering e Desenv. de uma Solução Segura de Comunic Híbrida WMAN-WiMAX para Automação de Rede	R\$ 7.455.944,92	23/11/2010
CEMIG Distribuição S/A	Desenvolvimento de Modem PLC para Aplicações de Telecomunicações e Smart Grids em Redes de Baixa tensão	R\$ 4.121.602,08	30/03/2011
CEMIG Distribuição S/A	D373 - LP-Infraestrutura de uma Rede Inteligente (Smart-Grid) a Baixo Custo	R\$ 5.247.607,56	05/03/2012
Centrais Elétricas de Rondônia S/A.	Segurança Cibernética em Smart Metering	R\$ 1.432.764,24	16/04/2012
Central Geradora Termelétrica Fortaleza S/A	Avaliação do impacto de distintos tipos de baterias de íon-Li conectadas à rede de distribuição e à parques de geração solar e eólica em uma rede inteligente	R\$ 2.610.075,15	25/09/2012
Companhia Energética de Alagoas	Identificação Remota de Perdas Comerciais com Cargas Rurais Móveis - Blindagem de Áreas Críticas fundamentada em conceitos de Smart Grid, e modelo de ondas trafegantes para monitoramento de linhas	R\$ 2.976.491,00	06/01/2014

Tabela 2 - Estrato de projetos ligados à inteligência da rede na ANEEL [60] (continuação)

Empresa	Título do Projeto	Custo previsto do Projeto	Data de Início de Execução
Companhia Energética de Pernambuco	Desenvolvimento e implementações de provas de conceito de Redes Inteligentes (RI) em localidade piloto com elevadas restrições ambientais - Caso Ilha de Fernando de Noronha (IFN)	R\$ 17.579.877,85	15/02/2012
Companhia Energética do Ceará	Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento para Implantação de um Piloto de Redes Inteligentes (SmartGrid) para Automação do Sistema Elétrico	R\$ 1.662.613,98	03/11/2010
Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica	Uso eficiente do potencial inovador das redes inteligentes de energia (Smart Grid) na melhoria do gerenciamento da qualidade da energia elétrica em sistemas de distribuição	R\$ 576.553,90	13/04/2011
Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica	Controle dinâmico inteligente para reguladores de tensão e sistemas supervisórios (CDI-RT) em ambiente smart grid	R\$ 1.507.180,40	05/01/2016
Companhia Paulista de Força e Luz	DE0027 - Smart Substation	R\$ 4.965.714,00	18/03/2011
Copel Distribuição S/A	Sistema de controle ótimo de microgrid com armazenamento de energia para smartgrid	R\$ 12.246.407,08	17/07/2017
Copel Distribuição S/A	Otimização do Processo de Restabelecimento de Energia em Tempo Real Utilizando Técnicas de Redes Inteligentes (Smart Grids) e Apoio à Decisão dos Operadores dos Centros de Operação da Distribuição	R\$ 1.820.749,68	08/06/2013
Elektro Eletricidade e Serviços S/A.	Avaliação de Segurança para medidores eletrônicos e de smart metering	R\$ 3.714.032,93	12/04/2013
Elektro Eletricidade e Serviços S/A.	Modelo de Referência para Implantação de Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid)	R\$ 15.191.348,80	08/05/2013
Elektro Eletricidade e Serviços S/A.	Geração distribuída com fontes alternativas e renováveis de energia em ambiente de Micro-redes, Smart-Grid: Metodologias de medição, Segurança operacional e impactos na Qualidade de Energia	R\$ 1.875.100,00	02/08/2012
Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A	Projeto Estruturante de Redes Inteligentes em Regiões Metropolitanas visando Desenvolvimento e Demonstração de soluções Inovadoras utilizando o conceito de living Labs	R\$ 32.270.359,00	22/01/2013
Energética Suape II S.A.	Pesquisa para Elevação da Potência Ativa Fornecida pela Usina Termoelétrica da Suape Energia com Base em Redes Inteligentes	R\$ 3.154.609,00	06/04/2016
Espírito Santo Centrais Elétricas S/A.	Projeto-piloto de avaliação da reação dos consumidores ao sistema de pré-pagamento e às tarifas diferenciadas na baixa tensão em um ambiente de Redes Inteligentes	R\$ 3.161.892,10	01/04/2013
Light Serviços de Eletricidade S/A.	L1-Desenvolvimento de plataforma de rede inteligente interoperável, integrando sistemas de medição e automação da distribuição e utilizando certificação digital para suportar o programa de Smart Grid	R\$ 13.113.984,00	27/09/2010
Light Serviços de Eletricidade S/A.	L2-Desenvolvimento de sistema de gestão em tempo real de rede de distribuição subterrânea, através de monitoramento, diagnósticos e reconfiguração, dentro da plataforma e conceitos do programa Smart Grid	R\$ 4.955.696,00	29/03/2011
Light Serviços de Eletricidade S/A.	L4-Desenvolvimento de sistema para gestão energética pelo lado da demanda associado a outros serviços, com foco no consumo eficiente por canais multimídia interativos integrados ao Programa Smart Grid	R\$ 5.059.545,00	09/12/2010
Light Serviços de Eletricidade S/A.	L3: Sistema de Gestão de Redes Aéreas, Considerando Gerenciamento de Falhas e Restabelecimento, Inserção de GDs e Operação em Modo Ilhado integrados à plataforma e conceitos do Programa de Smart Grid	R\$ 4.979.689,30	26/06/2011
Light Serviços de Eletricidade S/A.	L5: Desenvolvimento de um sistema inteligente de gestão de fontes renováveis, armazenamento distribuído e veículos elétricos recarregáveis integrados ao conceito e plataforma Smart Grid	R\$ 3.132.401,96	29/04/2011
Light Serviços de Eletricidade S/A.	Fabricação de lote pioneiro para plataforma de redes inteligentes	R\$ 10.502.574,00	21/10/2013
Manaus Energia S/A	Desenvolvimento de Modelo Referência para Empresas de Distribuição, fundamentado na experimentação de aplicações de conjunto de tecnologia SmartGrid, projeto piloto a ser implantado em Parintins-AM	R\$ 21.792.669,55	10/08/2010
Tractebel Energia S/A	Desenvolvimento e Implantação de Micro Redes Inteligentes - Estratégias de Controle para Integração de Sistemas e Gerenciamento de Energia	R\$ 2.319.190,00	16/04/2012

Estes pilotos, com duração de 60 meses cada um, totalizaram R\$ 195.271.818,44 de investimentos realizados, segundo os seus relatórios de finalização, sendo R\$ 164.135.513,82 em fundos de P&D regulados e R\$ 31.136.304,62 de investimentos adicionais da ENEL na planta piloto em Búzios. A CEMIG também realizou outros aportes com fundos da FINEP e do Banco Mundial, não caracterizados nos seus relatórios junto à ANEEL.

Os pilotos buscaram representar para as concessionárias as diversas condições da operação de uma rede com digitalização mínima nos medidores dos clientes e nos religadores. Um quadro resumo na Tabela 3 traz os compromissos tecnológicos apresentados no processo de avaliação piloto pelas concessionárias, compilando

tecnologias e condições que se propuseram a evidenciar nos testes feitos.

Os relatórios de sustentabilidade de 2017 a 2019 das empresas de energia que realizaram os testes pilotos, apresentados em seus websites para seus investidores, não demonstram ampliações relevantes em seus parques de medição inteligente. Entretanto, apresentam dados financeiros de investimentos em telemedição e digitalização de alguns elementos de sua rede, como religadores. O grupo CPFL que não estava na lista de projetos pilotos de P&D, apresenta em seu relatório de sustentabilidade no ano de 2019, um piloto próprio de 20,3 mil medidores inteligentes instalados na cidade de Jaguariúna, sem outros dados sobre o projeto.

Tabela 3 - Quadro resumo de tecnologias abordadas nos projetos piloto - Fonte: revisão do status apresentado pela AES-ELETROPAULO [74]

Bloco	Tecnologia	Empresas de energia e Cidades piloto							
		EDP Bandeirantes	CEMIG	Light	Enel/Ampla	Amazonas Energia	Eletropaulo	Elektro	CELPE
		Aparecida do Norte	Sete Lagoas	Rio de Janeiro	Búzios	Parintins	Barueri	São Luís Paraitinga	Fernando de Noronha
Medição	AMI								
	Leitura remota de medição								
	Deteção e Notificação de falta de energia								
	Corte e Religa Remoto								
	Deteção de Fraudes								
	Qualidade da energia								
Segurança	Cyber Security								
	RF Mesh								
Telecom	PLC								
	Celular								
	Radio								
	RF PMP (plataforma ponto-multiponto)								
	WiMax/Satélite								
Automação	Volt-var								
	Self Healing								
GD	Religadores automáticos								
	Solar								
	Eólica								
Storage	Outra								
	Armazenamento de energia								
Consumidor	GLD (gerenciamento pelo lado da demanda)								
	Eletrodomésticos eficientes								
	Automação residencial								
	Privacidade de dados								
	Campanhas de comunicação								
	Pesquisas de mercado								

Análises detalhadas dos resultados apresentados nestes testes evidenciam grandes desafios enfrentados nos projetos piloto, em cada ponto em avaliação:

1. A medição e os medidores inteligentes no projeto:

- a)** as concessionárias foram desafiadas quanto ao pioneirismo em utilizar medidores inteligentes em suas redes. O projeto exigiu adequação e, muitas vezes, substituição completa de suas operações cotidianas, tendo que reestruturar/criar novas condições operacionais para os novos processos. Os pilotos foram também realizados durante as etapas de mudanças do período de concessão, competindo também internamente com reestruturações, mudanças acionárias e limitações de investimentos de forma geral;
- b)** a busca por inovação levou as concessionárias a apostar em medidores diferenciados, ainda em fase de testes funcionais ou com características únicas, incorporando módulos de comunicação diferenciados, sem maturidade operacional/tecnológica;
- c)** a oferta no mercado brasileiro de medidores inteligentes não homologados pelo INMETRO levou a condições de instalações duplas, colocando o novo medidor em paralelo com o medidor antigo, o que dificultou e encareceu a implantação de uma forma não planejada;
- d)** a certificação metrológica de medidores inteligentes com reconhecida qualidade operacional (de procedência internacional) somente foi iniciada ao final do período de implantação dos pilotos;
- e)** as concessionárias, com um novo procedimento na sua operação, tiveram consequências em suas gestões de implantação e de manutenção para os medidores inteligentes;
- f)** houve resistência dos consumidores com uma instalação nova em suas residências (muitas vezes judicializada), devido a uma comunicação inadequada de forma individual e também política, nas tratativas com a comunidade e o poder público nos locais definidos para os testes piloto;
- g)** decorrente da falta de maturidade dos medidores escolhidos e das condições de seus módulos de comunicação, e do sistema de telecomunicações envolvidos, e da continuidade do funcionamento dos sistemas de telecomunicações, os sistemas de gestão e gerência das medidas e dos medidores, AMI, não foram exercitados em seu potencial na maioria dos pilotos realizados. Níveis de serviços superiores²⁴ aos controles da medição foram

pouco explorados nas propostas dos projetos e exercitados somente teoricamente em um dos pilotos (no projeto piloto da Eletropaulo [74]);

- h)** não foram detectados nos relatórios informações sobre riqueza de parametrização e testes com tempos de medição, com tratamento de falhas de medidores e qualidade da energia de forma a reforçar o reconhecimento de ganhos com estas funções inerentes da medição inteligente. Reforça-se que as condições de implantação e da maturidade tecnológica dos equipamentos utilizados não permitiram uma evolução nas condições operacionais para uma rede elétrica inteligente, na maioria dos pilotos;
- i)** derivado de medições intermitentes, e de processos de gestão do piloto focados na estruturação física da solução, sistemas analíticos de tratamento dos dados de consumo e de qualidade da energia não foram eficazmente implementados e valorizados como sistemas potencializadores de resultados para o cliente e para a concessionária;
- j)** resultado ou não dos projetos piloto, a maioria dos clientes do grupo A das carteiras de clientes das concessionárias são telemedidos atualmente, com redes de comunicação que permitem um controle diferenciado de suas demandas. O custo desta operação é parte do negócio, assumido no processo de contratação dos serviços de energia, e considerando o montante de energia demandado por estes clientes. Estudos sobre resposta a demanda, mesmo para estes clientes não foram, entretanto, reportados;
- k)** muita dificuldade e desafios foram encontrados (nem todos sanados), no atendimento ao consumidor da zona rural devido às condições da rede e principalmente, quanto a tecnologia de comunicação prevista nos pilotos;

2. Segurança:

- a)** Acompanhando as condições de medição fragilizada, de um AMI com produtividade reduzida, testes de segurança preventivos e as condições de riscos foram pouco exercitados ou reportados;
- b)** As implantações e protocolos de comunicação estabelecidos, com uso de VPN e em alguns casos, criptografia, demonstram uma preocupação com o tema, porém, sofreram as consequências das instalações operacionalmente não concluídas como planejado;

²⁴ Seguindo o modelo clássico de camadas de serviços OSI da ISO, onde os dados obtidos na camada inferior, permitem o reconhecimento de situações de negócio diferenciadas na camada superior.

- c) A privacidade dos dados dos clientes, em alguns casos, foi exercida com a declaração de aceite de uso dos aplicativos de externalização dos dados propostos em alguns projetos. Internamente às concessionárias, não foi feita avaliação, ao menos relatada, do uso das informações de consumo compiladas ou individualizadas e a sua proteção específica contra mau uso.
 - d) Em diversos casos, o cliente forneceu autorização para a concessionária, de forma estimulada, para a implantação dos testes e autorizou/desautorizou a sua participação no piloto.
3. Automação:
- a) sofreu as consequências das instalações, porém, devido a quantidade menor de equipamentos, os testes puderam ser realizados de forma independente para religadores, e alguns processos de *self healing* se mostraram efetivos. A maioria das concessionárias brasileiras já incorporou estes dispositivos em suas redes e evoluiu seus sistemas de gestão de rede para esta tecnologia e para o acompanhamento de faltas e análises mais ágeis de alertas encaminhados pelos dispositivos;
4. Telecomunicações e comunicação entre medidores inteligentes e algum espaço de gestão da informação:
- a) Foram verificadas formas distintas de tratamento de telecomunicações nos projetos pilotos. Substancialmente, os pilotos realizados com a incorporação de estruturas próprias para a comunicação entre o medidor, equipamentos gerenciáveis, concentradores de comunicação, e centrais AML previstas e de gestão da operação;
 - b) Fica a constatação da necessidade de condução da gestão da comunicação como um serviço, com tratamento especializado e equipes que reconheçam completamente as condições da operação deste serviço. Este tema deve ser avaliado com todo o cuidado para a digitalização e culturalmente devem ser estabelecidos indicadores para a sua robustez. Somente isto garantirá a qualidade da medição e de resultados para as equipes de operação da energia. Assim, o reconhecimento das dificuldades e desafios encontrados e, de seus custos, arrefeceu ânimos e a continuidade de investimentos na digitalização. As condições verificadas nas investidas de implantação das malhas de comunicação para suporte aos serviços de digitalização apresentaram reverses em todos os pilotos e consumiram muito dos esforços dos projetos e de seus executores;
- c) As questões da obsolescência das redes de telecomunicações implantadas nos pilotos, de seus equipamentos, da manutenção e continuidade operacional, da gestão de serviços de forma profissional e dedicada, para a garantia dos negócios de energia, não foram apresentadas como resultados dos projetos. A estratégia de testes também não apresentou, na maioria dos casos, condições de oferta de serviços adicionais para os clientes consumidores, resultantes da implantação da infraestrutura de comunicação para a medição. Na maioria dos projetos, não foram feitas parcerias de serviços de telecomunicações com as operadoras locais, e buscou-se uma solução "*homemade*", com suas implicações e fragilidades, em toda a extensão da operação;
 - d) Estratégias de implantação de telecomunicação para os serviços de energia precisam ser avaliadas e/ou incentivadas, e/ou reguladas, para uma digitalização mais eficaz e universal dos elementos das redes de energia;
 - e) As questões de sincronidade das leituras e de *timestamps*¹⁵ para garantia de sistemas analítico-preditivos não foram abordadas (não encontramos referências se foram previstas);
5. GD e *storage* (armazenamento de energia):
- a) Não foram abordadas condições de intermitência da geração de forma extensiva nos projetos, embora quase todos os projetos tenham feito a inserção de autogeração nos estudos. O volume de geração inserida foi puramente demonstrativo, o que não caracterizou condições de grandes interferências nas condições operacionais, segundo reportado;
6. Fornecedores:
- a) Todos os projetos reportaram situações desafiadoras quanto a fornecimento de insumos (medidores, sistemas, telecomunicações), de serviços, de manutenção e com a condução das condições de implantação decorrentes das condições de fornecimento e atrasos;
7. Consumidor:
- a) Situações de relacionamento com o cliente ocorreram em diversos projetos, com a preocupação em todos de realizar campanhas de comunicação para o esclarecimento das novas condições de modernização das redes;

- b)** As informações de consumo apresentadas (em *displays*, em aplicativos, no *website* da concessionária ou em mensagens para o cliente), em muitos casos, não foram motivadoras para o cliente/consumidor, segundo pesquisas nos pilotos que chegaram a fazer esta análise. Historicamente o consumidor brasileiro não tem o conhecimento intrínseco de como é tarifado e do valor do kWh para seus equipamentos residenciais. Portanto, ao fornecer informações sobre consumo, a educação sobre o uso da energia deveria estar presente, e as interfaces de uso pensadas no fortalecimento deste conhecimento.

A eficiência de consumo foi utilizada em alguns projetos como parte do Programa de Eficiência Energética- PEE, regulado pela ANEEL, para clientes enquadrados na tarifa social de eletricidade. Os resultados, não perenes, segundo poucas demonstrações apresentadas, não retratam coerência com avaliações possíveis com a digitalização introduzida com a medição inteligente, nem como avaliação anterior e posterior de uma campanha de melhoria da eficiência;

- c)** Os aplicativos fornecidos não geraram todo o interesse inicialmente alocado a eles pelas concessionárias. Normalmente, isto ocorre por desconhecimento das necessidades e intenções de uso do cliente, de sua educação nos conceitos apresentados, na forma e estímulos gerados, e na efetividade da comunicação e facilidades de uso. Simplesmente fornecer uma nova forma de visualizar a informação da energia consumida pode não trazer interesse ao cliente;
- d)** O reconhecimento da demanda foi prejudicado na grande maioria dos pilotos, não atendendo a uma expectativa de análise esperada do reconhecimento do perfil de uso dos consumidores;
- e)** Uma questão bastante sutil, e uma pequena parte do potencial disruptivo da digitalização com rede elétrica inteligente é a possibilidade de se ter um balanço energético local (quantidade de energia injetada na rede versus quantidade de energia consumida) e poder realizá-lo a todo momento de forma determinística, consolidando todo o conjunto da energia da distribuidora, sem erros estatísticos devidos às leituras atuais, que são manuais e feitas em dias e horários diferentes. Com leituras manuais²⁵, em dias e horários diferentes em uma mesma região, não se garante a acurácia do balanço e a detecção de vazamentos de energia na rede (por fraudes dos clientes ou por problemas técnicos). Neste contexto, em nenhum dos projetos, foi reportada análise de informações

da consolidação da medição (faturamento) nem do reconhecimento das condições efetivas e momentâneas da demanda e do balanço energético regional.

Como salientado, os projetos focaram no reconhecimento da tecnologia, resultando ou não em conhecimento aplicável, como demonstrado nos relatórios individuais. A análise financeira dos resultados obtidos, com foco no retorno do investimento realizado, foi frágil, não caracterizando modelos de negócio replicáveis a partir das condições apresentadas, e principalmente, com os desafios estruturais encontrados e que sugaram recursos (tempo, humanos e financeiros). Modelos de parcerias para as questões de conectividade e comunicação de medidores também não foram exercitados, ao que se sabe, depois da conclusão dos pilotos.

5.2 Estudos realizados no Brasil para direcionamento de Redes Elétricas Inteligentes

Somente dois estudos sobre a digitalização/redes elétricas inteligentes no contexto das empresas de energia apresentaram sistematizações nacionais:

- Programa Brasileiro de Redes Elétricas Inteligentes – Projeto Estratégico ANEEL (ABRADEE/APTEL). Chamada nº 011/2010 da ANEEL – 2010-2014
- Mapeamento da Cadeia Fornecedora de TIC e de seus Produtos e Serviços para Redes Elétricas Inteligentes (REI) – conduzido pela ABDI/APTEL, 2014-2016

O primeiro traz uma lista de requisitos teóricos para a implementação das redes inteligentes, com viés de análise de infraestrutura necessária para a modernização, com desafios não concretizados de desenhos de cenários de negócios que permitissem uma evolução ou direcionamentos da agência ANEEL para a regulação. A dinâmica operacional das concessionárias de energia brasileiras não garantiu aval para uma discussão mais ampla em termos regulatórios, principalmente devido a questões econômicas envolvidas. Foi o fato gerador dos projetos piloto, para que as concessionárias pudessem vivenciar seus desafios tecnológicos em suas redes, operação e condições regionais.

O segundo buscou trazer um olhar para a macroambiência necessária à implantação de modelos de modernização das redes, buscando mapear as condicionantes da cadeia produtiva nacional para suportar as necessidades de operação de um negócio com inteligência nas redes de energia. De alguma forma trouxe luz à necessidade de interoperabilidade de planejamento entre os diversos

²⁵ Veja item 3.3 deste documento.

mecanismos governamentais para que um passo pudesse ser dado para uma implantação/estímulo estratégico de modernização da estrutura vigente no setor de energia. A coexistência necessária entre o regulador de energia e o regulador de telecomunicações, e o planejamento necessário da indústria nacional para responder as possibilidades promissoras deste mercado foram estudados. Numa conta simples, na época do trabalho (2014), 65 milhões de pontos de medição no país a serem trocados, a um custo de R\$ 1.000,00 por ponto por equipamento/sistemas de gestão, representaria no mínimo a movimentação de R\$ 65 bilhões, sem considerar os custos e recursos humanos para a manutenção e operação mensal. Os valores atuais são ainda mais atrativos para uma movimentação de capital e geração/modernização de empregos.

Os dois trabalhos reforçaram questões vitais de estabelecimento de padrões a serem adotados para uma homogeneidade das soluções do ponto de vista de integração nacional, considerando inclusive as questões de troca de informações entre concessionárias e os órgãos reguladores. O desenvolvimento e fomento da cadeia produtiva nacional, com soluções escaláveis e aderentes as questões regionais, também foram realçados, principalmente nos trabalhos da ABDI.

As questões de privacidade da informação, individualizada ou processada, a segurança cibernética e o armazenando de dados não foram, entretanto, tratados com a relevância que se apresentam hoje. *Machine learning* e *deep learning* estavam incipientes no mundo durante a elaboração dos trabalhos e, portanto, não tiveram presença nas abordagens feitas.

GD também teve pouca ênfase devido ao momento tecnológico em que os trabalhos foram desenvolvidos. Hoje, segundo os registros da ANEEL, a crescente instalação de GD no país exigirá uma atuação diferenciada no tratamento dos dados e na intermitência desta geração como reflexo nas redes de distribuição (ver dados na Tabela 4).

Essa crescente instalação de GD no país deve-se à Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 [28] que regulou o que se passou a chamar de sistema de compensação, no qual “o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade”.

Tabela 4 – Conexões GD no Brasil (Fonte: ANEEL – 20/11/2020)

Ano	Qtd GD	UCs receberam créditos	Potência instalada (kW)
2008	1	2	25,00
2009	2	2	23,20
2010	6	7	40,02
2011	4	7	81,00
2012	6	7	467,22
2013	59	72	1.494,66
2014	307	335	3.484,41
2015	1.463	1.736	11.399,61
2016	6.759	7.698	65.498,12
2017	13.974	21.970	155.667,38
2018	35.589	46.286	420.442,32
2019	121.158	157.347	1.550.891,32
2020	154.054	189.838	1.951.237,01
Total	333.382	425.307	4.160.751,27

Trata-se das micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

Segundo a ANEEL [28], “os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética”, estabelecido com o sistema de compensação (*net metering*), somente acrescido nas recomendações em 2017. Entretanto, reforça-se, ainda não estão estabelecidas diretrizes ou normas para a privacidade, segurança de dados coletados ou gestão inteligente destes medidores com GD. Ressalva-se também que a inteligência de comunicação, de geração de dados e a leitura inteligente dos medidores não é parte das especificações dos padrões adotados pelas concessionárias de distribuição para a incorporação de GD em suas redes.

As concessionárias estão com a função de definir seus padrões de conectividade com a rede e de realizar auditoria das instalações realizadas pelos seus consumidores, seguindo normas brasileiras de conexão (ABNT):

- ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR 16150:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade Equipamentos e instalações de micro e mini geração distribuída - Normativas Técnicas;
- ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.

Estas normas ainda não estabelecem parâmetros para redes de gestão inteligente dos medidores.

5.3 A experiência e projetos com as cidades inteligentes e IoT no Brasil

Segundo a ABDI [75], “a transformação das cidades na economia global se intensifica com maior ou menor escala em função da densidade da ocupação humana e fisionomia urbana. A concentração de pessoas e a velocidade dos processos se apresentam como desafios e oportunidades para que governos, empresários e acadêmicos colaborem entre si na busca de novas soluções criando uma dinâmica de desenvolvimento econômico baseada na busca e compartilhamento de conhecimentos e na propagação das inovações. As tecnologias de informação e comunicação (TIC) fornecem os meios para o monitoramento e gerenciamento dos serviços e recursos das infraestruturas urbanas. Para a criação das cidades inteligentes, as tecnologias devem estar prontamente integradas, conectando diferentes sistemas em distintas organizações. Devem fornecer interfaces adequadas para que os indivíduos possam se interagir com o desenvolvimento urbano, por meio de serviços digitais e para que o poder público possa atuar de forma preventiva na vida cotidiana. As possibilidades atuais proporcionadas pela digitalização contribuem para a criação de novos canais de comunicação entre os cidadãos, empresas e o poder público, a melhora da eficiência na gestão das infraestruturas públicas e possibilita a implementação de práticas de governança na identificação de oportunidades e no enfrentamento dos múltiplos problemas que afetam o cotidiano das grandes cidades na atualidade.”

Com a evolução das cidades inteligentes, os cidadãos deverão ficar mais dependentes dos serviços digitais. Soluções com altos níveis de confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados, como também a autenticação de usuários e dispositivos deverão estar presentes nos serviços fornecidos. As questões de privacidade dos cidadãos também são essenciais. A complexidade dos espaços urbanos e suas infraestruturas inteligentes requerem um enfoque estratégico na segurança das cidades. As melhores práticas observadas nas metrópoles globais apontam para a criação de centros urbanos de controle centralizados, praticando uma gestão preventiva dos movimentos urbanos rotineiros, integrados com outros setores em diferentes níveis.

“Uma Cidade Humana, Inteligente, Criativa e Sustentável (CHICS) é aquela que faz uma gestão integrada, integral, sistêmica e transversal de suas cinco camadas: as pessoas; o subsolo; o solo; a infraestrutura tecnológica; e as plataformas: Internet das coisas, Inteligência Artificial e Blockchain, construindo uma cidade boa para viver, para estudar, para trabalhar, para investir e para visitar, de forma sustentável, criativa e com alta qualidade de vida.”
(IBCIHS, 2018) [12]

Segundo IBCIHS [12], “as CHICS possuem cinco camadas a serem trabalhadas: pessoas, subsolo, solo, infraestrutura tecnológica, e plataforma de IoT (Internet das Coisas).

A primeira camada da CHICS, e mais importante, se desenvolve com o alinhamento das necessidades das pessoas, utilizando seu potencial criativo para desenvolver novos mercados para a economia da cidade respeitando e cuidando do meio ambiente, utilizando a tecnologia para facilitar as conexões e para melhorar os serviços, garantindo assim que a cidade se torne um ecossistema sustentável e que melhore a qualidade de vida e o índice de felicidade da sociedade, de maneira perene. A segunda camada é o subsolo da cidade. É fundamental que a cidade monte seu Plano Diretor de Subsolo, entendendo como ele funciona e por onde passam suas redes de água, esgoto, telefonia, energia, fibra ótica, etc.. A terceira camada é o solo. Nesta camada, deve-se pensar todos os aspectos urbanos, como a reurbanização das cidades. A quarta camada é a infraestrutura tecnológica. Uma infraestrutura tecnológica adequada para uma cidade inteligente é composta de um parque de iluminação inteligente, uma rede de fibra ótica, e uma central de operações da cidade. A quinta camada é a plataforma de IoT (Internet das Coisas), por meio da qual a inteligência artificial trabalha os dados, emitindo relatórios gerenciais para a gestão da cidade, bem como atua para a gestão de todo o complexo tecnológico da cidade, como o sistema semafórico inteligente, a segurança pública, a educação, a saúde, e etc..”

Num espaço mais regionalizado que o das empresas de distribuição, as cidades inteligentes interferem no modelo de energia tradicional e tem seu microcosmo de gestão (conflitante ?)/participativo(?) com o negócio de energia.

Ainda segundo IBCIHS [12]: “uma CHICS usa tecnologias de informação e comunicação (TIC) para transformar a rede elétrica pública em inteligente com iluminação LED e controlar seu consumo, controlar o consumo de água, adotar uma gestão de resíduos mais eficiente, implantar edifícios inteligentes e melhorar a mobilidade urbana, entre outras ações. A Rede Elétrica Inteligente também incorpora sensores que monitoram e coletam dados como consumo de energia e de água, meio ambiente, tráfego, segurança, educação, saúde etc., que são comunicados via conexões com ou sem fio, e administrados de forma integrada pela plataforma de Internet das Coisas (IoT). Essa grande quantidade de dados (Big Data) que é gerada nesse sistema é analisada para ajudar a prefeitura municipal, as empresas, e seus moradores a tomarem as melhores decisões sobre suas necessidades.”

Muitas cidades brasileiras, com projetos ainda não integrados, mas com conceitos de inteligência e criatividade para tratamento de problemas urbanos, buscam o protagonismo e imagem como cidades inteligentes. As condições de planejamento e controle tecnológico, administrativo, monitoramento e operação com resultados centralizados ainda não são totalmente evidentes, salvo algumas abordagens, ainda fragmentadas. A iluminação pública, transferida para o controle municipal é um caso especial e motivador para muitas cidades no início de suas integrações de serviços, considerando a necessidade de assumir o controle do tema, a possibilidade de economia com a atualização da infraestrutura existente e monitoramento constante das novas instalações realizadas, compartilhamento social da comunicação instalada para o monitoramento e inclusive, com a implantação de GD para suprir as necessidades da iluminação (por postes ou “centralizada” em espaços públicos).

O documento de referência com projetos de digitalização na rede [2] traz diversos exemplos (como [38], [40] e [41]), com condições urbanas demandantes de sensoriamento, informações e GD para suporte as necessidades locais, com gestão local de recursos e interatividade com as empresas de distribuição para suprimento complementar das necessidades de energia. E, direciona como esta interação inteligente de energia deve ser gerida e integrada na governança, na segurança, privacidade e nas relações com os cidadãos-consumidores.

5.4 A conectividade de dados no Brasil

Vale registrar o acesso do brasileiro à rede de dados como uma referência do potencial de TIC e dos desafios da digitalização, representados nas Figura 11 e Figura 12. Com este acesso, questões de conectividade e integração de TIC podem ser abordadas para a digitalização num pensamento de compartilhamento de infraestrutura e serviços associados de conectividade e gestão da comunicação já existentes das operadoras de telecomunicações com as concessionárias em digitalização de suas redes. A construção de novos aparatos, como já mencionado, traz à tona toda a questão de obsolescência de ativos, de fornecimento e recursos (humanos e materiais) necessários para a comunicação efetiva entre os elementos da rede de energia, mas traz também a obsolescência das estratégias de verticalização do negócio culturalmente enraizadas no Brasil e no mundo.

Fica evidenciado o desafio de se atender com a digitalização da energia às áreas rurais e pequenos aglomerados urbanos mais afastados dos grandes centros (com sistemas de comunicação hoje ainda considerados onerosos).

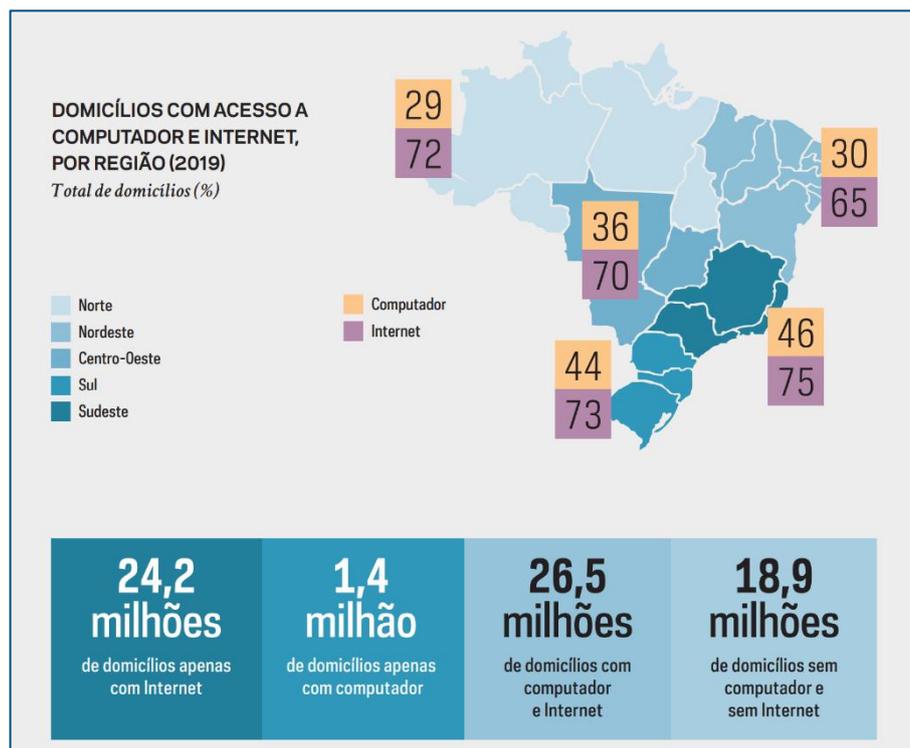


Figura 11 – Domicílios brasileiros com acesso à internet, por região (Fonte: CGI.br [76])

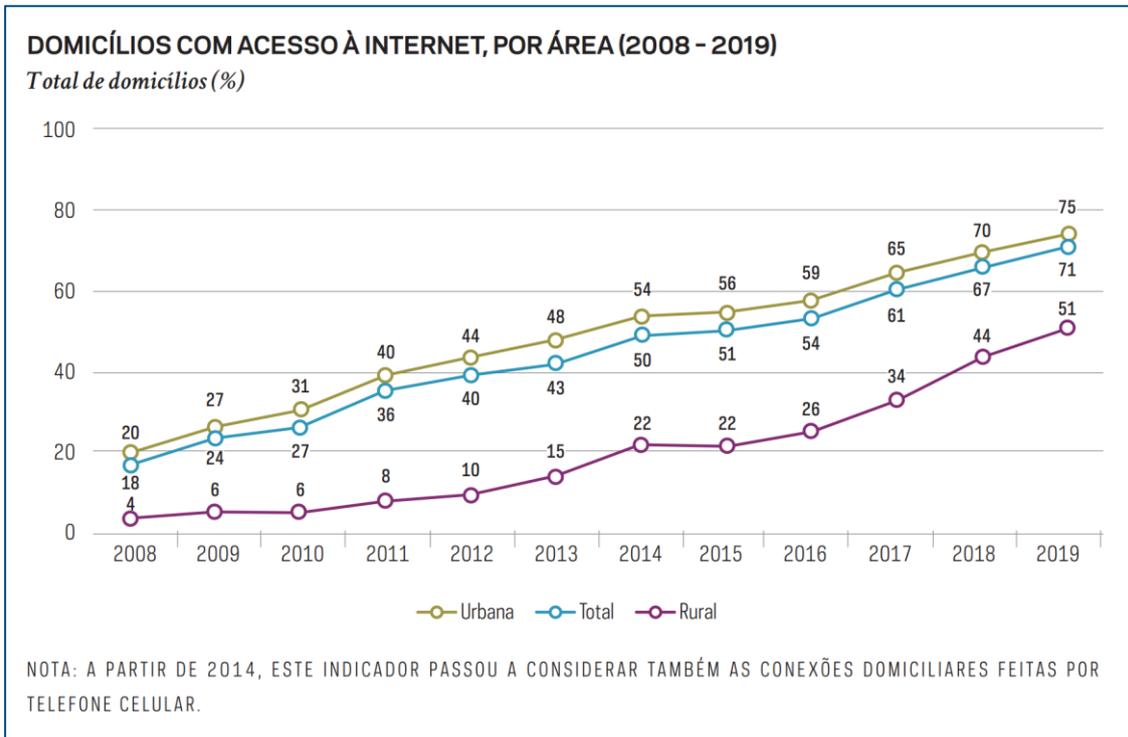


Figura 12 - Acesso à internet por domicílio, por área (Fonte: CGI.br [76])



6. O comportamento do cliente/consumidor e o reconhecimento do uso da energia inteligente

“Technical issues can and have all been overcome where there is the political will to do something. Consumers can potentially help drive this political will.”

*Dr. Pramod Deo,
former Chairperson, Central Electricity Regulatory Commission, India*

6.1 Eficiência energética residencial como resultado da conscientização pelo uso da energia

Criar produtos e soluções com foco no cliente e com uma visão ampliada do negócio será um grande desafio a ser vencido pelas concessionárias neste novo paradigma, de decisões estratégicas e de investimentos com a digitalização mais presente e necessária em suas redes. Será ainda maior o desafio de comunicar devidamente à população sobre as novas situações: de implantações realizadas, sobre a gama de possibilidades no entendimento do consumo individual e comunitário, na

mudança cultural do uso da energia e na busca de eficiência necessária, por cada unidade consumidora. Desafio, esse, de transformar e agregar o consumidor como corresponsável pelo uso eficiente da energia e posicioná-lo como coparticipante do desenvolvimento e das consequências do uso não controlado de recursos. Este desafio teve que ser vencido nos países onde foi feita troca massiva de medidores e a população teve que ser efetivamente comunicada de sua parcela de participação no processo de eficiência residencial e consciência de uso da energia. Além de uma comunicação direta com o consumidor, diversos aplicativos, jogos e ações comunitárias foram realizadas como ações motivacionais (exemplos podem ser encontrados em [77] e [78]).

Este desafio pôde ser representado em um modelo de condicionantes a serem avaliadas, de forma não totalmente exaustiva na Figura 13. A figura traz diversos pontos de atenção para a transformação do cliente brasileiro e nos serviços oferecidos como uma *commodity*.

Ganhos com a prestação de serviços, a venda de equipamentos e periféricos, a manutenção residencial e serviços de telecomunicações são realidades vivenciadas em diversos países. As restrições e falta de incentivos impostas pela regulamentação e pela legislação brasileiras precisam ser equacionadas, considerando que a oportunidade de negócios diferenciados para as distribuidoras pode ser uma das condições para suportar os investimentos que devem ser feitos para a promoção desta digitalização e para a sua viabilidade e para um novo mercado de fornecimento de soluções e serviços, por novas empresas. Avaliar possibilidades para viabilizar investimentos é, entretanto, um trabalho a muitas mãos, envolvendo os setores governamentais, as distribuidoras, a academia, as empresas fornecedoras e a sociedade.

As possibilidades técnicas disponíveis atualmente e casos reais de ampliação do desempenho possível quanto a eficiência de uso da energia, exigem um caminho novo e um reconhecimento de novas condições de negócio. Em um primeiro momento, a eficiência que pode gerar a diminuição das receitas das distribuidoras, deve ser avaliada com um novo momento de mercado.

A necessidade de ampliar receitas deverá levar, por consequência, a um caminho sem volta no entendimento dos diferentes desejos e na capacidade de decisão pelo mercado residencial para serviços e produtos novos. Considerando, entretanto, que esse mercado é pouco conhecido, a sua abordagem deve gerar uma grande (re)evolução, reorganização e uma dimensão não estruturada atualmente. Devem ser repensadas as formas

de comunicação com o cliente, considerando o perfil de clientes, portanto, a necessidade de segmentação de comunicação e de ofertas de serviços possíveis para cada segmento. O modelo de negócios terá que ser, portanto, revisto. Sistemas analíticos para o tratamento de dados serão cada vez mais necessários, por exemplo, para a detecção de demandas regionais, a análise de reclamações ou de contatos de clientes sobre assuntos semelhantes e a possibilidade de prestação de serviços, como de revisão das instalações elétricas ou instalação de GD.

Considerando os caminhos trilhados na Europa com a digitalização e o consumidor como parte dos resultados dos projetos implantados, vale entender as condições (resultados, desafios, soluções, situações críticas) apresentadas nos primeiros projetos e a sua evolução. Em 2011, nos projetos implantados compilados em JRC (Joint Research Centre) [77], os resultados apresentados trouxeram também a visão do consumidor e os desafios enfrentados:

- A implantação de 32 milhões de medidores inteligentes na Itália representou um primeiro exemplo dos resultados potenciais de uma implantação nacional. O grande teste de mercado realizado no início de 2008 mostrou que a implantação de medidores inteligentes e monitores domésticos (para a informação da energia consumida a cada momento e o custo de energia) incentivou 57% dos clientes envolvidos a mudarem seus comportamentos (29,3% adiaram o uso de eletrodomésticos para a noite, considerando custos mais baixos da energia oferecidos em períodos noturnos); 11,9% evitaram o uso simultâneo de aparelhos diferentes; 7,5% desligaram os aparelhos em vez de deixá-los no modo de *standby*; 6,6% usaram menos a linha branca) (Telegestore, empresa de energia italiana);

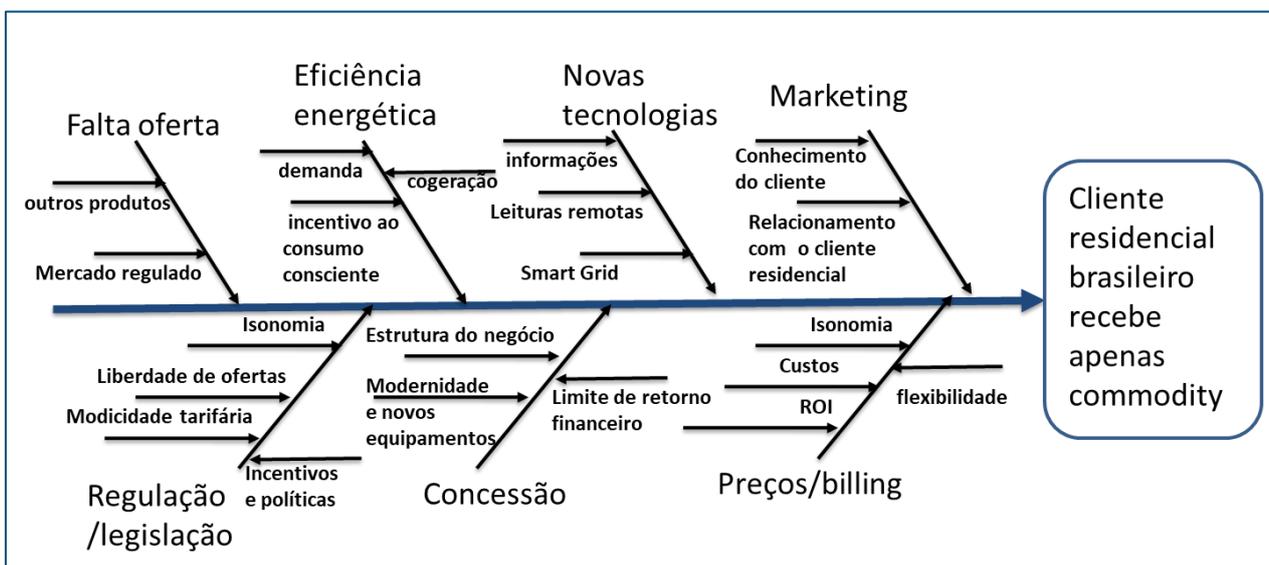


Figura 13 – Representação gráfica de condicionantes do relacionamento do consumidor de energia brasileiro atual (Fonte: autor)

- No projeto *Storstad Smart Metering* na Suécia, a implantação de cerca de 370.000 medidores inteligentes contribuiu para uma mudança significativa no interesse do cliente em seu consumo de eletricidade. Os contatos do cliente com a distribuidora para questionamentos em relação às leituras do medidor ou leituras estimadas diminuíram significativamente (aproximadamente 60%) e foram substituídos por contatos mais relacionados ao consumo de energia ou uso de energia;
- A introdução do preço da energia segundo a hora encorajou os consumidores a mudar o seu consumo de forma a reduzir as suas faturas (alterando ou diminuindo o seu consumo). As previsões desenvolvidas pelo projeto GAD (*Gestión Activa de la Demanda*) (Iberdrola, Espanha) mostram que um consumidor normal poderia economizar até 15% do seu consumo total de energia;
- Na Itália, buscou-se a introdução de tarifas de energia baseadas no período do dia ou horário, objetivando reduzir o consumo de energia em 5-10%. Obteve-se a mudança de 1% da demanda de energia para horários de baixa carga (fora-pico) (projeto Telegestore, italiano). Outros projetos em implantação em 2011 buscavam maiores benefícios ainda para os consumidores;
- O desenvolvimento de estruturas e tecnologias, como medidores inteligentes e suas redes de comunicação e informação, pode fomentar o surgimento de novas parcerias em que os clientes se tornaram geradores e, portanto, venderam sua energia gerada. Os modelos de negócios testados no âmbito do projeto EU Deep mostraram que é possível, em condições específicas de mercado, administrar negócios de compra/venda de energia (chamados de agregadores²⁶) que podem gerar economia de até 3% da conta anual de eletricidade (projeto EU Deep);
- Com a implantação dos medidores inteligentes, o tempo de correção do faturamento e liquidação foi reduzido de 13 para 2 meses (uma situação própria da forma de pagamentos e faturamento europeus). O prazo de entrega das leituras dos medidores para os fornecedores foi reduzido de 30 dias para 5 dias (Projeto AMR).

A relação com os consumidores e plataformas de mercado de eletricidade (comercialização da energia) são apresentadas nas lições aprendidas pelo JRC com projetos de Redes Elétricas Inteligentes na Europa [77]:

- O surgimento de duas classes de pequenos consumidores - ativos e não ativos - e a crescente importância dos agregadores podendo levar a subsídios cruzados inesperados: com os agregadores²⁶ potencialmente prejudicando os negócios dos varejistas, os varejistas podem tentar recuperar as perdas por meio de taxas mais altas na venda da energia para os consumidores não ativos (Projeto ADDRESS - da Enel);
- A lucratividade das plataformas de comercialização da energia depende do envolvimento do consumidor. Quanto mais os consumidores aderirem, maior será o valor comercial da plataforma. É imperativo garantir benefícios tangíveis, privacidade e fácil acesso para os consumidores; e conceder acesso aberto e concorrência justa entre os participantes do setor de energia;
- Os resultados dos projetos confirmam que os dispositivos (como *smart metering*) e agregadores de gerenciamento de energia podem fornecer aos consumidores incentivos mais eficazes e atraentes para aproveitar as oportunidades de eficiência, conservação e sustentabilidade oferecidas pelas novas tecnologias de *Smart Grid*.

Ainda como desafios enfrentados na implantação dos primeiros projetos europeus [77], resultou a lição da **necessidade oferecer benefícios claros e tangíveis para envolver os consumidores**. No entanto, todo o sistema precisa estar instalado para oferecer a maioria dos benefícios e, para esse fim, é necessária a participação total do consumidor. Para resolver esse impasse, o ponto de partida é garantir que os consumidores tenham confiança e compreensão em todo o desenvolvimento do *Smart Grid*. Buscou-se envolver os consumidores desde o início nos testes e demonstrações, para garantir os primeiros usuários engajados antes de passar para a implantação em grande escala e, para dar aos consumidores a liberdade de escolher seu nível de envolvimento.

Atenção especial foi dedicada às necessidades dos consumidores vulneráveis (com condições sociais restritas). Considerando as condições climáticas diferenciadas na Europa, a garantia de energia para aquecimento e iluminação mínimas foi uma questão essencial com a implantação de medição inteligente. Diversas ações foram executadas com este segmento de consumidores. No Brasil, esta situação deve ser estudada para implantações socialmente responsáveis.

²⁶ Um agregador é um agrupamento de participantes em um sistema de energia (ou seja, consumidores, produtores, prossumidores ou qualquer combinação destes, sem restrição do tamanho destes participantes, em termos da energia consumida ou gerada) para atuar como uma única entidade junto aos mercados de comercialização de energia (tanto no atacado quanto no varejo) e até na venda de serviços para a distribuidora.

Um conjunto eficaz de atividades de marketing e divulgação foi essencial para o sucesso de projetos centrados no consumidor, para combater as percepções negativas do consumidor e para construir confiança e compreensão entre o consumidor, a concessionária/consórcio, e as tecnologias inteligentes.

As condições de engajamento dos clientes nos Estados Unidos também se assemelham às condições europeias, com modelos talvez um pouco mais agressivos do ponto de vista mercadológico, para o envolvimento do cliente com um outro perfil de consumo e visão das condições energéticas, que os do velho mundo [79] (os consumidores americanos consomem mais energia e eletroeletrônicos que os europeus e exigem um conforto térmico em casas muito maiores). Entretanto, os projetos repetem e reforçam os ingredientes principais para engajamentos bem-sucedidos feitos em rede inteligente:

- **Educar os clientes antes da implantação:** coloque-se na mentalidade do consumidor: recebendo - alguns podem dizer, confrontado - com uma nova maneira de pensar sobre o gerenciamento de energia doméstica - agora os consumidores podem começar a gerenciar proativamente a eletricidade que usam. Essa mudança na forma de como os clientes se relacionam com a energia requer uma abordagem proporcionalmente completa e esclarecedora, para aumentar a sua conscientização sobre os medidores inteligentes e os benefícios que eles oferecem;
- Antecipar e responder às perguntas antes que os clientes as façam;
- Facilitar o envolvimento da comunidade;
- Comunicar maneiras de mudar o uso da energia fora do pico;
- Implantar um portal amigável na web;
- Oferecer tecnologia habilitada para rede inteligente de fácil utilização, no caso dos Estados Unidos, termostatos conectados à rede são bons exemplos, devido as condições climáticas;
- Criar testemunhos autênticos de clientes.

Ficou claro também que existiu a necessidade de se entender o cliente, e que existem diferenças e necessidades específicas de determinados grupos, classes e regiões. A segmentação dos consumidores foi e é necessária para compreender as interações com os consumidores e os seus comportamentos, até dependentes da idade, e as mídias sociais também foram usadas nas interações.

Estas são lições e caminhos já trilhados, que podem garantir atalhos para as implantações brasileiras, com a co-participação do consumidor. Este entendimento foi reconhecido em alguns dos pilotos desenvolvidos, que se preocuparam em interagir com o cliente (Barueri [74] e Fernando de Noronha [64]). A eficácia destas ações elencadas nestes dois projetos, deve ser avaliada com cuidado, pois não foram completadas etapas de acompanhamento do consumo posteriores ao projeto ou gerados indicadores que representem as mudanças de comportamento esperadas.

Numa análise mais recente dos resultados dos projetos com rede elétrica inteligente na Europa, agora mais maduros [78], ficou clara a oferta de novos serviços e principalmente a de novos participantes no mercado de energia. A categoria “*stakeholders* emergentes” inclui uma ampla gama de organizações caracterizadas por diferentes negócios principais, objetivos, modelos de negócios e presença no mercado. Esta abordagem é trazida neste momento, pois podem ser gerados possíveis novos negócios no Brasil, segundo a evolução regulatória permitir ou direcionar esforços. Segundo JRC [78], estas organizações foram agrupadas em dois grupos principais.

- Organizações que oferecem soluções e serviços relacionados à geração, fornecimento, distribuição de energia ou outros serviços de energia (como resposta à demanda e eficiência energética). Essas organizações podem ser novos participantes no cenário da rede elétrica inteligente ou organizações existentes que oferecem novos produtos ou serviços e, portanto, se envolvem com o mercado de energia de uma forma diferente dos atores tradicionais (DSOs, comercializadoras, etc.). As organizações neste grupo incluem atores que fornecem serviços integrados (por exemplo, provedores de serviços de gestão de energia que oferecem gestão de demanda como parte de um contrato de serviço de energia) ou serviços que permitem maior participação do consumidor (por exemplo, agregadores²⁶, provedores de serviços de gestão de energia). Esses atores visam promover e facilitar a participação do cliente, permitindo que os consumidores se envolvam com a energia de novas maneiras (por exemplo, plataformas de gestão de energia operadas e controladas remotamente, aparelhos inteligentes ou comércio de energia ponto a ponto).
- Organizações que mais recentemente começaram a colaborar com atores tradicionais de redes inteligentes para implementar soluções inteligentes em nível local, como serviços públicos municipais, associações entre grupos de residências, fornecedores de soluções de

transporte, cooperativas/consórcios de energia, com foco em iniciativas da comunidade para o tema energia. As partes interessadas emergentes colaboram amplamente com instituições públicas para atingir vários objetivos, como o aumento da eficiência energética em diferentes segmentos de usuários finais (industrial, comercial, residencial, incluindo habitação social), maximizando o uso de fontes de energia renováveis (por exemplo, através fontes renováveis de energia geridas pela comunidade) e o desenvolvimento de abordagens inovadoras para o envolvimento dos cidadãos, para garantir o desenvolvimento sustentável a longo prazo.

Ainda no sentido de possibilidades em eficiência energética e resposta a demanda, projetos europeus tiveram foco em pontos do relacionamento com o consumidor, visando deslocar o consumo para outro momento (resposta à demanda) e projetos que visaram reduzir o nível de consumo de energia, prestando o mesmo serviço e sem afetar o nível de conforto (conservação/eficiência energética), com objetivos principais em:

- Desenvolvimento de soluções e serviços de TIC para resposta à demanda e eficiência energética;
- Implementação de iniciativas e soluções para incentivar os consumidores residenciais, comerciais e industriais a modificar o seu nível e padrão de utilização de energia;
- Capacitação dos consumidores de energia (incluindo consumidores socialmente vulneráveis) por meio da implementação de serviços habilitados para medição inteligente e iniciativas de conscientização.
- Resposta à demanda e gerenciamento de energia nas comunidades e grupos de usuários agregados.

Vale ressaltar a importância estratégica do tema energético e das condições que envolvem o consumidor no plano de pesquisas sobre energia da UE - *European Strategic Energy Technology (SET) - Plan*, que visa suportar as necessidades energéticas e metas previstas para 2050, apresentado na Figura 14.

E encantar o cliente pode ser a forma de trazê-lo a participar efetivamente do processo de digitalização das redes e no entendimento do potencial de serviços e condições de uso da energia na sua residência (horários de uso, quantidade de aparelhos ligados simultaneamente, eficiência dos aparelhos, etc.), por exemplo. No projeto Enera [37], apresentado com benchmarking no estudo sobre as experiências alemãs [2], diversos aplicativos e formas de apresentar a energia, custos e consumo foram utilizados para o feedback do cliente, de forma minimamente invasivos (como um espelho com informações da energia), lúdicos (como um ursinho que brilha em cores segundo o nível de preço da energia), aplicativos que tem informações de consumo de equipamentos inteligentes na casa, aplicativos que demonstram a energia consumida e fazem projeção de economias possíveis. Estes exemplos citados estão apresentados na Figura 15. Para Enera, a chave para uma transformação de sucesso reside em três tópicos: rede, mercado e dados. Na rede, novas tecnologias abrem novas oportunidades para controlar o equilíbrio entre a geração e o consumo de energia de forma inteligente e automatizada.

Energy Union <i>Research, Innovation and Competitiveness Priorities</i>		SET Plan 10 Key Actions
No1 in Renewables		1 Performant renewable technologies integrated in the system 2 Reduce costs of technologies
Consumers in the Energy System		3 New technologies & services for consumers 4 Resilience & security of energy system
Efficient Energy Systems		5 New materials & technologies for buildings 6 Energy efficiency for industry
Sustainable Transport		7 Competitive in global battery sector and e-mobility 8 Renewable fuels and bioenergy
Carbon Capture Utilisation and Storage		9 Carbon Capture Storage / Use
Nuclear Safety		10 Nuclear safety

Figura 14 - Ações foco para o desenvolvimento energético europeu (Fonte: SETIS - <https://setis.ec.europa.eu/>)

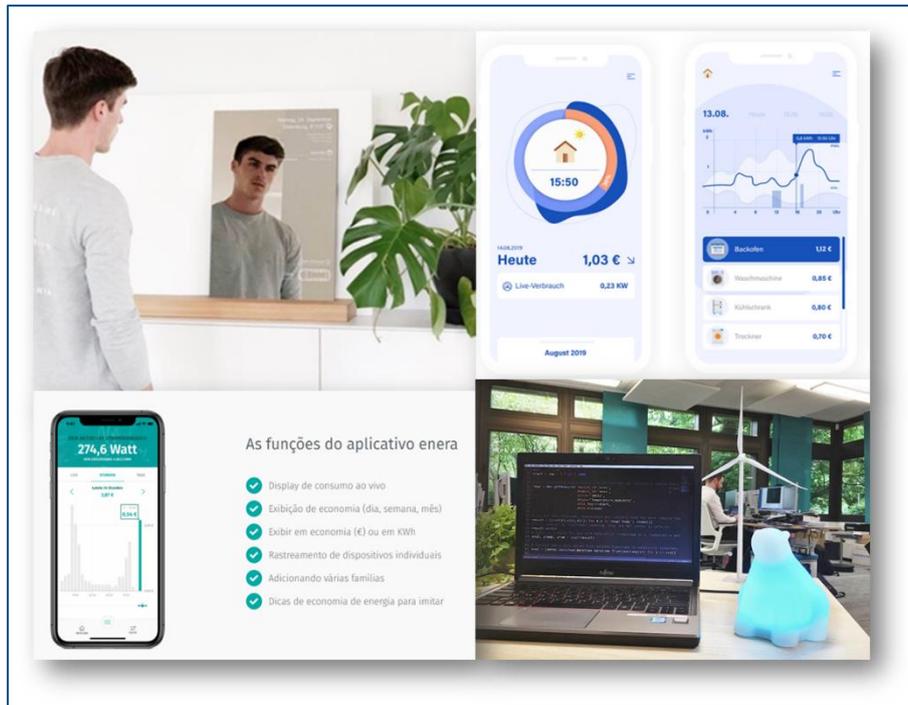


Figura 15 - Exemplos de aplicações para encantar o consumidor no engajamento do uso da energia no projeto Enera [37]

6.2 O uso da tecnologia e digitalização para clientes livres/cativos no Brasil

O consumidor ainda não está evidenciado como foco importante de análise, nem as possibilidades de eficiência energética no Plano Nacional de Energia - PNE 2030 [9]. Entretanto, no Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 [7] são apresentados dados da evolução do consumo elétrico residencial brasileiro:

- o consumo residencial de eletricidade na rede cresce a partir do resultado do aumento do número de consumidores residenciais, que deve alcançar o total de 86 milhões em 2029, e também pelo incremento do consumo médio residencial, que deve atingir 200 kWh/mês ao final do decênio, pouco superior ao máximo histórico, verificado em 1998, de 179 kWh/mês;
- no caso das perdas elétricas, espera-se maior dificuldade na realização de investimentos para a redução de perdas, fazendo com que o nível deste indicador se mantenha próximo da estabilidade no primeiro quinquênio. Já no segundo quinquênio, o maior crescimento econômico deve gerar investimentos que levam à redução das perdas;
- o consumo industrial de eletricidade na rede deve crescer abaixo da média, mas ainda assim se espera que o nível máximo histórico (185 TWh, em 2013), seja atingido ainda no primeiro quinquênio, basicamente através da retomada da utilização da capacidade instalada existente. No segundo quinquênio, espera-se que haja a instalação de novas unidades industriais em alguns segmentos energointensivos a partir da melhora do ambiente econômico;
- No que tange aos ganhos de eficiência no consumo de eletricidade, estima-se que atinjam cerca de 40 TWh em 2029 (aproximadamente 5% do consumo total previsto de eletricidade nesse ano), correspondente à eletricidade gerada por uma usina hidrelétrica com potência instalada de cerca de 9,5 GW, equivalente à potência da parte brasileira da Usina de Itaipu ou da UHE Xingó;
- Sob o ponto de vista da eficiência energética no consumo de eletricidade, por sua vez, destaca-se o setor de comércio e serviços (Figura 16);
- A eletrificação crescente é uma tendência verificável no período decenal. Espera-se que o consumo total de eletricidade cresça cerca de 11% a mais que a economia brasileira, influenciado tanto pela autoprodução clássica quanto pelo consumo na rede.

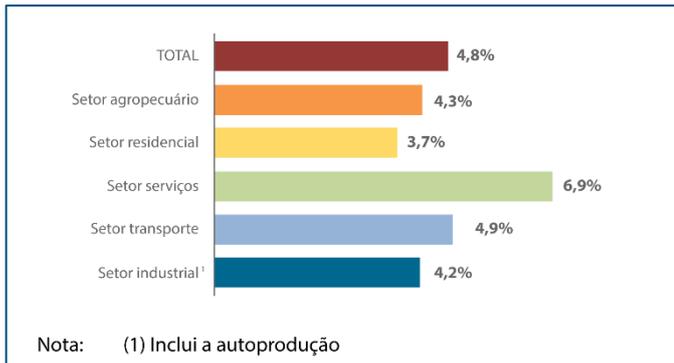


Figura 16 – Contribuição setorial para os ganhos de eficiência energética elétrica [7]

O Plano Decenal 2029 apresenta por exemplo, que para o setor industrial, em termos de consumo de eletricidade, a estimativa é que os ganhos de eficiência energética contribuam na redução de 4,2% em 2029, ou cerca de 15 TWh, volume pouco acima do consumo observado na indústria de mineração e pelletização em 2018. Esta contribuição da eficiência energética inclui uma combinação entre mecanismos de políticas existentes incidentes sobre a indústria brasileira, como também ações autônomas das indústrias, ligadas a aspectos como *retrofit* de instalações, novas unidades industriais mais modernas e eficientes energeticamente (*greenfield*) e ações de gestão de uso de energia, entre outros.

Este cenário, entretanto, se estimulado com legislações que estabeleçam metas e bônus, pode obter resultados superiores. O Japão deve ser referenciado como exemplo, no contexto da evolução da eficiência nas indústrias e processos produtivos, com metas estabelecidas por setor. A questão da gestão de uso da energia, possível atualmente com mais facilidade, com sensores, IoT e controles inteligentes, e aplicativos de integração com a produção, pode gerar resultados que permitam repensar a evolução da matriz energética do país, sensível às variações climáticas e secas nos mananciais hidrelétricos geradores.

O Plano Decenal 2029 [7] traz também uma abordagem para a digitalização pouco expressiva, referida somente na visão de futuro para os recursos energéticos distribuídos e na necessidade de uma reformulação e implementação de uma nova regulação: “a entrada dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED), em conjunto com a digitalização, tem potencial de revolucionar o setor elétrico brasileiro. No entanto, para permitir que essa revolução ocorra de maneira eficiente, mudanças amplas precisam ser feitas no modelo do setor elétrico brasileiro”. As peças principais do modelo que a EPE acredita serem adequadas para os RED se desenvolverem de forma eficiente no Brasil são apresentadas na Figura 17. Acreditamos nesta formulação para uma reestruturação.

A visão de futuro que a EPE [7] enxerga para os RED é a de eles sejam tratados como um recurso adicional do SIN. Portanto, que haja **isonomia entre recursos centralizados e RED** na competição pelo atendimento dos requisitos elétricos do sistema. Como primeiro passo do processo de aprimoramento, indica-se a necessidade de redução dos subsídios continuados às fontes específicas, existentes atualmente no setor elétrico brasileiro. Embora a existência de subsídios se justifique em alguns casos, por um curto prazo, as distorções de preço provocadas por sua manutenção indiscriminada desequilibram a competição entre os recursos.

Concomitantemente, cabe permitir que os RED participem de mercados competitivos do setor elétrico. Eficiência energética, por exemplo, poderia competir em leilões de energia; resposta da demanda e armazenamento, por outro lado, poderiam participar de **mercados de capacidade e serviços auxiliares**. Para que isso ocorra, precisa haver um mercado competitivo para esses serviços. Essa pode ser uma forma de remuneração adicional para os RED.

Adicionalmente, o bom funcionamento desse modelo sugere a aplicação de **tarifas binômias, dinâmicas e até locais** para os consumidores. Estes modelos de tarifação permitiriam a representação mais adequada dos custos de fornecimento e das redes, garantindo a sustentabilidade do serviço de distribuição, ao mesmo tempo em que incentivariam o uso de RED para gerenciar o consumo de energia através do medidor.



Figura 17 – Peças para promover a inserção eficiente de RED no Brasil, segundo a EPE [7]

A parcela de energia injetada na rede poderia ser ofertada nos mercados regulados, como foi mencionado, mas especialmente no ambiente de contratação livre. Para tanto, a **abertura do mercado** livre deveria permitir consumidores da baixa tensão comprar e vender nesse mercado, inclusive entre si, através de transações *peer-to-peer*²⁷. Essa seria uma forma de ampliar o mercado para a GD e trazer maior competitividade para o consumidor final.

A diferenciação entre recursos centralizados e distribuídos nesse ambiente seria dada com a aplicação de **preços mais granulares** (PLD - Preço de Liquidação das Diferenças - horário e nodal) extraíndo de cada recurso o seu valor para o sistema.

Para lidar com a complexidade desse novo ambiente, o advento dos **agregadores** pode facilitar a participação dos RED em mercados competitivos. Os agregadores são agentes que reúnem diversos RED e formam plantas virtuais, que participam de mercados de eletricidade e são despachadas, conforme a necessidade, pelo agregador. O avanço das tecnologias de comunicação e contratos inteligentes também têm potencial de diminuir os custos de transação.

Por fim, em termos de infraestrutura, a disseminação de **medidores inteligentes** é fundamental para permitir a interface dos RED com a rede elétrica, enviando e recebendo sinais a todo instante, que permitirão gerenciar de forma eficiente esses recursos. Cabe destacar que aspectos de cibersegurança e privacidade devem ser considerados durante o processo de instalação e operação dos medidores para evitar problemas dessa ordem.

Vale destacar que todas estas mudanças trazem grandes desafios para sua regulamentação e implementação. Porém, é um quadro que precisa ser perseguido como objetivo de modernização do setor elétrico brasileiro para permitir a integração sustentável e eficiente dos RED no país.”

Um ponto muito sensível, não tratado neste modelo, nem referenciado nos planos decenais, são as regras de uso das redes e tarifação dos serviços. Isto refere-se ao fato de que novos modelos econômicos devem ser gerados devido aos processos da digitalização e das mudanças que já se iniciaram no uso das redes, com ampliação das condições de autogeração e *netting*, com a eficiência energética e o uso mais eficaz da energia.

As regras da concessão da distribuição não estabelecem critérios adequados para a comercialização da energia gerada e para a redução decorrente da eficiência de uso pelos consumidores, com redução de suas demandas de energia, já considerada pequena no Brasil comparada com outros países.

Segundo Jairaj e outros [4], “os órgãos reguladores de energia elétrica, principalmente nos países em desenvolvimento, desempenham um papel crucial na avaliação e distribuição de custos e benefícios porque têm a tarefa de equilibrar os interesses do consumidor, das concessionárias e dos investidores privados de acordo com as políticas públicas. Uma forma de os reguladores equilibrarem os interesses destes grupos nos mercados regulamentados é através do estabelecimento de tarifas de eletricidade. Tradicionalmente, as tarifas são definidas em um nível que: mantém a saúde financeira e operacional das concessionárias; atrai investimento privado; atende à crescente demanda; e minimiza interrupções e maximiza a confiabilidade. As tarifas também devem ser definidas em níveis suficientemente baixos para promover o crescimento econômico contínuo, proteger os interesses das populações de baixa renda e evitar que as *utilities* e investidores privados obtenham lucros indevidos. O setor de eletricidade pode sofrer com tarifas artificialmente altas ou baixas em mercados regulados sem a devida regulamentação tarifária.”

Com a digitalização, o aumento da autogeração (incentivada ou não) e o estímulo à eficiência energética (iluminação, eletrodomésticos mais eficientes no setor residencial e processos mais eficientes nos setores comercial e principalmente industrial), a metodologia tarifária, que se baseava principalmente em um fluxo unidirecional de eletricidade do gerador ao consumidor e nos pagamentos do consumidor à concessionária de distribuição, precisa necessariamente ser revista. Com vários geradores usando a rede (*unbundling*) para fornecer eletricidade aos consumidores (muitos dos quais são prossumidores), as suposições fundamentais feitas no projeto de tarifas precisam ser reavaliadas. O negócio da concessão da distribuição precisa ser reavaliado para que seja motivado também a investir na sua digitalização, em novos negócios e seja remunerado por isto.

²⁷ *Peer-to-peer* consiste em transações de consumidor para consumidor, sem intermediários. A tecnologia *blockchain* é uma das mais utilizadas para tais negociações.

6.3 Serviços de energia associados à digitalização como oportunidade de negócio

Como exemplo, será utilizado o setor de edificações, que inclusive que será abordado como estudo de caso neste documento. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 [7], no Brasil, em 2029, espera-se que o consumo final de eletricidade no setor alcance 406 TWh, correspondente a cerca de 70% da matriz energética das edificações e 51% do consumo final de eletricidade. Este setor tem um grande potencial de eficiência. E desde a detecção de possibilidades até a manutenção operacional da eficiência, com a obtenção de medidas sobre os equipamentos avaliados ou *retrofit* feito, o monitoramento e a continuidade dos resultados pós-implantação, necessitam e exigem a digitalização e uma inteligência de gerenciamento dos itens e processos otimizados. Cada vez as facilidades de tratamento dos dados, análises em tempo real e consequente possibilidade de tomada de decisões de forma instantânea ou automática com a medição estão garantindo a diminuição de custos e agilidade operacional.

É importante destacar que eficiência energética e a geração distribuída, associadas, devem cada vez mais ser integradas no planejamento energético e no modelo de negócio, numa integração de recursos.

As projeções nos estudos do PDE 2029 [7] indicam que o consumo de eletricidade no setor comercial sairá de 91 TWh em 2019 para 128 TWh em 2029, o que corresponde a uma taxa média de crescimento anual de 3,4% a.a. entre 2019-2029. Estima-se que com a eficiência energética, considerando o progresso autônomo e a continuidade dos programas e ações já existentes, atinja-se no final do horizonte uma redução de 6,9% no consumo de eletricidade estimado para 2029." Embora não esteja caracterizado no PDE, e não tenha sido elaborado um cenário especial com avaliações sobre o uso de medições sistemáticas de equipamentos (com sensores e IoT), as possibilidades de tecnologia atuais indicam que estes valores podem ser efetivamente maiores se aplicadas ações de digitalização e de monitoramento nos equipamentos e processos no setor, incluindo eficiência de suas edificações.

Voltando ao tema edificações, de forma geral, um mecanismo que tem-se mostrado importante para o aumento da eficiência energética, em diversos países, é a sua etiquetagem, classificando as edificações quanto ao seu consumo energético. O PBE Edifica, componente do Programa Brasileiro de Etiquetagem voltado para as edificações, está em vigor no Brasil desde 2009, em caráter voluntário, tendo concedido 6.295 etiquetas até setembro de 2019, tanto para projetos quanto para edificações construídas, nos setores residencial e comercial e de serviços.

Os resultados desse programa em termos de conservação de energia são significativos, mas já há consenso de que somente serão efetivamente expandidos caso a etiquetagem de edificações passe a ser obrigatória. O estabelecimento de metas para a eficiência de edifícios foi um grande projeto no Japão, por exemplo. Nesse sentido, o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), por meio do seu Grupo Técnico de Edificações, e com apoio do Procel, solicitou a contratação de estudo para elaboração de um plano de compulsoriedade para a etiquetagem de edificações no Brasil, bem como de avaliação dos impactos regulatórios a serem esperados com a adoção dessa medida. Este estudo está sendo iniciado e trará subsídios para a elaboração de políticas públicas para o setor nos próximos anos.

De modo a estimar uma ordem de grandeza do impacto da adoção de um programa compulsório de etiquetagem em edificações, utilizou-se uma estimativa baseada em estudo realizado para a EPE pela Mitsidi Projetos, em 2018 e apoiado pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* GmbH (GIZ), para a mensuração das economias que poderiam ser alcançadas. Dentre as premissas adotadas nesse exercício, incluiu-se a obrigatoriedade da etiquetagem de edificações para novas construções e reformas de edificações comerciais, residenciais e públicas, a ser implementada de forma gradual, com níveis mínimos especificados por tipologia e por etapa, sendo que dentro do horizonte do PDE 2029, a previsão é a entrada da primeira etapa em 2025. O quadro resumo dessas premissas é apresentado na Tabela 5, e os resultados estimam ganhos de eficiência elétrica da ordem de 2,8 TWh em 2029, equivalente a 0,3% do consumo total de eletricidade no mesmo ano. Deve-se destacar, contudo, que tais resultados são meramente ilustrativos e dão uma noção da ordem de grandeza dos potenciais de eficiência energética que podem ser alcançados por medidas nesse sentido. Reitera-se que os valores obtidos são naturalmente sensíveis às premissas adotadas, e **certamente serão diferentes caso, por exemplo, sejam exigidas condições mínimas de digitalização para o monitoramento e manutenção da eficiência obtida.**

Tabela 5 - Etiquetagem em edificações no horizonte do PDE 2029 [4]

Tipologia da edificação	Economia de Energia em 2029	
	GWh	%
Federal	84	0
Outros Públicos	170	0
Comercial	796	0,1
Residencial	1.794	0,2
Total	2.843	0,3

Nota: O percentual do impacto de economia de energia considerou a demanda total do Brasil sem eficiência no mesmo ano.

Global Enabling Sustainability Initiative (GeSI) [80] traz avaliações de redução de carbono baseadas na digitalização para diversos países em desenvolvimento, cobrindo duas principais áreas de uso - Redes inteligentes e edifícios e, geração fotovoltaica distribuída, apresentadas na Tabela 6. As estimativas de redução geralmente seguem a abordagem usada no relatório Smarter 2030 da GeSI. As reduções habilitadas no cenário de 'descarbonização ambiciosa' digital podem ser muito maiores se os países relevantes decidirem se afastar radicalmente da geração de combustíveis fósseis, especialmente carvão.

Esta avaliação da GeSI traz em seu contexto de análise a importância da digitalização nas edificações como forma de alcançar a descarbonização.

Assim, reforça-se o potencial de novos produtos e serviços digitais no contexto das edificações, que está ainda mais reforçado neste momento com reestruturação e digitalização também no sistema de etiquetagem brasileiro, buscando trazer mais inteligência, agilidade e redução de consumo e demanda nos processos existentes.

Outras possibilidades de aplicações poderiam envolver veículos elétricos e eletrodomésticos, permitindo a interação em tempo real entre a rede e os consumidores, proporcionando redução de carga, cobrança dinâmica de veículos elétricos e tarifação em tempo real.

A digitalização nas cidades inteligentes aparece também como potencial para eficientização de diversas atividades e processos energéticos e, portanto, recursos digitais integrados com as redes de energia são adequados também neste contexto.

Com foco em edifícios inteligentes e na digitalização, busque-se o planejamento para atingir bons níveis em climatização, iluminação e ventilação. Atualmente, o emprego de tecnologias que automatizam atividades internas pode aumentar a segurança e facilitar o controle dessas estruturas. Um edifício inteligente digitalizado pode contar com sensores e câmeras, servidores, elementos robóticos e

Tabela 6 - Divisão de reduções digitais previstas no cenário de "descarbonização ambiciosa" para o setor de energia. Todos os valores são em MtCO₂ e por ano. [80] (traduzida)

	Redução na geração de energia devido a Redes Elétricas Inteligentes e Edifícios Inteligentes	Aumento da eletricidade renovável distribuída
África do Sul	-18	-8
Brasil	-4	-7
Chile	-2	-13
China	-331	-446
Índia	-138	-60
Quênia	-2	-1
Vietnam	-8	-5

outros dispositivos interconectados por meio de *Internet of Things* (IoT), com dados armazenados e geridos, talvez utilizando computação e armazenamento em nuvem. A comunicação e as redes de dados (físicas ou wifi) devem estar fortemente estabelecidas, e assim, um edifício poderá se "comunicar com o mundo", ser "melhor conhecido" e "previsível" para a sua gestão. Aliás, isso é benéfico para empresas, uma vez que processos de um prédio (sede) podem ser enviados e replicados por outro edifício (filial), localizado em outro local ou nas proximidades. As condições de autogeração e de controle desta energia e seus usos também devem fazer parte da digitalização avaliada. Considerando os *retrofits* de edificações para a digitalização, a cadeia de fornecedores de equipamentos e serviços é um negócio em expansão no mundo e ainda iniciando no Brasil.

A interligação inteligente entre prédios inteligentes pode gerar um ecossistema de gestão e eficiência diferenciado, fomentando mais um item de inteligência nas cidades.

7. Transparência & Resposta à Demanda

Transparência é uma característica-chave para o envolvimento do consumidor e deve estar presente em todos os pontos do processo de transformação da oferta de energia. Neste sentido de garantir o engajamento do cliente, a resposta à demanda tem a possibilidade de trazer uma participação ativa do consumidor na dinâmica da operação do sistema elétrico.

7.1 Transparência

O capítulo 6 refletiu sobre a necessidade do envolvimento/engajamento do cliente no processo de transformação da oferta da energia com a digitalização das medições e com a possibilidade de autogeração. Este posicionamento é retratado na quantidade de estudos realizados por todas as empresas que já iniciaram a digitalização de suas redes, para o reconhecimento da participação do cliente, a sua reeducação no conhecimento da energia (como a energia é tarifada, como a energia é entregue, como os aparelhos consomem energia, quais as responsabilidades com relação as instalações elétricas na residência, quais os problemas com surtos de energia e como se proteger, etc.) e nas condições do fornecimento desta energia medida de forma automatizada (como podem ser caracterizados os momentos de consumo de energia na residência, que horas do dia este consumo é maior ou menor, que informações podem ser reconhecidas em um gráfico de variação de consumo, como usar as informações da medição para diminuir as contas de energia, que aparelhos estão ligados de forma contínua e que aparelhos podem ser desligados para alterar a conta de energia, por exemplo), com mais informações possíveis sobre a disponibilidade, custos e sobre o próprio consumo. O cenário básico para o sucesso do processo está na sua **transparência**, na forma que é apresentado, nos direitos e compromissos efetivos com o consumidor, e como esta informação faz sentido para este consumidor (sua usabilidade, como referenciado no projeto Enera [37]).

A transparência da informação e a sua disponibilização de forma mais efetiva durante o mês, via a digitalização e instrumentação de medição nas residências, permitirão também acompanhar o consumo realizado de forma mais crível pelo consumidor e evitar/detectar possíveis fraudes. As alterações tarifárias e bandeiras tarifárias empregadas para a valoração da energia poderão ser visualizadas de forma mais adequada pelos consumidores, ampliando seu entendimento das variáveis envolvidas (e custos) no caminho da energia desde a geração até a residência. Para as concessionárias e para a reguladora, o acompanhamento de informações sobre a qualidade da energia entregue será melhor equacionado numa visão de

maior granularidade, com dados agrupados por região, por exemplo, e garantindo visibilidade regional dos serviços prestados, sem interferir na privacidade do consumidor.

O serviço de energia, focado historicamente na distribuição, ganha uma nova dimensão com a participação do mercado de comercialização, como uma evolução natural da descentralização da geração. Ganha uma nova dimensão também com as possibilidades, oportunidades, compromissos e necessidades geradas pelo volume de informações coletadas para a garantia e qualidade do provimento da energia.

No Brasil, a ampliação da participação de GD nas redes e multiplicidade tarifária (com valores de energia pré-estabelecidos por horários de capacidade ou ociosidade da geração) poderão capitanear um movimento de necessidade de comunicação diferenciadas, mais efetiva, transparente de coparticipação do consumidor na evolução das redes. Aplicativos de uso da energia e de eficientização ainda são fornecidos somente para os consumidores que possuem autogeração, pela empresa fornecedora da sua instalação de GD, acessados utilizando a internet residencial, à qual os medidores da GD também se conectam. As concessionárias, pela incapacidade e custos de leitura de medidores de forma sistemática, sem redes de comunicação dedicadas a isto, não entregam esta informação atualmente para seus clientes. Ressalva tem que ser feita para os grandes clientes das distribuidoras, por uma questão técnico-financeira, possuem implantados medidores com memória de massa e telemedição (não são medidores considerados inteligentes, mas permitem a retirada de informação e uma Inteligência *off line* de seus dados, voltados ao faturamento da energia contratada).

Em projetos na Alemanha [2] vale ressaltar que os clientes do setor comercial reconhecem a importância da disponibilidade, de forma amigável, do estado do sistema de energia (transparência), com todas as informações detalhadas, o monitoramento da operação, a demanda estimada de energia para as próximas horas e os custos associados. Isto representa uma possibilidade para a (re)programação dos processos energéticos do setor, podendo gerar economias financeiras.

7.2 Resposta à demanda

De forma diferente de um programa de eficiência energética, o foco dos programas de resposta à demanda, não é necessariamente incentivar o consumidor a reduzir o seu consumo, mas a deslocá-lo para períodos de menor sobrecarga da rede, buscando melhorar a confiabilidade e a eficiência do sistema de energia. Este estímulo pode ser dado por controle direto sobre os equipamentos de medição (com anuência do consumidor), preços sinalizados diferentes (avisos da distribuidora que a tarifa terá um valor determinado em um período) e/ou incentivos tarifários especiais, como a tarifa branca para os consumidores baixa tensão no Brasil.

A tarifa branca estabelece três valores de tarifa, aplicados de acordo com os períodos (postos): na Ponta, tarifa mais elevada; Intermediário, tarifa de valor intermediário; e Fora de Ponta, tarifa de valor menor. A Tarifa Fora de Ponta tem valor inferior ao valor da Tarifa Convencional. Isso faz com que a Tarifa Branca seja indicada para quem consegue concentrar seu consumo no período fora de ponta dos dias úteis e nos fins de semanas.

Mas fica evidente a baixa aderência a este modelo, embora já implantado, devido principalmente às questões de falta de comunicação das concessionárias, falta de infraestrutura de rede e de medição, que exige medidores diferenciados, inteligentes, se possível, ou com acesso a memória de massa para a leitura horária do consumo. O custo do processo também é um risco atual, considerando que a troca de medidores em grande volume pode representar um risco operacional para as concessionárias ou para os consumidores, com relação ao repasse de custos da operação para a tarifa. A leitura do consumo e o gerenciamento destes medidores, pode gerar também ônus para as distribuidoras, considerando a necessidade de infraestrutura adequada de sistemas para incorporar esta nova função, se massificada. E isto é um indício claro das dificuldades a serem enfrentadas com uma implantação de medição inteligente, e das novas oportunidades e desafios que o setor terá que enfrentar numa forma disruptiva de tratar o seu negócio.

Segundo Rodrigues da Silva e outros [81], “os programas de gerenciamento da demanda, podem oferecer grande retorno ao setor elétrico. Estima-se que uma redução de 5% da demanda de pico poderia gerar uma economia de R\$ 10 bilhões em um período de 10 anos. Além disso, diante de um cenário de grande penetração da GD, a resposta à demanda poderá ser uma ferramenta indispensável à integração de fontes intermitentes e descentralizadas de geração, permitindo respostas rápidas e flexíveis da demanda.”

Ainda segundo Rodrigues da Silva e outros [81], a classificação tradicional, dos programas de resposta à demanda podem ser implementados de duas formas:

- Resposta à demanda com base em incentivos (*incentive-based* ou *system led*) – visam reduzir a demanda dos usuários finais por meio do controle direto das principais cargas domésticas:
 - Controle direto da demanda (*direct load control*);
 - Interrupção consentida da demanda (*interruptible/curtailable service*);
 - Oferta de redução da demanda (*demand side bidding*);
 - Redução da demanda em emergência (*emergency demand response*);
 - Programas de cortes para atender a capacidade do sistema (*capacity market programs*).
- Resposta à demanda com base em preços ou tarifas (*price-based* ou *market led*) - visam diminuir a demanda de energia por meio de mudanças nos preços:
 - Período de tempo (*time-of-use ToU*);
 - Tarifação em tempo real (*real-time pricing* – RTP);
 - Tarifação de ponta (*critical peak pricing* – CPP).

Os clientes das concessionárias de energia podem se beneficiar das tarifas dinâmicas, reduzindo sua conta de eletricidade. Visto que a concessionária não precisa adicionar um risco à sua tarifa (considerando a sua capacidade de energia prevista contratada da geradora para a entrega aos clientes), ela pode reduzir o nível geral de preços introduzindo tarifas dinâmicas. Dependendo das condições do mercado de comercialização, a demanda de pico é geralmente um dos fatores de custo mais caros para as *utilities* (por exemplo, devido ao fornecimento de energia por geradores de reserva acionados para a manutenção da demanda, com altas flutuações de preço nos mercados de eletricidade de curto prazo. Inerente aos custos também está a necessidade da manutenção de uma estrutura de distribuição sobredimensionada para os períodos de pico de consumo).

Os avanços com a digitalização podem viabilizar ainda o surgimento de novos conceitos ligados a resposta à demanda, como a resposta automática à demanda (ADR - *Automatic Demand Response*), uma plataforma que deve fornecer informações precisas e confiáveis sobre a energia em tempo real, em fase de padronização de aplicações no mercado mundial.

O que fica mais evidente é que a resposta à demanda pode ter um papel bastante fundamental como resultado da implementação de digitalização nas redes e na modernização do setor energético brasileiro. Permitirá que os consumidores possam participar mais ativamente do mercado de energia e ter um papel significativo na dinâmica da operação do sistema elétrico.

8. Condições regulatórias, legais e comportamentos sociais no Brasil

Os principais temas que estão sendo oficialmente debatidos com a sociedade podem ser consultados na Agenda Regulatória da ANEEL, incluindo as audiências e consultas públicas promovidas pela agência.

Embora as possibilidades de modernização e o tema de digitalização estejam na linha de discussões na sociedade neste momento, a Agenda Regulatória da ANEEL [82] para 2020/2021 traz como atividades, possivelmente conectadas ou promotoras da digitalização na Distribuição e Mercado, somente os seguintes tópicos:

- Aprimorar a Resolução Normativa nº 482/2012, que trata de micro e minigeração distribuída;
- Revisão da Resolução Conjunta ANEEL/Anatel nº 4/2014, que trata do compartilhamento de infraestrutura com o setor de telecomunicações, em conjunto com a Anatel;
- Consolidação dos atos normativos relativos à pertinência temática “Direitos do usuário do serviço público de distribuição de energia elétrica”;
- Aprimoramento da Regulamentação que trata da venda de excedentes das distribuidoras;
- Aprimoramento do modelo para Contrato de Geração Distribuída - CGD, nos termos do Decreto nº 5.163/2004, art. 14;
- Aprimorar a Resolução Normativa nº 570/2013, que trata da comercialização varejista, sob a ótica da abertura de mercado (flexibilização dos requisitos de migração para o ACL) e da viabilidade de agregação de dados de medição.

Visando o direcionamento dos trabalhos de planejamento estratégico (2018-2021), a Diretoria da ANEEL identificou um conjunto de desafios que serão enfrentados pela Agência nos próximos anos, dos quais podemos destacar os mais relacionados à tecnologia da informação no PDT (Plano de Transformação Digital) [83]:

- *Garantir a segurança do suprimento, aprimorando os leilões de geração, diante de novas alternativas para expansão da matriz energética e do avanço da geração distribuída, e assegurando o cumprimento dos prazos de construção dos empreendimentos e a modicidade dos preços;*

- *Rever o papel da **distribuidora do futuro**;*
- *Aprimorar e **simplificar o modelo de comercialização**;*
- *Propiciar condições para **inovação** mediante incentivos regulatórios, considerando entre outros o desenvolvimento de tecnologias disruptivas;*
- ***Ampliar a efetividade** dos projetos de P&D e eficiência energética, agregando valor em benefício do consumidor de energia elétrica.*
- *Ampliar a coerência regulatória, **aprimorar os mecanismos de participação pública** e melhorar a qualidade do processo decisório;*
- ***Aperfeiçoar a gestão** com foco em pessoas e resultados, incentivando e ampliando a cultura do diálogo;*
- *Modernizar a política de gestão da informação e tecnologia da informação.*

Dentre os desafios apontados, para os quais em sua maioria a TI da ANEEL se posiciona com papel de protagonismo interno, buscando a “modernização da política de gestão da informação e tecnologia da informação”, como visão administrativa da agência.

A transparência das condições alvo apresentadas, entretanto, esbarra no planejamento voltado somente para a uma questão de infraestrutura de TI para suportar a agência nas ações elencadas e não na efetivação destas ações.

E esta situação de TI pode ser um reflexo do Planejamento estratégico ANEEL 2018-2021 [84], resumido na Figura 18. Na Tabela 7, compilamos alguns itens desta estratégia que podem incorporar direcionamentos para uma evolução digital. A situação elencada no planejamento de TI, de **rever o papel da distribuidora do futuro**, não está contextualizada.

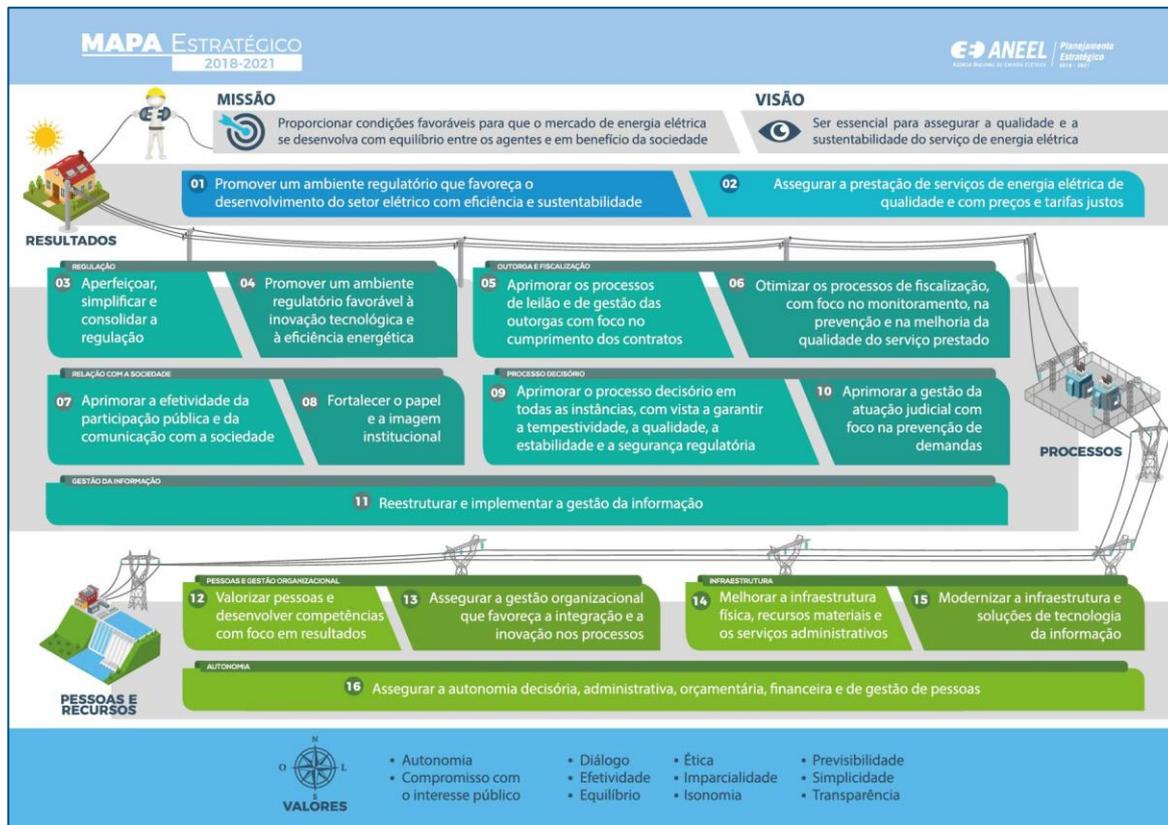


Figura 18 - Mapa estratégico da ANEEL 2018-2021 [84]

Tabela 7 – Itens do Planejamento Estratégico ANEEL 2018-2021 [84]

Objetivo estratégico	Descrição
Promover um ambiente regulatório que favoreça o desenvolvimento do setor com eficiência e sustentabilidade	Assegurar ambiente de negócios que favoreça a atratividade e a devida remuneração dos investimentos por meio de regulamentação coerente e menos complexa, de processos de gestão de outorgas que assegurem o cumprimento das obrigações contratuais e de fiscalização preventiva e focada em resultados, com vistas a incentivar a eficiência e a sustentabilidade dos serviços de modo a promover o desenvolvimento do setor elétrico.
Assegurar a prestação de serviços de energia elétrica de qualidade e com preços e tarifa justos	Assegurar a prestação de serviços públicos de energia elétrica que satisfaçam as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e tarifas justas aos usuários.
Aperfeiçoar, simplificar e consolidar a regulação	Elaborar os regulamentos de forma orientada à busca permanente da eficiência e melhoria da qualidade na prestação do serviço com sustentabilidade social, ambiental e econômico-financeira do agente e adequar a regulação para torná-la mais coerente, concisa e simples, buscando reduzir e unificar os regulamentos e dar estabilidade às decisões.
Promover um ambiente regulatório favorável à inovação tecnológica e à eficiência energética	Criar condições à inovação tecnológica e eficiência energética removendo as barreiras regulatórias no setor elétrico.
Otimizar os processos de fiscalização, com foco no monitoramento, na prevenção e na melhoria da qualidade do serviço prestado	Desenvolver e aplicar soluções efetivas e eficazes de monitoramento para permitir atuação da fiscalização com foco na qualidade e sustentabilidade do serviço prestado, baseada prioritariamente em atividades de orientação e prevenção, de modo a garantir a melhoria do desempenho técnico e econômico-financeiro.

8.1 Regulação dos Serviços de Distribuição

As principais atividades da regulação da distribuição e o papel do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), segundo o website da ANEEL, são apresentadas no quadro ao lado.

Numa análise criteriosa do PRODIST, não são apresentadas referências a direcionamentos em Rede Inteligente ou digitalização das estruturas da concessão da distribuição nestes procedimentos. Por exemplo, o Módulo 5 – sistemas de medição, que entrou em vigor em 01/01/2021 não referencia a inteligência de medição para o cliente de baixa tensão ou estabelece diretrizes para uma evolução estrutural no contexto da implantação de *smart meters*, controle da privacidade dos dados coletados ou de cibersegurança com telemedição. Os demais módulos têm formulações que não referenciam a modernização dos sistemas para concessionárias de distribuição do futuro, infelizmente. Mantem um status de concessão com gestão monopolista, e não determinam incentivos a modernização estrutural deste modelo, dentro do alcance que cabe à Agência. Os incentivos a investimentos e as condições evolutivas não estão evidenciados nos trabalhos em desenvolvimento, nos planejamentos estratégicos e nas publicações de agenda de atividades futuras da agência, em seu website.

Quanto a regulação de MMDG, o Plano Decenal 2030 [9] traz um quadro quanto a incertezas legais/regulatórias que reproduzimos na Figura 19. Não foi identificada sinalização quanto à medição diferenciada, inteligente da geração, nem como referência à privacidade da informação do cliente gerador. Esta poderia ser uma oportunidade para a Aneel influir dentro do marco legal atual do setor elétrico.

Na Alemanha, o ato regulatório de digitalização para a transição energética [46], direciona ações para a aplicação de medidores inteligentes. Atualmente, ações estão sendo realizadas para a implantação também em pequenos consumidores nas zonas rurais. Decorre deste ato que os operadores dos pontos de medição devem equipar 10% dos pontos de medição com sistemas de medição inteligentes no prazo de três anos, ou seja, até 2023. Os custos de instalação serão suportados pelos operadores dos pontos de medição. As taxas de medição são regulamentadas e não são muito mais altas do que para a leitura de medidores clássicos. Além disso, novas instalações somente serão realizadas se técnica e economicamente viáveis. O limite superior de preço para a medição foi definido em 23 €/ano para consumo anual de eletricidade inferior a 2.000 kWh. O objetivo é equipar todos os pequenos consumidores com equipamentos modernos de medição até 2032. Outros valores para a medição são definidos conforme o consumo anual.

Na Alemanha, está claro também que a confiança nos fornecedores e os incentivos financeiros são essenciais para que as famílias aceitem ou apoiem tecnologias digitais, como medidores inteligentes e processamento de dados.

PRINCIPAIS ATIVIDADES DE REGULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E O PRODIST

- Estabelecimento de regras e procedimentos referentes ao planejamento da expansão, ao acesso, operação e medição dos sistemas de distribuição incluindo o desenvolvimento de redes inteligentes e o gerenciamento do lado da demanda;
- Estabelecimento dos indicadores de qualidade do serviço e do produto energia elétrica;
- Regulação das condições gerais de fornecimento de energia elétrica;
- Implementação e acompanhamento da universalização do acesso à energia elétrica; e
- Implementação e aplicação da tarifa social de energia elétrica.

As regras e procedimentos referentes ao planejamento da expansão, ao acesso, operação e medição dos sistemas de distribuição incluindo o desenvolvimento de redes inteligentes e o gerenciamento do lado da demanda levam ao PRODIST (que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica):

- Módulo 1 - Introdução
- Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
- Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição
- Módulo 4 - Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
- Módulo 5 - Sistemas de Medição
- Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações
- Módulo 7 - Cálculo de Perdas na Distribuição
- Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica
- Módulo 9 - Ressarcimento de Danos Elétricos
- Módulo 10 - Sistema de Informação Geográfica Regulatório
- Módulo 11 - Fatura de Energia Elétrica e Informações Suplementares

QUAIS ALTERAÇÕES REGULATÓRIAS ESTÃO SENDO DISCUTIDAS?		Alteração do SCEE	Tarifa Binômia						
<p>Alteração do SCEE</p> <ul style="list-style-type: none"> Atualmente, não é cobrado do gerador todas as componentes tarifárias ao gerar sua própria energia. É um incentivo que foi dado para estimular o desenvolvimento desse mercado; Com a redução dos custos e franca expansão da MMGD, está sendo discutida a revisão do SCEE com o intuito de melhor alinhar incentivos e garantir a sustentabilidade sistêmica". Dessa forma, a energia injetada na rede seria usada para compensar apenas algumas componentes da tarifa; <p>Aplicação de tarifa binômia</p> <ul style="list-style-type: none"> Também se discute a aplicação de uma tarifa binômia para os consumidores atendidos em baixa tensão; Nesse modelo, algumas componentes tarifárias não seriam mais cobradas em R\$/kWh. Isso também afetaria a atratividade da MMGD. 	<p>Componentes tarifárias</p> <table border="1"> <tr><td>TUSD – Distrib.</td></tr> <tr><td>TUSD – Transm.</td></tr> <tr><td>TUSD – Encargos</td></tr> <tr><td>TUSD – Perdas</td></tr> <tr><td>TE – Encargos</td></tr> <tr><td>TE – Energia</td></tr> </table>	TUSD – Distrib.	TUSD – Transm.	TUSD – Encargos	TUSD – Perdas	TE – Encargos	TE – Energia	<p>Status na ANEEL</p> <p>O processo de revisão da REN 482 na ANEEL foi interrompido e mecanismo de compensação deve ser discutido no Congresso Nacional.</p>	<p>Estudo está na agenda regulatória 2020-2021 da ANEEL. No entanto, não há previsão para alguma alteração.</p>
	TUSD – Distrib.								
	TUSD – Transm.								
TUSD – Encargos									
TUSD – Perdas									
TE – Encargos									
TE – Energia									
<p>Status no Congresso</p> <p>Há diversos Projetos de Lei apresentados sobre o tema, mas o ritmo das discussões está impactado pela priorização de temas emergenciais associados à pandemia da COVID-19.</p>	<p>O Projeto de Lei de Modernização do Setor Elétrico Brasileiro (PLS 232/2016) prevê a aplicação de tarifa binômia em até 60 meses após a aprovação do projeto. O PLS 232 aguarda votação no Senado.</p>								
<p>Incertezas</p> <p>Qual parcelas da tarifa serão compensadas pelo gerador? Em que ano as mudanças entrarão em vigor?</p>	<p>Quando haverá a mudança da forma de tarifação do consumidor atendido em baixa tensão (BT)? Qual será o formato da cobrança?</p>								

Figura 19 – Incertezas regulatórias para MMGD, segundo a EPE no plano decenal 2030 [9]

No setor industrial, a situação é um pouco diferente, baseado diretamente na questão financeira, mas cuidando para não haver influências nos processos produtivos devido ao fornecimento de energia e com cuidados ainda maiores quanto às questões de privacidade, quanto à utilização, capacidade e horários de utilização das máquinas, às condições de negócio possíveis com o reconhecimento dado pelas leituras sistemáticas realizadas pelos medidores e com a inteligência de processamento.

8.2 Padronizações/normatizações

A padronização/normatização é um requisito fundamental para o estabelecimento da digitalização. Os casos europeu e estadunidense são bons exemplos disso.

Em março de 2011, a Comissão Europeia e a EFTA emitiram o Mandato de Rede Inteligente M/490, que foi aceito pelas três Organizações de Normalização Europeias (ESOs) - CEN, CENELEC e ETSI em junho de 2011, com foco em desenvolver uma estrutura para permitir que os ESOs realizassem aprimoramento e desenvolvimento de padrões contínuos no campo da rede inteligente. Assim foi criado o Grupo de Coordenação de Redes Inteligentes CEN-CENELEC-ETSI (SG-CG – *Smart Grid Coordination Group*).

Em 2012, o SG-CG trabalhou para produzir os seguintes relatórios: "[Sustainable Processes](#)", "[First Set of Consistent Standards](#)", "[Reference Architecture](#)" e "[information security and data privacy](#)".

No final de 2014, o Grupo de Coordenação de *Smart Grid* - CEN-CENELEC-ETSI, finalizou os seguintes relatórios obrigatórios, fornecendo exemplos de melhores práticas em casos de uso específicos de redes de energia inteligentes, para mostrar a aplicabilidade de padrões existentes e futuros:

- Conjunto estendido de padrões de suporte à implantação de *Smart Grids*;
- Visão geral da metodologia;
- Desenvolvimento geral do modelo de mercado, manual do usuário do modelo de arquitetura de rede inteligente e gerenciamento flexível;
- Interoperabilidade de *Smart Grid*;
- *Smart Grid Information Security*.

O documento CEN-CENELEC-ETSI [48] retrata o conjunto de padrões a serem seguidos e desenha uma arquitetura de referência que traduz direcionamentos para a introdução digital nos modelos de energia, apresentada na Figura 10.

O NIST (nos Estados Unidos) traz seu conjunto de normas de referência [42] para direcionamento das implantações de rede elétrica inteligente, referenciando, por exemplo, a Norma IEEE Std 1377™-2012 [44] para o protocolo de comunicação de medição na camada de aplicação, já referenciado neste documento.

Estudos referenciados no item 5.2 também apresentam uma lista de normas possíveis para o cenário brasileiro. Também o CIGRE Brasil [52], com base nos direcionamentos europeus, com foco no mercado brasileiro, tem grupos de estudos preocupados com rede elétrica inteligente e a digitalização eminente para as redes de energia brasileiras.

A ABNT tem no seu portfólio um conjunto pequeno de normas, já citadas, utilizadas pelas concessionárias para a interligação fotovoltaica e a ABNT NBR IEC 61850-10:2018 – “Redes e sistemas de comunicação para automação de sistemas de potência Parte 10: Ensaio de conformidade”, com técnicas-padrão para avaliar a conformidade de implementações, bem como técnicas específicas de medição a serem aplicadas na determinação de parâmetros de desempenho.

Verifica-se que o Brasil ainda não possui um conjunto oficial de regras e normas a serem seguidas para suportar uma evolução de nossas redes e para garantir condições adequadas ao cenário e condições de evolução de nossa infraestrutura. Europa e Estados Unidos têm estudado os diversos aspectos e direcionamentos necessários ao modelo de negócios que envolve uma cadeia de fornecimento e permite (garante) o desenvolvimento, sob a ótica da digitalização no setor de energia e a eficiência energética dos setores econômicos de forma geral.

8.3 Oportunidades evolutivas com a digitalização

Vale referenciar a evolução dos RED e da possibilidade de armazenamento (*storage*) nas redes de energia, por sua função disruptiva no processo, com algumas situações importantes: seu poder regulador da intermitência resultante das GD (podendo suavizar picos e vales de fornecimento), seu poder de redução total da necessidade de energia por consumidores, a necessidade de gestão deste recurso adicional na rede, que pode balizar o balanço energético regional. Neste momento, além das condições técnicas de eficiência, o armazenamento representa ainda um custo efetivamente alto para a sua introdução, apesar da evolução no mercado que vem apresentando.

Os preços das baterias de íon-lítio tiveram um declínio dramático nos custos de fabricação na última década. O gráfico na Figura 20 de um relatório da Bloomberg New Energy Finance, 2019, mostra a constante queda dos preços por kWh.

Atualmente, não há regulação específica para o uso de baterias com injeção na rede (por exemplo, o consumidor somente inserir energia na rede depois de exceder a capacidade de seu armazenamento). Nada impede o consumidor em utilizar o equipamento para fazer uma gestão interna do seu consumo e geração.

As simulações feitas no Plano Decenal 2030 [9], considerando o custo de R\$ 2.000,00/kWh em 2030, inviabilizam esta abordagem como parte das redes. Espera-se valores inferiores a US\$ 62 por kWh em 2030 para o armazenamento, segundo BloombergNEF²⁸. E em locais críticos, como localidades não assistidas, o armazenamento

pode ser a única opção viável, associada a RED. O monitoramento da geração e consumo, nestas localidades de acesso crítico, indicarão o atendimento adequado do modelo implantado (com armazenamento e *storage*) e potencializarão ampliações necessárias para suportar a demanda registrada. Reforçando: é necessário implantar um sistema inteligente de monitoramento da energia e do consumo para se identificar a demanda sazonal para um atendimento adequado em localidades de acesso crítico.

“A participação crescente de fontes renováveis de energia intermitentes, como a eólica e a solar, no parque gerador nacional de energia elétrica, seja na forma de geração distribuída ou como usinas de maior porte que utilizam as redes de transmissão, requer complementação de fontes de geração de eletricidade firmes (não intermitentes) e despacháveis. Ou seja, fontes flexíveis, como as usinas termelétricas a gás natural, ou alguma forma de armazenamento, como em reservatórios de usinas hidrelétricas convencionais, reversíveis ou em baterias. Atualmente se utiliza uma complementação térmica cara e a capacidade de armazenamento é decrescente em reservatórios de usinas hidrelétricas convencionais. Os planos da EPE/MME não têm contemplado estudos prospectivos sobre a evolução dessas opções de armazenamento.”

IEI-Brasil [85]

A gestão da carga de veículos elétricos ainda é uma questão em aberto no Brasil. Os veículos elétricos precisam ser reconhecidos em uma rede inteligente e tarifados, independentemente do local de abastecimento elétrico, com inteligência na rede para garantir segurança e rapidez no abastecimento, e evitar adversidades na rede como sobrecarga em determinadas regiões ou período do dia. Pontos de abastecimento estão sendo disponibilizados, mas o processo de implantação ainda é, atualmente, puramente didático. É, seguramente, uma questão ainda a ser tratada com gestão inteligente, segurança de rede e da privacidade e, principalmente, regulada e normatizada.

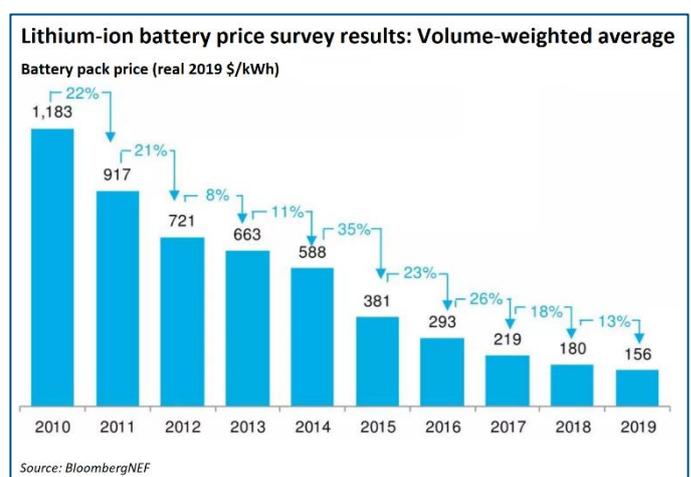


Figura 20 – Redução (em US\$) do preço do kWh (Fonte: BloombergNEF)

²⁸ https://www.youtube.com/watch?v=ci_q-sUOJE8

8.4 Questões regulatórias evolutivas para a digitalização

Como já relatado, a pauta regulatória brasileira não apresenta direcionamentos para a introdução da digitalização. A situação regulatória brasileira em energia tem conduzido a considerações que implicam em alterações e decisões que precisam ser estabelecidas na forma de leis, num contexto complexo da política nacional e dependente dos objetivos dos legisladores para o tema.

Segundo o MIT [86], citado por Rodrigues da Silva e outros em [81], os principais ajustes regulatórios para receber os novos desafios oportunizados pelo momento de digitalização do setor elétrico seriam:

1. Aperfeiçoar os preços e encargos regulamentados para os serviços de eletricidade;
2. Aprimorar a regulamentação das concessionárias de distribuição para permitir o desenvolvimento de mais modelos de negócios eficientes para os envolvidos;
3. Reavaliar a estrutura do setor elétrico para minimizar possíveis conflitos de interesse gerados pelos novos negócios envolvidos;
4. Desenvolver a estrutura do mercado atacadista de energia para melhor integrar os recursos energéticos distribuídos, recompensar maior flexibilidade e criar condições equitativas para todas as tecnologias;
5. Aumentar a adoção de práticas relacionada à segurança cibernética e à privacidade;
6. Otimizar a utilização dos ativos existentes e promover um consumo de energia mais inteligente, que têm um grande potencial de redução de despesas;
7. Garantir um sistema de comunicações que suporte a troca de dados de forma segura.

“Regulators should review and carefully assign responsibilities for data management, while considering multiple goals, including nondiscrimination, efficiency, and simplicity. Data on customer usage, telemetry data on network operation and constraints, and other relevant information must be securely stored and made available in a non-discriminatory, timely manner to registered market participants. Consumers must be provided with timely and useful access to data on their own use of electricity services. Data privacy, data protection, and data rights will require increasing attention.”

MIT [86]

Segundo o IEI-Brasil [85], *“no caso de eficiência energética, para se conseguir melhores resultados para o sistema elétrico é importante que investimentos estejam concentrados em regiões elétricas e/ou em usos específicos, que garantam a resolução de gargalos de transmissão e de distribuição de eletricidade. Nesses casos, tarifas que representem essas situações (com sinal locacional no sistema de distribuição e/ou horário; tarifas binômias), poderão ser interessantes. Elas também serão importantes para a melhor captura dos custos e dos benefícios da GD para o sistema elétrico interligado.*

De forma geral, a difusão dos recursos distribuídos causará impactos no sistema elétrico e em seus respectivos agentes. As mudanças tarifárias citadas acima, indicadas como propostas para solucionar os efeitos dessa difusão, também poderão causar efeitos tanto nas empresas concessionárias de distribuição quanto nos seus consumidores, prosumidores ou não”.



9. Proposições

9.1 Estudo de caso

Foi acordado que seria abordado um estudo de caso no contexto da digitalização, com a estrutura em proposição no PAR Procel denominada Esplanada Inteligente, segundo o GCCE (Grupo Coordenador de Conservação de Energia Elétrica), Terceiro Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL, PAR PROCEL 2020/2021 [87]. Busca-se nesta análise evidenciar soluções digitais para a ampliação do desempenho energético buscado, a ampliação das possibilidades de eficiência planejada e estruturada na proposta “Esplanada Eficiente”, que reproduzimos a seguir, agregando controles e mecanismos inteligentes com o objetivo de, sem dúvida dar longevidade aos investimentos necessários para o retrofit, já detectado para a efficientização. Com inteligência digital, será buscado um monitoramento integrado das condições alcançadas, com vistas a uma manutenção facilitada e a uma evolução digital constante, motivadoras para os gestores e para os usuários

(público e profissionais) que utilizam as dependências e espaços dos edifícios.

9.1.1 O descritivo do projeto de referência: Esplanada Eficiente segundo o GCCE

O descritivo do projeto reconhece a grande importância da eficiência energética nas edificações brasileiras em geral, que respondem por mais de 51% [87] do consumo nacional de eletricidade, e nas ligadas ao setor público especificamente.

Também reconhece o protagonismo do poder público de dar o exemplo de demonstrar soluções de eficiência energética, geração distribuída e gestão energética em suas edificações. Simultaneamente mostrando “à sociedade o compromisso do governo [com] o uso racional dos recursos” [87].

*“Dessa forma, o projeto propõe a estruturação de um pacote de ações destinado a incorporação do conceito da eficiência energética na gestão das edificações públicas e assim provocar uma evolução no que diz respeito ao uso do insumo energético na administração pública. Considerando que a Esplanada dos Ministérios se tornou um padrão de referência física e simbólica quando se trata da administração pública federal e, portanto, as ações nela implementadas apresentam grande visibilidade, este projeto tem como um dos focos ações que promovam uma **Esplanada Eficiente.**” [87]*

O projeto Esplanada Eficiente está estruturado em 2 ações:

1. Chamada pública para seleção de projetos de eficiência energética no setor público, conforme o GCCE [87]:

Tem como objeto edificações da administração pública direta e indireta e a eficiência de suas envoltórias e de seus principais usos finais de energia. Os projetos das edificações deverão prever eficiência da edificação, podendo esta ser parcial ou total, de modo a poder abranger itens como a envoltória e seus principais usos finais de energia, como iluminação, ar-condicionado, elevadores, sistemas de bombeamento de água, dentre outros.

Os projetos realizados no âmbito desta chamada possibilitarão a troca de equipamentos energeticamente ineficientes, a execução de melhorias na envoltória para redução das cargas térmicas do envelope das edificações, incentivarão a mudança de hábitos de consumo dos usuários, a redução das contas de energia elétrica dessas instituições, assim como uma nova forma de gestão energética por meio do treinamento oferecido aos gestores de infraestrutura e manutenção dessas edificações.

No intuito de dar sustentabilidade aos benefícios resultantes de tais ações, as edificações participantes, de passarem por retrofit (parcial ou total) para sua eficiência, receberão capacitação, com o objetivo de preparar as instituições a elaborar, com recursos humanos próprios, ações de melhoria na gestão energética de suas instalações. As edificações deverão buscar a Etiqueta de Nacional Conservação de Energia- ENCE/Procel nível A, atendendo a Instrução Normativa SLTI/MPOG no 2 de 2014. Além disso, a emissão da ENCE apoiará a sua disseminação no setor público, segundo GCCE [87].

2 - Esplanada Solar, conforme GCEE [87]:

Considerando a função indutora do Estado de incentivar o setor privado por meio de sua grande capacidade de consumo e de execução de políticas públicas, o projeto Esplanada Solar tem como foco a implantação de Sistema de Gestão Energética (SGE) nos edifícios da Esplanada dos Ministérios, baseado ABNT NBR ISO 50.001, associado à implantação de sistema de geração fotovoltaica. Considera-

*se que este seja um forte fator de atração aos órgãos dada a elevada disseminação e atratividade da tecnologia de geração solar de energia. **A escolha dos edifícios da Esplanada dos Ministérios como “público alvo” desta iniciativa se dá por suas características de modulação e padronização que permitem que funcione como um laboratório do uso integrado da tecnologia de geração distribuída à estratégia de gestão energética eficiente.***

Devido à pequena área de cobertura dos edifícios da Esplanada, o projeto propõe a sua instalação na área de cobertura dos edifícios anexos, o que proporcionaria um maior atendimento a demanda energética das instalações [87].

Considerando que está em curso a implementação e certificação de um Sistema de Gestão de Energia - SGE, na edificação sede do Ministério de Minas e Energia e Ministério do Turismo, com base na adoção da norma ABNT NBR ISO 50.001, o projeto propõe que os ministérios que receberem as miniusinas assumam, como contrapartida, o compromisso de implantar um Sistema de Gestão de Energia – SGE baseado na ABNT NBR ISO 50.001 em suas instalações, nos moldes desta experiência. A implantação do SGE deverá ser integral, incluindo as 4 etapas do ciclo PDCA de melhoria contínua. A etapa de implementação e operação deverá incluir a execução de medidas de eficiência energética de zero, baixo e médio custos, identificadas na revisão energética prevista na etapa de planejamento. Dessa forma, o Esplanada Solar também proverá a capacitação de servidores para apoiar o processo de implantação dos SGEs nos órgãos selecionados na chamada pública.

*Ainda segundo GCCE [87], além disso, considerando o exposto sobre a vocação da Esplanada como “**distrito eficiente**”, também se propõe que seja realizado estudo para avaliar a viabilidade de centralizar a gestão de energia dos ministérios [87], definindo linhas de base, indicadores e objetivos que deverão ser atendidos, governança do sistema e arranjos institucionais. A Figura 21 apresenta o funcionamento de sistema de gestão centralizado.*

Uma vez identificado que a geração de energia solar associada à implantação de sistema de gestão de energia com base na ABNT NBR ISO 50.001 são ações estratégicas para o setor público, o Poder Executivo Federal se apresenta como protagonista em busca de um modelo nacional de diversificação da matriz energética e de diminuição de seu impacto no meio ambiente, para parte dos seus edifícios em Brasília, além de trazer uma economia anual de milhões de reais aos cofres públicos.

A implantação de SGE nos moldes da ABNT NBR ISO 50.001, nas instalações dos Ministérios associada à instalação de miniusinas fotovoltaicas, contribuirá para a adoção de estratégias de gestão com efeito direto sobre o aumento da eficiência energética, redução de custos e melhoria da performance de energia geral, tornando a Esplanada dos

Ministérios uma referência para todo o setor público. Além disso, a definição de uma proposta de modelagem de um sistema de gestão integrada de energia também contribuirá para que a Esplanada se torne um modelo de inovação na gestão pública.

Resultados e Benefícios Sociais Esperados

Os projetos realizados no âmbito do Esplanada Eficiente possibilitarão a estruturação de um programa de governo com potencial de alavancar a eficiência energética em toda a administração pública, tornando-a parte da cultura organizacional e promovendo a gestão eficiente dos recursos públicos. Com o sucesso das ações propostas, o Esplanada Eficiente servirá de referência para fomentar outras iniciativas similares com recursos da União, já que os resultados do projeto poderão evidenciar a viabilidade econômica desse tipo de iniciativa do poder público e a correta alocação de recursos na modernização da sua infraestrutura.

“A implantação dos SGEs será utilizada como subsídio para o Projeto Esplanada Solar também elaborar modelo de gestão integrada de energia, incluindo proposta para governança do sistema e os arranjos institucionais possíveis.” [87]

A Figura 22 traz uma imagem aérea do edifício dos Ministérios de Minas e Energia e Turismo, com a implantação solar em seu topo, representando uma implantação GD já realizada, que pode ser integralizada em um contexto de gestão e monitoramento da energia e da demanda, monitorada em termos de desempenho efetivo para o consumo e necessidades energéticas deste edifício.

9.1.2 Caracterização de potencial de digitalização para uma visão ampliada como Esplanada Inteligente

Consta na descrição do item Esplanada Solar [87] a importante anotação: **“a implantação do sistema de gestão energética inclui a realização de diagnósticos energéticos, que deverão orientar a implementação de ações de zero, baixo e médio custo, incorporadas aos processos de gestão da energia.”**

Sim, esta é a evidência necessária para se iniciar o planejamento de uma digitalização com foco na eficiência energética e geração fotovoltaica distribuída e a forma de direcioná-la a resultados. Ponderamos que resultados significam, em nosso entendimento: reconhecer as condições existentes, medi-las, avaliar condições de mudanças, verificar as condições de mudanças, implantar mudanças, medir resultados e continuamente verificar desempenho (monitoramento), implantando evoluções de forma contínua e desafiando com metas maiores o status obtido (evitando obsolescência).

Duas condições são primordiais para garantir o êxito de todo o processo como verificado em muitos projetos de eficiência predial pública executados, são:

- a continuidade das ações: sempre verificando as condições existentes, portanto, o monitoramento das instalações é importante para ações estratégicas e melhoria continuada. E inclusive para a manutenção da eficiência alcançada;
- a colaboração dos participantes/usuários do espaço efficientizado, com o comprometimento total e continuado da alta direção: educação e comunicação sempre presentes. Em muitos prédios, a criação de comitês de eficiência, com a função de lembrar os compromissos assumidos é importante.

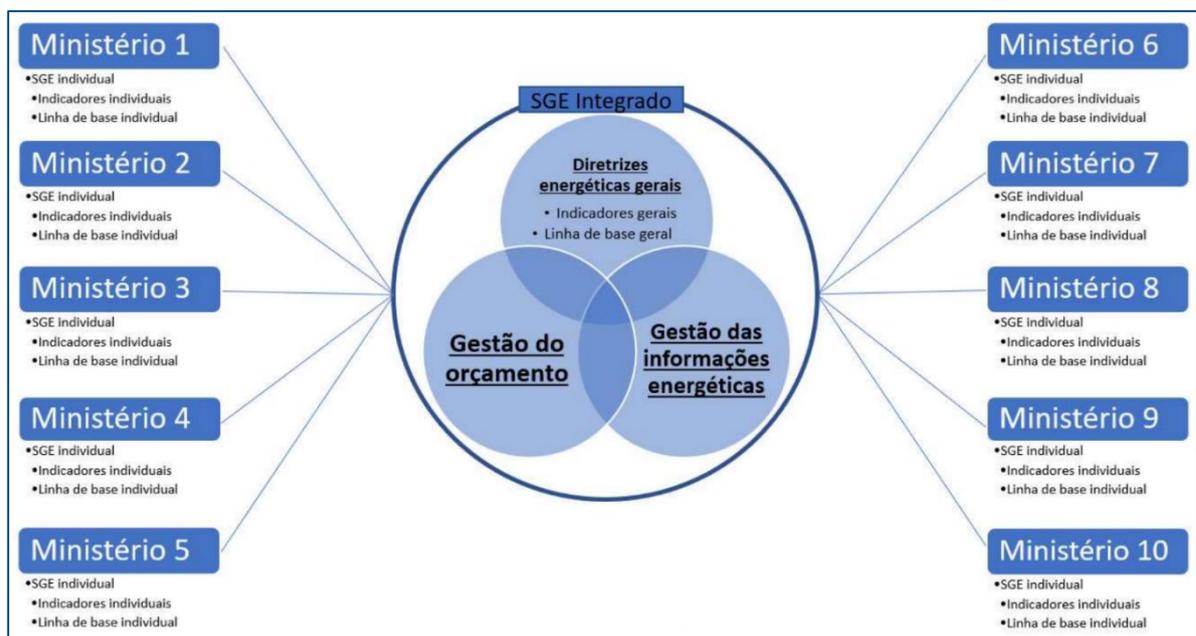


Figura 21 – Sistema de Gestão da Energia (SGE) [87]



Figura 22 – Implantação de geração solar no topo do edifício do MME na Esplanada dos Ministérios

A ação de eficiência energética não pode apenas ser pautada na redução do consumo de energia, mas também na dimensão do conforto ambiental do usuário.

Para exemplificar o desafio do processo, pode-se considerar a implantação de sensores pode demonstrar uma situação potencial de aplicação da digitalização e de controles de uso: trocando um ar-condicionado pouco eficiente, barulhento e, portanto, pouco utilizado em uma sala de reuniões por outro 45% mais eficiente, silencioso, ele potencialmente poderá ser mais usado, o que pode implicar em aumento, ou não, de consumo. Por uma questão de conforto dos usuários do espaço, o investimento também se faz necessário. Adicionalmente, avaliando uma situação hipotética, do último usuário da sala de reuniões não desligar o aparelho ao final da reunião e deixá-lo ligado a noite toda, toda a possível economia de consumo de energia feita com a troca pode ser perdida ou a conta de energia pode vir com valores superiores aos normais no mês seguinte. Reforça-se o item da conscientização de uso e participação efetiva para a eficiência ser ponto importantíssimo e, portanto, a educação e comunicação serem parte do processo de eficiência geral. Neste caso específico, a detecção de uso da sala de reuniões, com a implantação de sensores de presença ou calor, poderia acionar o desligamento do ar-condicionado ligado desnecessariamente, dos aparelhos de projeção, iluminação e outros aparelhos no local. Pode-se também, reconhecendo os responsáveis pela sala, enviar informações de uso de forma particular, solicitando cuidados especiais. A digitalização permite o envio segregado de avisos e alertas.

Vale reforçar, para se iniciar um trabalho direcionado ao reconhecimento do potencial de efficientização, e ao reconhecimento da demanda energética de cada prédio da Esplanada: que seja feito, inicialmente, um pré-diagnóstico das condições energéticas locais.

Um pré-diagnóstico trará no mínimo um levantamento de iluminação existente (tipo, quantidade, em uso e em falha, de forma setorizada), de ar-condicionado (tipo, quantidade, em uso e em falha, de forma setorizada), elevadores (tipo, manutenções, uso, consumo segundo o fornecedor), sistemas de bombeamento de água (especificações), e outros usos de energia, por exemplo, quantidade de equipamentos de informática, geladeiras, máquinas de café, etc.. Também a caracterização e as condições existentes da envoltória da edificação são pontos fundamentais para uma solução consistente da eficiência energética.

Também faz parte do pré-diagnóstico o levantamento da planta de instalações, circuitos elétricos e de pontos de controle de surtos de energia e proteção da rede e de equipamentos, e necessidade de tomadas por ponto de usuário (o uso inadequado de extensões pode gerar riscos para os usuários e instalações). A sinalização de uso das áreas é também importante, para se caracterizar, por exemplo, as condições de conforto térmico exigidas segundo a quantidade de pessoas e o uso da área. Esse item é particularmente relevante para edificações antigas, como as da Esplanada dos Ministérios, porque ao longo das décadas seus usos finais de energia, a ocupação e a organização do espaço interno mudaram bastante.

Isso não deve ser visto como uma barreira para a eficiência energética, mas como uma grande oportunidade de renovação para melhor e de segurança no trabalho. E registra-se, reforçando o processo de monitoramento pós-implantação, considerando que a digitalização implantada permitirá a captura de dados de cada ponto digitalizado de forma constante, que alterações no uso devem gerar reanálises de consumo. Esta reanálise, espera-se, deve ser implementada como parte da inteligência na gestão pós instalação, garantindo o reconhecimento de pequenos movimentos de uso da energia e também, numa situação mais ampla, de reprojeto para maiores interferências na infraestrutura.

É parte também do pré-diagnóstico, o levantamento das contas de energia para balizar o reconhecimento (caracterização possível) mínimo dos gastos por elemento energético demandante (iluminação, ar-condicionado, elevador, etc.) e as condições de cobrança realizadas (tipo de contrato, valores por demanda, custo por período tarifário, se for o caso, etc.).

Feito um primeiro levantamento, como um pré-diagnóstico, a caracterização da eficiência energética pode ser iniciada. Começa-se a **constituir a primeira base de dados para uma tomada de decisões**. Processos analíticos simples sobre os dados levantados podem fornecer informações muito interessantes de uso e necessidades, para suportar digitalização inteligente e direcionar investimento.

A continuidade dos trabalhos, do diagnóstico energéticos e detalhamento de ações para o processo de eficiência pública predial pode ser encontrado em GIZ [88]. Deve-se ater às possibilidades de introdução de digitalização em diversas condições.

Os *retrofits* mencionados serão importantes para a condução das ações a serem tomadas, do ponto de vista da

envoltória para redução das cargas térmicas do envelope das edificações e melhorias da iluminação natural (às vezes são decisões concorrentes), seus principais usos finais de energia, como iluminação, ar condicionado, uso de computadores e outros equipamentos de informática como impressoras, elevadores, sistemas de bombeamento de água, dentre outros, que incentivarão a mudança de hábitos de consumo dos usuários, a redução das contas de energia elétrica.

9.1.3 A digitalização para o controle/monitoramento e gestão da iluminação predial e do entorno urbanístico

Existem diversos fornecedores no mercado atualmente, que oferecem diversos recursos para o controle da iluminação, dimerização e acionamentos diversos, controlados por voz, por smartphones, por aplicativos web, ou controles locais com botões ou interruptores. Normalmente, para edificações comerciais, é disponibilizada também uma central de controle (vide Figura 23) para as aplicações de iluminação predial, usada para gerir a comunicação entre dispositivos de controle de iluminação, como cargas eletrônicas, sensores de claridade e detectores de movimento, setorizar áreas de controle, determinar áreas de risco e receber informações como:

- Confirmação de status de luzes individuais;
- Configuração padrão de uso para cada setor de iluminação, com armazenamento e mudança de dados de configuração (como atribuições de grupo de usuários e responsabilidades, valores de cenário de iluminação, tempo de atenuação, nível de energia ligada), etc.;
- Sensores de luz natural e de presença automatizados, com registros enviados para a central para análises de efetividade.

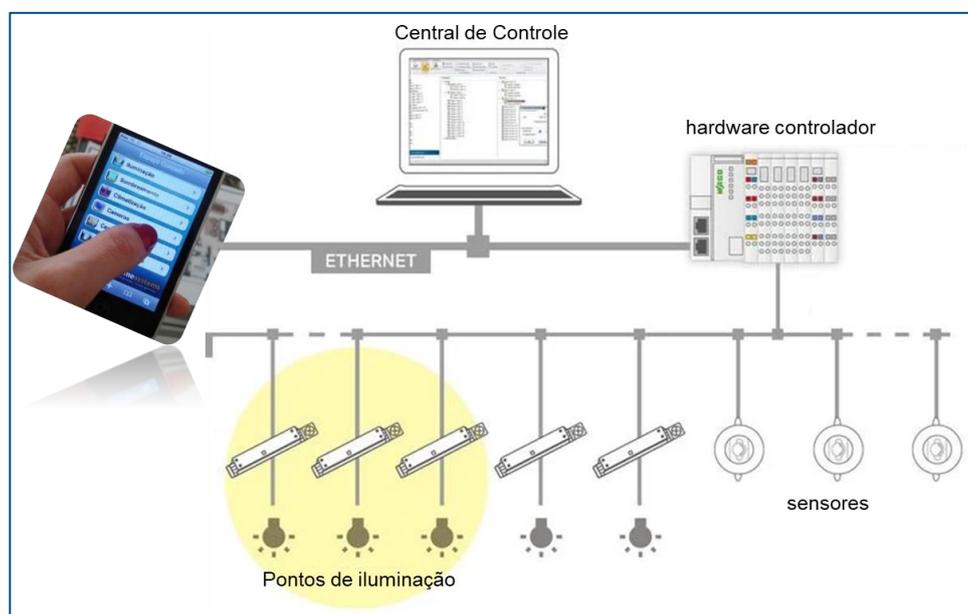


Figura 23 – Estruturação simplificada para a digitalização da iluminação predial, com controle central e via dispositivos smart

Será possível assim, que as salas de trabalho e de reunião possam contar com dimerização, que possibilita aos seus usuários escolher a intensidade e o tom da cor que gostariam de definir para melhor realizar seu trabalho. Um exemplo são luminárias que permitem uma programação para seguir o ritmo biológico e estimular a produção dos hormônios cortisol (que mantém o estado de alerta) e melatonina (que acalma). Ainda é possível controlar a cor (azulada ou amarelada) e a intensidade de luz.

Controles de iluminação noturna, de fachada e do entorno para segurança predial podem e devem ser agregados aos mecanismos de gestão.

Definido o nível de sofisticação da iluminação desejável e o conforto, praticidade e viabilidade financeira da digitalização pretendida, um projeto técnico tem que ser elaborado para a implantação. Espera-se soluções:

1. Que possam ser multifornecedoras, que possam ser integradas em uma central de controle, que tenham segurança de acesso garantido para evitar acionamentos indevidos por pessoas não autorizadas e permitir estabelecer locais com restrições;
2. Que tenham versatilidade de uso, permitindo acionamentos por diversos meios como smartphones, gestão local (como website acessado por uma secretária de área que prepara uma sala para uma reunião), que permita gestão centralizada;
3. Que permitam a coleta de dados de consumo setorizado da iluminação;
4. Que disponibilizem dados detalhados, por exemplo, a cada minuto, das condições de uso de cada ponto para que possam ser estruturados processos analíticos sobre estes dados e geradas avaliações sistêmicas e pontuais do uso da iluminação. **Deve ser garantida a criação de um banco de dados com as informações pontuais de iluminação geradas** (garantida da inteligência evolutiva sobre as necessidades);
5. Que permitam a geração de alertas de transgressão de uso da iluminação, por exemplo, para indicar que uma sala não tem uso e está com lâmpadas ligadas por mais de 30 minutos;
6. Que tenham inteligência de acionamento de ações remotas de forma automática a partir de alertas gerados, com registros dos alertas e ações tomadas. A reversão local de uma ação gerada deve ser permitida: uma sala estava com iluminação ligada, foi desligada automaticamente, mas logo em seguida teve que ser ocupada. As condições precisam ter, portanto, condições de reversão garantida.

Alguns recursos são considerados necessários para a operação pré e pós implantação, garantia da governança da implantação, segurança e planejamento evolutivo, como parte da estrutura SGE centralizada, para prover serviços para todo o conjunto de prédios Esplanada, como uma inteligência operacional:

- Recursos humanos de gestão da iluminação, que poderão (deverão) fazer parte do centro da SGE, que terão a responsabilidade de reconhecer as situações de exceção, por exemplo, de não acionamento automático de desligamento de luzes externas durante o dia e de luzes em áreas sem circulação ou uso durante a noite;
- Recursos humanos de manutenção, para garantir que as instalações realizadas, sensores e iluminação estejam sem defeitos e possam ser substituídas de forma ágil;
- Recursos humanos de instalação e conhecimento técnico para a implantação geral, setorização e planejamento de expansão, alteração de layouts e mudanças de perfis de usuário;
- Responsável técnico estratégico para acompanhamento da evolução de equipamentos e possibilidades de gestão da iluminação para garantia de ações preventivas e evolutivas, evitando obsolescência da infraestrutura;
- Analista e equipe de ciência de dados para garantir a utilização estratégica dos dados coletados para fins diversos, entre eles, o de reconhecimento de perfis de situações e eventos que precisam de tratamento aprimorado para melhoria de eficiência energética e usabilidade, compilação de gastos setorizados de energia com iluminação, setorização de custos e responsabilização de excessos, etc.;
- Analistas de usabilidade, responsável pela manutenção das facilidades de uso dos sistemas instalados, interfaces de operação e aplicativos de operação dos recursos locais, geração de relatórios demonstrativos de uso e externalização das informações levantadas pelos analistas estratégicos quanto ao consumo para a motivação e melhorias do engajamento dos usuários;
- Equipe de comunicação do uso eficiente da iluminação e engajamento dos usuários com a responsabilidade individual pelo resultado coletivo;

- Estoque de partes sobressalentes (*spare parts*) para garantir reposição rápida de itens danificados;
- Fornecedores de equipamentos e soluções para iluminação e formato de comunicação com central de gestão, se possível, utilizando normas ou protocolos abertos;
- Especialistas em segurança de dados e de cibersegurança para garantir total isolamento dos sistemas implantados a ataques externos e desligamentos setoriais não autorizados;
- Controles de energia e das instalações contra surtos, com manutenções periódicas estipuladas.

Digitalização das condições de conforto térmico nos prédios da Esplanada

A eficiência energética no tema de condicionamento de ar (conforto térmico) é uma questão diferenciada da iluminação, pois normalmente necessita do diagnóstico funcional de cada equipamento, com medições individualizadas de carga térmica, de eficiência e de seu desempenho (permitirá avaliar se estão corretamente dimensionados para os locais, pois pode haver necessidade de troca ou remanejamento de aparelhos). E este item é delicado também do ponto de vista estético e de custos. A Figura 24 traz uma imagem da fachada do Prédio do Ministério de Minas e Energia e Ministério do Turismo, onde se detecta visualmente uma grande diversidade de equipamentos instalados e a necessidade de retrofit do parque inteiro pode ser onerosa ou desnecessária.

A digitalização e controle deste parque de equipamentos pode ser feita, se possível de forma integrada com a operação da iluminação e dos demais itens da operação

inteligente do prédio (recomenda-se). Feita a efficientização dos equipamentos, a instalação dos sensores térmicos por área de atuação pode fornecer condições de avaliação pontual da eficácia conseguida e da necessidade dos usuários. E estas informações associadas às mesmas condições de uso apresentadas pela iluminação (presença física do equipamento de ar-condicionado), poderá gerar ações de desligamento. Acionamentos remotos podem ser permitidos, por uma gestora local, para preparação de um espaço de reuniões com conforto, previamente.

A gestão centralizada permitirá a avaliação de desempenho, reconhecimento da demanda de carga, sazonalidade de uso e influenciará a evolução e caracterização da necessidade de ampliação da geração solar para permitir também cobrir parte da necessidade de energia com o conforto térmico dos ocupantes dos prédios. Existem dispositivos de controle da operação de ar-condicionados atualmente que permitem atuação remota (em muitos casos, os próprios ar-condicionados já estão se integrando na IoT, e geram informações para um controlador ou aplicativo smart).

Como na abordagem para a iluminação, a necessidade principal de resultados para a digitalização será a geração de dados que possam ser tratados em um ambiente de inteligência operacional, integrando-se com os demais dispositivos e sensores.

A necessidade de recursos de manutenção e operação é semelhante àquela descrita para a iluminação, com a especialização adequada para ar-condicionado. Reforça-se que existe necessidade de manutenção constante, de prevenção de falhas e de caracterização de uso, cada vez mais possível com sistemas analíticos e com equipe dedicada ao tema e às condições existentes.



Figura 24 – Fachada de um prédio da Esplanada, com uma diversidade de equipamentos de ar-condicionado instalados

Digitalização predial do complexo da Esplanada dos Ministérios

De uma forma não exaustiva, pois as possibilidades de ações prediais são inúmeras, resumimos a análise feita na Figura 25, baseada nos conceitos de BAS (*Building Automation System*), como setores de interesse possíveis para um sistema de gestão integrada e de automação para a Esplanada.

Com olhos de ciência de dados (automação e estratégia operacionais), após definidos os setores de interesse (iluminação, condicionamento de ar, controle de segurança de acesso, por exemplo) que serão priorizados para a digitalização, e deve-se iniciar o processo de caracterização de necessidades pelo ponto de vista da operação.

O controle da geração fotovoltaica, das capacidades instaladas e geração efetiva é parte da lista de possibilidades de integração digital e dos sistemas no processo.

Devem ser definidos, então, quais indicadores deverão ser minimamente atendidos, quais são os indicadores essenciais, quais os valores esperados e metas a serem alcançadas a partir da implantação. Estes indicadores

mínimos, em verdade, direcionarão os requisitos técnicos minimamente necessários para uma operação, monitoramento e manutenção consistentes.

Assim, por exemplo, para a gestão integrada da automação da iluminação, são propostos alguns indicadores, não de forma exaustiva:

1. Indicadores de quantidade/tipo/consumo de lâmpadas por prédio/setor/sala;
2. Indicadores de lâmpadas acesas, consumo da iluminação por minuto/hora/período do dia/dia/mês por prédio/setor/sala;
3. Indicadores de acionamento indevido/indesejado da iluminação por dia, por prédio/setor/sala;
4. Indicadores de acionamento automático para desligamento da iluminação por dia, por prédio/setor/sala. Neste caso a tomada de decisão do desligamento pode ter sido provocada pelo sensoriamento do local e verificação de que não existem ocupantes. Assim, um requisito de sensor de presença é colocado como uma necessidade no projeto;



Figura 25 – Proposição de uma caracterização da digitalização predial para um contexto de Esplanada Inteligente

5. Indicadores de eficiência alcançada, considerando a instalação original;
6. Indicadores de eficiência de uso da iluminação após alguma campanha de conscientização realizada;
7. Indicadores de falhas de atendimento de lâmpadas ou circuitos por edifício/setor/sala;
8. Indicadores de manutenção realizada: trocas realizadas, mão-de-obra, tempo de acionamento, tempo de atendimento;
9. Indicadores de uso de controle local de acionamento de iluminação por APP instalado para usuários e controladores prediais;
10. Indicadores de reclamações por tipo de reclamação e atuação evolutiva necessária, por prédio/setor/sala;
11. Indicadores de vida útil e utilização real de lâmpadas de determinado fabricante. Isto pode ser útil, por exemplo, para regular o estoque de material e prevenir situações de falta de iluminação em áreas de risco e no processo de manutenção preventiva.

Estes indicadores representam um outro requisito em termos de sistema: a coleta e armazenamento de dados, a compilação das informações em formato de relatórios técnicos e gerenciais. Algumas outras questões como relacionamento entre indicadores serão realizadas *a posteriori* da implantação, como resultado de caracterização da estratégia da operação, como por exemplo, a relação entre atividades noturnas e a necessidade de iluminação ampliada no entorno para segurança pessoal e patrimonial e, a relação de custos de iluminação e ar-condicionado segundo sazonalidade.

A coleta da informação implica em um sistema de comunicação entre os sensores e equipamentos de medição e uma central de controle que armazena a informação. Pode implicar, além disto, na necessidade de armazenamento de dados nos equipamentos ou pontos de controle, para garantir que falhas na comunicação não impliquem em falta de informação. Quando a comunicação se reestabelecer, os dados podem ser devidamente entregues.

Outra questão importante que deve ser respondida é onde ficarão estes dados? Em nuvem ou servidor centralizado, sujeito, possivelmente a problemas de cibersegurança?

Outra questão, também importante, em caso de energia, é saber quais as informações são vitais para serem recuperadas e quais acionamentos de iluminação devem ser feitos (o status de utilização de iluminação de uma área antes de uma falta de energia se manterão após o retorno da energia?). Em caso de acionamento de módulo gerador do prédio, para as contingências de um apagão elétrico momentâneo ou programado, que luzes são consideradas de emergência e devem ser priorizadas para conforto e segurança dos ocupantes?

Assim, a Inteligência digital tem que participar do processo de análise de segurança da operação dos prédios e responder às questões envolvidas nesta operação. O bom senso e atuação de gestores humanos, com esta (r)evolução, deverão ser refletidos nos desenvolvimentos de controle no sistema inicial de gestão da operação. E a prática, a evolução da operação e das necessidades específicas de uso e dos usuários garantirá condições ampliadoras de resultados. Não se deve desesperar quanto ao volume de tratamentos a serem planejados, muitos deles e outros, não elencados aqui, já estão equacionados em sistemas oferecidos no mercado mundial e já apresentam alguma oferta no mercado brasileiro neste momento.



10. Conclusão

Um desenvolvimento sustentável, num contexto de produtividade social e potencial excedente, para ampliar as fronteiras de desenvolvimento, carrega as contradições e a dinâmica operacional de cada organização social, sua ética, cultura e história. A construção das liberdades individuais, políticas, econômicas e das oportunidades sociais dentro do contexto de relacionamentos e uso adequado do ambiente para a manutenção das diversidades é o questionamento do progresso.

No Brasil, a distribuição desigual da renda e do consumo, a migração e urbanização levam a questionamentos sobre o desenvolvimento sustentável e as ações governamentais diretas sobre o investimento para a racionalização do uso, manutenção e melhoria da qualidade da energia e da água para a população, principalmente de baixa renda. Neste contexto, tanto a educação quanto ferramental adequado devem demonstrar a eficiência individual frente ao coletivo e o uso de recursos finitos. A transparência e a participação, individual e das comunidades, também devem ser consideradas como objeto de auditorias e publicadas de forma recorrente, como demonstrativos da eficácia das ações adotadas, bem como estímulo e direcionadores para correções de rumo necessárias para ampliar os resultados.

Projetos e programas públicos e privados podem ser canalizadores deste movimento, permitindo e refazendo os questionamentos sobre o impacto desenvolvimentista e os compromissos individuais na consciência do consumo.

A aplicação da eficiência energética pode assim ser desenvolvida usando conceitos de *inteligência da informação (ciência de dados)*, *soluções de digitalização* e de evolução da rede de distribuição de energia elétrica (podemos também dizer aqui, vice-versa). Deve-se buscar a aderência as novas tendências de gestão da prestação de serviços de energia e possibilitando, inclusive, um campo fecundo de informações para as concessionárias, para os consumidores, para as comunidades (cidades e regiões) e para os órgãos reguladores.

“O setor elétrico está passando por uma transformação à medida que passa de um setor estático que é planejado e operado por autoridades centrais - reguladores, serviços públicos, operadores de sistema e planejadores - para um espaço que é cada vez mais impulsionado por uma combinação de tecnologias, operadores descentralizados e novos mecanismos e reformas de mercado. Essas mudanças estão criando um ambiente de incerteza genuína em que surgem muitos desafios, juntamente com novas oportunidades.” [18]

Uma rede inteligente pode desempenhar um papel fundamental no aumento da confiabilidade e previsibilidade dos recursos considerando o lado da demanda, e quantificar o seu impacto e economia, através de sua capacidade de medição e verificação superiores.

Segundo o Estudo sobre as experiências alemãs em digitalização [2], “isso tudo não implica que a descentralização e a digitalização possam ser uma ameaça aos fornecedores de energia e às *utilities*. Através da participação ativa, da interação com os prossumidores e da modelagem ativa da mudança, certamente surgirão novas e importantes oportunidades.”

Ficam evidentes três desafios básicos, além dos técnicos e de infraestrutura das redes:

1. a necessidade de efetividade da comunicação entre o ponto de medição e a distribuidora (necessidade de um sistema bidirecional de comunicação, o gerenciamento deste sistema dentro do negócio de energia), e seus custos associados (quem pagará este investimento e como ele deve ser articulado entre as diversas possibilidades e players);
2. a necessidade da participação ativa do cliente, desde o seu entendimento (educação) sobre o que, quando, como, por que consome energia e os custos (pessoais e da rede) na tarifa que paga, até as possibilidades de influência que pode causar na rede pela sua capacidade e investimentos em autogeração e redução e/ou deslocamento de consumo. Fica evidente que o consumidor pode, cada vez mais, influenciar na rede, descentralizando a geração, flexibilizando o consumo e influenciando em toda a estrutura de negócios das distribuidoras, decidindo que pode fornecer energia para outros pontos, ou deslocando seu consumo para horários diferentes. Estes consumidores também estão influenciando na forma do negócio, exigindo uma modernização da estrutura tarifária e de modelos de comercialização da energia diferenciados. A sua segurança energética fica evidenciada nos seus investimentos e nas necessidades de informações de relacionamento com os contratos de energia que realiza. O consumidor não está mais contente com o modelo enraizado de commodity para o consumo da energia;

3. a necessidade de modernização regulatória e legal da concessão de distribuição de energia do país, para exigir/incentivar e monitorar a digitalização em toda a cadeia de negócios de energia. Deve-se evoluir o status quo atual das condicionantes operacionais das distribuidoras de energia, que traz a manutenção dos ativos implantados para um espaço de negócios que entende mais precisamente as condições de suas redes, que entenda de forma segmentada (por tipo de perfil de consumo) seus clientes, que possa oferecer mais serviços e soluções energéticas, com modelos participativos e reconhecendo as interferências de novos mecanismos de comercialização da energia possivelmente infiltrados/competindo em sua cadeia de fornecimento.

Alguns exemplos e questões dessa mudança ficam como resultado desta análise: quanto da informação (e qual) deve ser armazenada, em tempo real ou em tempos determinados, sobre o consumo e a qualidade da energia entregue para o cliente? O que fazer com essa informação para promover o relacionamento efetivo? Como garantir o uso dessa informação e a privacidade do cliente sobre o seu consumo – quais as restrições de uso das informações do cliente para ampliação de serviços pela concessionária? Como ampliar o relacionamento e garantir uma parceria efetiva entre este cliente e a concessionária, bem como a percepção do valor desse novo relacionamento? As respostas serão dadas pelos diversos agentes do processo, com parcimônia, pois dependem das estratégias assumidas por cada negócio, são regionalizadas e também precisam ser re-reguladas.

Para incentivar o uso racional de energia e dirigir a motivação da população de consumidores residenciais para outro horário, a oferta de tarifas diferenciadas pode finalmente se tornar realidade, se, e somente se, se puder comprovar o uso da energia, com medições e demonstrações adequadas (*displays* instalados na residência e informações práticas em tempo real ou pela web, por exemplo). Considerar dados gerados e coletados por consumidor a cada 15 ou 30 segundos (energia ativa, energia reativa, corrente, fases, interrupções, violações, etc.), de cerca de 2 milhões de consumidores por concessionária **necessitará um aparato de comunicações e de sistemas de armazenamento de dados, gestão, análise e indicadores muito diferentes da sistemática e operação existentes nas concessionárias atualmente.**

O tratamento destes dados, em tempo real, o armazenamento destes dados em formato útil para agilidade de seu processamento e utilidade, a manutenção da informação para estratégias e tomada de decisões pelo cliente, pela concessionária de distribuição, pela sociedade, pelo regulador é, e será, um grande desafio. A privacidade de dados individuais e coletivos deve ser exercitada e garantida, uma questão ainda em aberto no Brasil para o grande *big data* gerado.

A cibersegurança e processos de autenticação de transações, como *blockchain*, devem estar no controle da qualidade e da garantia das ações tomadas, no controle da procedência de requisições e na recuperação automática de eventos ocorridos nas operações (automáticas ou comandadas manualmente) das redes de energia. Neste ponto ocorre a re-evolução do negócio de energia, como ele é administrado, controlado e supervisionado, se autorrecupera, se modifica segundo previsões de necessidades energética ou gerações excedentes (via inteligência artificial e *machine learning*), e é tarifado.

O cliente residencial deverá ser valorizado e colocado em outro patamar neste momento e os analistas situacionais das concessionárias deverão se debruçar sobre os resultados apresentados pelos relacionamentos e demandas para direcionar ações, avaliações e produtos. A automação será inerente e necessária, bem como modelagens analíticas deverão fazer parte da nova estruturação para um atendimento segmentado, individualizado e adequado às capacidades e conhecimento dos participantes. A condução, acompanhamento do ciclo de vida de produtos e ofertas também se evidenciará.

Resumindo, se o consumidor for o eleito e respeitado como promotor do processo, novos horizontes serão conquistados em decorrência do arranjo inteligente da rede e dos "novos" negócios que podem ser gerados.

As mudanças propostas com rede elétrica inteligente, IoT e digitalização das redes são culturalmente profundas para os players e para a sociedade. Demandam repensar, testar e reorganizar os processos existentes e as situações de décadas de operação das redes de energia, das normas regulatórias e das leis. Em muitos casos pode-se insinuar até em décadas de falta de relacionamento direto com clientes e leis e normas voltadas a estruturas estáticas na operação das redes. As possibilidades técnicas disponíveis atualmente e casos reais de ampliação do desempenho, registradas nos exemplos da Alemanha, demonstram a possibilidade de se trilhar um caminho novo para o Brasil.

Espera-se que as concessionárias brasileiras de energia possam realizar esta transição de forma planejada e sistemática, ampliando de forma gradual o conhecimento de seus clientes e de sua rede. Espera-se que o cliente seja também aculturado em suas responsabilidades e direitos e possa também contribuir de forma inteligente para o negócio, como decisor da compra e efetivo estruturador da demanda. Reforça-se que devem ser ponderadas a participação e a efetiva reestruturação do atendimento, do relacionamento com o cliente e da oferta de serviços e produtos para atendimento e ampliação do espaço de atuação das concessionárias brasileiras com provedoras de soluções energéticas.

Esta discussão está também fortemente ligada às estratégias governamentais e políticas, no âmbito da legislação e da regulamentação, que devem prever as condições para a evolução necessária desde o início das mudanças estruturais com a digitalização, valorizando e

viabilizando retornos para investidas disruptivas na forma do negócio e da concessão estabelecidas. Existem diversos testes já realizados no Brasil, mas ainda não foi apresentada para o país uma linha mestra condutora que reúna esforços e que direcione os trabalhos para um modelo energético controlado de futuro, como representados pelos casos alemães. Deve ser realçado que o discurso de um país em desenvolvimento e com visibilidade mundial deve se comprometer e se organizar para a demanda energética e para uma educação e eficiência no uso de recursos (que afinal, apesar de abundantes, são finitos, têm o seu custo de exploração e suas condicionantes socioambientais). Os recursos energéticos na rede de distribuição podem ser descentralizados, com os clientes mais participativos com a implantação, controle, monitoramento e reconhecimento da GD.

Não se questiona neste trabalho a implementação da digitalização. São questionados e apresentados, em cada momento, as condições de estruturação para o seu sucesso, de como ter sucesso, de quais diretrizes podem tornar uma rede inteligente um sucesso para todos os envolvidos. Não é feito um questionamento se será ou não implementada digitalização, mas que pode ser implementada em partes, que deve ser gerada uma estratégia governamental (política, estimuladora, com regulação e legislação atualizadas para o setor, promotora de oportunidades para a sociedade e para novos negócios paralelos ao modelo existente, com condições tarifárias justas e competitivas) para fomentar a sua implementação e que cada concessionária deva conhecer o perfil dos seus consumidores/clientes e, segundo estratégias regionais, decidir e investir, consciente e adequadamente. Deve-se buscar gerar retorno financeiro para o investimento a ser feito e isso será decorrente do início do entendimento da nova forma de interação propiciada, com uma legislação e uma regulação que visem resultados operacionais para uma concessionária do futuro, moderna e participativa (investidora).

A geração de empregos, a geração de negócios e movimento de capital resultante desta análise são de grande monta (considerar 86 milhões de pontos de medição em 2029 [7] a um custo de US\$ 1.000,00 por ponto para instalação e manutenção, é uma conta motivadora para o horizonte desenvolvimentista). Os resultados paralelos de transformação social e das inteligências das cidades e pessoas para receber estas mudanças são motivações auxiliares fortes.

O final desta análise traz intrínseca a necessidade de se olhar as condições sociais brasileiras, o acesso garantido à energia e a serviços energéticos, a necessidade de se valorizar e ampliar o direito à qualidade de vida proporcionado pela energia e a necessidade de viabilizar um sistema de comunicação para suportar a digitalização.

It's not about technology. It's about business transformation.

Referências

- [1] BSG – Boston Consulting Group, *Organizing for a Digital Future*, 18/10/2017, disponível em <https://www.bcg.com/fr-ca/publications/2017/technology-organizing-for-digital-future>, acessado em 28/10/2020.
- [2] Strüker, J., Schmid, J., *Study on German experiences in using new digital technologies for energy consumption and efficiency stocktaking*, Fresenius University of Applied Sciences, Frankfurt (Germany), pp.49.
- [3] Smart Grid - e.DSO, 2020 – disponível em <https://www.edsoforsmartgrids.eu/home/why-smart-grids/>, acessado em 19/10/2020.
- [4] Bharath Jairaj, Sarah Martin, Josh Ryor, Shantanu Dixit, Ashwin Gambhir, Aditya Chunekar, Ranjit Bharvirkar, Gilberto Jannuzzi, Samat Sukenaliev, And Tao Wang, *The Future Electricity Grid: Key Questions and Considerations for Developing Countries*, World Resource Institute, 2019 – pp72.
- [5] Council of the European Union, *Submission to the UNFCCC on behalf of the European Union and its Member States on the update of the nationally determined contribution of the European Union and its Member States*, 18/12/2020 - pp.23 - disponível em <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14222-2020-REV-1/en/pdf>, acessado em 11/02/2021.
- [6] IEA, *World Energy Investment 2020*, July, 2020, pp. 207 – disponível em <https://webstore.iea.org/download/direct/3003?fileName=WEI2020.pdf>, acessado em 12/02/2021.
- [7] Plano Decenal de Expansão de Energia 2029, Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020 disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>, acessado em 20/10/2020.
- [8] UNFCCC, *Paris Agreement - Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC)*, atualizada em 12/2020 disponível em [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf), acessado em 11/02/2021.
- [9] Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - Micro e Minigeração Distribuída & Baterias - EPE, 2020 disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20MMGD%20Baterias%20-%20PDE%202030%20Rev.pdf>, acessado em 22/10/2020.
- [10] Appunn, *Kerstine*, *Sector coupling - Shaping an integrated renewable energy system*, 25 Apr 2018 – disponível em <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/sector-coupling-shaping-integrated-renewable-power-system>, acessado em 20/10/2020.
- [11] PWC. 2019 - *Transformation in Energy, Utilities and Resources Strategies to Confront Rising Demand and Climate Threats*, disponível em <https://www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/pdf/transformation-in-energy-utilities-and-resources.pdf>, acessado em 20/10/2020.
- [12] IBCIHS, *FUTURO É DAS CHICS Como construir agora as Cidades Humanas, Inteligentes, Criativas e Sustentáveis*, 2020, disponível em <https://drive.google.com/file/d/1vZm6M-9kWdIacpmtSzDyU0ExgcMnSGwc/view>, acessado em 21/11/2020.
- [13] IEA. 2017. - *Digitalization & Energy*, disponível em <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>, acessado em 20/10/2020.
- [14] GEEE-7, Group of Experts on Energy Efficiency, *Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency*, 09/2020 – pp.16.
- [15] Carter, *J.Lawrence*, Wegman, *Mark N.*, *Universal classes of hash functions*, *Journal of Computer and System Sciences - Volume 18, Issue 2*, April 1979, Pages 143-154.
- [16] Mengelkamp, E., Notheisen, *B.* and others, *A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets*, *Computer Science - Research and Development*, volume 33, pages207–214 (2018).

- [17] Patel, M., J. Shangkuan, and C. Thomas., *What's New with the Internet of Things?*, Mckinsey, 2017 – 8 pp, disponível em <https://www2.mvcc.edu/shn/pdf/presentations/whats-new-with-the-iots-2017.pdf>, acessado em 25/10/2020.
- [18] ANEEL, *Módulo 10: Ordem e Condições de Realização dos Processos Tarifários e Requisitos de Informações e Obrigações – Submódulo 10 – Informações Periódicas da Distribuição*, 09/05/2018, disponível em http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018812_Proret_Submod_10_6_V0.pdf, acessado em 18/11/2020.
- [19] IEEE, *Big Data Analytics in the Smart Grid*, IEEE Working Group on Big Data Analytics, Machine Learning & Artificial Intelligence in the Smart Grid, 2018, 38 pp.
- [20] Morello, R., C. De Capua, G. Fulco, and S. C. Mukhopadhyay., *A Smart Power Meter to Monitor Energy Flow in Smart Grids: The Role of Advanced Sensing and IoT in the Electric Grid of the Future*, IEEE Sensors Journal 2017 pp 7828–7837.
- [21] Fróes Lima, CA, Navas, J. P, *Smart metering and systems to support a conscious use of water and electricity, Energy - Volume 45, Issue 1*, September 2012, Pages 528-540.
- [22] Information and Communication Technology, EPRI - Electric Power Research Institute, jun/2020. disponível em <https://www.epri.com/portfolio/programs/062333>, acessado em 07/11/2020.
- [23] Interconnection- and crossborderpoints, Thyssengas, 2018 – disponível em <https://thyssengas.com/en/network-enquiries/transparency-information/interconnection-and-crossborderpoints-under-section-40-1-of-the-german-gas-grid-acces.html>, acessado em 07/11/2020.
- [24] EDI-NET – The Energy Data Innovation Network; using smart meter data, campaigns and networking to increase the capacity of public authorities to implement sustainable energy policy, disponível em <https://cordis.europa.eu/project/id/695916>, acessado em 07/11/2020.
- [25] CROS - Collaboration in Research and Methodology for Official Statistics, disponível em https://ec.europa.eu/eurostat/cros/node_en, acessado em 07/11/2020.
- [26] Smart Energy Communities (SMECS) – Universidade de Leipzig, 2020 – disponível em <https://www.wifa.uni-leipzig.de/en/information-systems-institute/as/projects/smart-energy-communities-smecs.html>, acessado em 07/11/2020.
- [27] Alt, Rainer, Wende, Erik, *Blockchain technology in energy markets – An interview with the European Energy Exchange*, Electronic Markets (2020) 30, pp. 325–330.
- [28] ANEEL, Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012, *Micro e Minigeração Distribuída*, disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>, acessado em 03/11/2020.
- [29] Kraft, Emil, Julian Rominger, Vincent Mohiuddin, and Dogan Keles. *Forecasting of Frequency Containment Reserve Prices Using Econometric and Artificial Intelligence Approaches*, 2019. In 11. Internationale Energiewirtschaftstagung an Der TU Wien. Wien.
- [30] Florido, Airton, Amaral, Jr., Edsion, *Gestão de Perdas Comerciais Integrada ao CCS – Sistema de Gestão Comercial*, XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica SENDI2008 -06a10 de outubro Olinda – Pernambuco – Brasil.
- [31] ETSI TS 104 001 - Open Smart Grid Protocol (OSGP); Smart Metering/Smart Grid Communication Protocol, V2.2.1 (2019-01) – disponível em https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/104000_104099/104001/02.02.01_60/ts_104001v020201p.pdf, acessado em 09/11/2020.
- [32] SmartRegio. *Trend-Analysen auf Basis heterogener Massendaten*, 2017 disponível em https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Standardartikel/SmartDataProjekte/smart_data_projekt-energie_smartregio.html, acessado em 09/11/2020.
- [33] INEWI, *Forschungsprojekt Enervator Digitalisierung der Energiewende*, 2019, Frankfurt, disponível em https://www.energieforschung.de/antragsteller/foerderangebote/foerderaufruf_digitalisierung, acessado em 10/11/2020.
- [34] Designetz., *Designetz Verbunden mit kreativer Energie*. 2020, disponível em <https://www.designetz.de/>, acessado em 10/11/2020.
- [35] DENA., *Netzstudie I.*, 2005 pp 46, disponível em <https://www.dena.de/en/newsroom/publication-detail/pub/studie-dena-netzstudie-i/>, acessado em 10/11/2020.
- [36] DENA, *Vulnerabilities in smart meter infrastructure – can blockchain provide a solution? Results from a panel discussion at EventHorizon 2017*, 2017, pp30 disponível em https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9236_Vulnerabilities_in_smart_meter_infrastructure_-_can_blockchain_provide_a_solution.pdf, acessado em 10/11/2020.

- [37] ENERA, 2020, disponível em <https://projekt-enera.de/projektergebnisse/>, acessado em 10/11/2020.
- [38] Moma, *E-Energy: Modellstadt Mannheim - Beiträge Zur Transformation des Energiesystems für Nachhaltigkeit, Beteiligung, Regionalität und Verbundenheit*. Abschlussbericht, 2013, pp. 225 - disponível em https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/moma_Abschlussbericht_ak_V10_1_public.pdf, acessado em 10/11/2020.
- [39] MeRegio, *E-Energy: MeRegio - Aufbruch zu Minimum-Emission-Regions Abschlussbericht.*, 2013 disponível em <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/forschung/smarte-digitale-energiwelt/meregio.html>, acessado em 10/11/2020.
- [40] Smart Area Aachen, *Netze für die Stromversorgung Der Zukunft: Aufbau eines Intelligenten Stromnetzes im Stadtgebiet Aachen durch Komponenten der Energie-, Informations- und Kommunikationstechnik*, 2016, disponível em http://smartarea.de/wp-content/uploads/2016/07/Kommunikationsinfrastruktur_Fachbericht.pdf e <http://smartarea.de/>, acessado em 10/11/2020.
- [41] Memmel, M., Andreas A., Bretthauer S., Kirchmann H., Korf R., May M. and Wacker R., *SmartRegio – Employing Spatial Data to Provide Decision Support for SMEs and City Administrations*. REAL CORP 2017 disponível em https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/import/9242_MemmelAbeckerBretthauerKirchmannKorfMayWacker%2B17.pdf, acessado em 13/11/2020.
- [42] NIST, *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*, setembro, 2014, disponível em <https://www.nist.gov/system/files/documents/smartgrid/NIST-SP-1108r3.pdf>, acessado em 13/11/2020.
- [43] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Standardisierungsstrategie zur sektorübergreifenden Digitalisierung nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende Roadmap für die Weiterentwicklung der technischen BSI-Standards in Form von Schutzprofilen und Technischen Richtlinien*, pp. 77 disponível em https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/standardisierungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=3, acessado em 11/02/2021.
- [44] Mollah, M.B. at all, *Blockchain for Future Smart Grid: A Comprehensive Survey*, IEEE Internet of Things Journal, 2020 -pp. 26 disponível em <https://arxiv.org/pdf/1911.03298.pdf>, acessado em 13/11/2020.
- [45] BSI TR-03109. 2015, *Technische Vorgaben für Intelligente Messsysteme und deren sicherer Betrieb (Especificações técnicas para sistemas de medição inteligentes e sua operação segura)*, disponível em https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/TechnischeRichtlinien/tr03109/TR-03109_node.html, acessado em 13/11/2020.
- [46] GDEW, *Gesetz Zur Digitalisierung Der Energiewende* (Lei sobre a digitalização da transição energética), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016, pp31 – disponível em https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-digitalisierung-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=4, acessado em 14/11/2020.
- [47] Deutschland Digital Sicher BIS, *Das Smart-Meter-Gateway -Cyber-Sicherheit für die Digitalisierung der Energiewirtschaft*, pp 48, disponível em https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Smart-Meter-Gateway.pdf?__blob=publicationFile&v=1, acessado em 11/02/2021.
- [48] CEN-CENELEC-ETSI , *SEGCG/M490/G_Smart Grid Set of Standards- Version 4.*, CEN-CENELEC-ETSI Coordination Group on Smart Energy Grids (CG-SEG), 2017, pp 266 – disponível em ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/Fields/EnergySustainability/SmartGrid/CGSEG_Sec_0042.pdf, acessado em 10/11/2020.
- [49] CEN-CENELEC-ETSI , *Cyber Security and Privacy*, CEN-CENELEC-ETSI Coordination Group on Smart Energy Grids (CG-SEG), 2016, pp 69 – disponível em ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/Fields/EnergySustainability/SmartGrid/CGSEG_CSP_Report.pdf, acessado em 10/11/2020.
- [50] EPRI, *Cyber Security Road Map*, jan/2020, disponível em <https://smartgrid.epri.com/doc/3002017884.pdf>, acessado em 19/11/2020.
- [51] ANEEL, *Workshop Internacional de Segurança Cibernética*, out/2016, disponível em <https://www.aneel.gov.br/workshop-internacional-de-seguranca-cibernetica>, acessado em 17/11/2020.
- [52] CIGRE, *Relatório Anual do Comitê Técnico 2019, Plano de Metas 2020*, 2020, disponível em http://www.cigre.org.br/archives/Relatorio_de_Atividades_2019_final_170620.pdf, acessado em 15/11/2020.
- [53] DSIC, *e-Ciber, Estratégia Nacional de Segurança Cibernética - E-Ciber*, 05/02/2020, disponível em <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.222-de-5-de-fevereiro-de-2020-241828419>, acessado em 21/11/2020.

- [54] A proteção de dados na EU, disponível em https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_pt, acessado em 10/11/2020.
- [55] RGPD - *Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados*, EU, 2018 – disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02016R0679-20160504&from=PT>, acessado em 12/11/2020.
- [56] Smart grids task force – European Commission, *Recommendations to the European Commission for the Implementation of Sector-Specific Rules for Cybersecurity Aspects of Cross-Border Electricity Flows, on Common Minimum Requirements, Planning, Monitoring, Reporting and Crisis Management*, Final Report, June 2019, pp. 107, disponível em https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/sgtf_eg2_report_final_report_2019.pdf, acessado em 12/11/2020.
- [57] Smart Grid Task Force - European Commission, *Data Protection Impact Assessment Template for Smart Grid and Smart Metering systems*, Regulatory Recommendations for Privacy, Data Protection and Cyber-Security in the Smart Grid Environment, v. 2 of 13 September 2018 – pp 101, disponível em https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/document_s/dpia_for_publication_2018.pdf, acessado em 12/11/2020.
- [58] LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais - LEI Nº 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018, disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Lei/L13709.htm, acessado em 14/11/2020.
- [59] ABDI e IAPTEL, *Mapeamento da Cadeia Fornecedora de TIC e de seus Produtos e Serviços para Redes Elétricas Inteligentes (REI), Tendências de Modelos de Negócios e Tendências Tecnológicas Avaliando o Rebatimento no Brasil*, Sumário Executivo – versão Preliminar, 2015 – pp 119.
- [60] Projetos de P&D Propostos pelas Empresas de Energia Elétrica (Res. Normativa Nº 504/2012) – disponível em http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930488/Projetos_PED-ANEEL_%28Res_Norm_316-2008%29-2018-05-23.xls/f02bb791-2810-0b67-1498-faed68e1f6f6, acessado em 19/10/2020.
- [61] Amazonas Energia, *Desenvolvimento de um Modelo de Referência, para as EDEs, fundamentado na experimentação de aplicações de um conjunto de tecnologias dentro do conceito Smart Grid*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2015 – pp 161.
- [62] Ampla/ENEL, *Estudo dos efeitos da implementação de tecnologias de redes elétricas inteligentes (smart city) – Projeto Cidade Inteligente Búzios*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2016 – pp 237.
- [63] Ampla/ENEL, *Solução de comunicação para smart grid utilizando tecnologias de rede em malha*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2013 – pp 77.
- [64] CELPE, *Desenvolvimento e implementações de provas de conceito de redes inteligentes (ri) em localidade piloto com elevadas restrições ambientais – caso ilha de Fernando de Noronha (ifn) relatório*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2017 – pp 348.
- [65] Cemig, *D423 – Desenvolvimento de Modelo Funcional Smart Grid através de integrações sistêmicas de soluções inteligentes para automação da rede de distribuição, infraestrutura avançada de medição e participação do consumidor*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 236.
- [66] Cemig, *D 373 LP - Infraestrutura de uma Rede Inteligente (Smart-Grid) a Baixo Custo*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2015 – pp 588.
- [67] Cemig, *PD-04950-0420 - Desenvolvimento de modem PLC para aplicações de telecomunicações e Smart Grids em redes de baixa tensão*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2013 – pp 1574.
- [68] Cemig, *D424 - Desenvolvimento de uma Plataforma de Testes de Conformidade e Interoperabilidade de Dispositivos Smart Metering e Desenvolvimento de uma Solução Segura de Comunicação Híbrida WMAN-WiMAX para Automação de Rede*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 98.
- [69] Elektro, *Modelo de Referência para Implantação de Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid)*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2018 – pp 117.
- [70] Elektro, *Avaliação de segurança para medidores eletrônicos e de smart metering*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 396.
- [71] Light, *L1 - desenvolvimento de uma plataforma de redes inteligentes, integrando sistemas de medição de energia e automação de redes de distribuição, utilizando certificação digital e criando interoperabilidade para suportar o programa de Smart Grid (SG)*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 130.
- [72] Light, *L2 - desenvolvimento de sistema de gestão em tempo real de rede de distribuição subterrânea, através de monitoramento, diagnósticos e reconfiguração, dentro da plataforma e conceitos do programa Smart Grid*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 99.
- [73] Light, *Sistema para gestão energética pelo lado da demanda associado a outros serviços promovendo a socialização do consumo de eficiente através do uso de canais multimídia interativos integrados à Plataforma e Conceitos do Programa Smart Grid*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2014 – pp 181.

- [74] AES-Eletropaulo, *Projeto Estruturante de Redes Inteligentes em Regiões Metropolitanas visando Desenvolvimento e Demonstração de Soluções Inovadoras utilizando o conceito de Living Labs*, Projeto de Pesquisa ANEEL, 2016 – pp 1624.
- [75] ABDI, e_ABDI – *Transformação Digital – documento base para a definição das ações da ABDI em transformação digital*, 2019 , pp121 disponível em <https://api.abdi.com.br/storage/files/boas-praticas/gEJ0uQOeYlUaFPHIRW2d/E-ABDI.pdf>, acessado em 20/11/2020.
- [76] CGI.br, *Pesquisa Sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nos Domicílios Brasileiros – TIC DOMICÍLIOS 2019*, 23/11/2020 disponível em https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20201123121817/tic_dom_2019_livro_eletronico.pdf, acessado em 23/11/2020.
- [77] Joint Research Centre (JRC) European Commission, *Smart grid projects in Europe: lessons learned and current developments*, REFERENCE REPORTS, 2011 disponível em https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC65215/smartgridprojects-report_final_pubsy.pdf, acessado em 28/10/2020.
- [78] JRC, *Smart grid projects outlook 2017: facts, figures and trends in Europe*, JRC Science for Policy Report, 2017pp.90- disponível em https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106796/sgp_outlook_2017-online.pdf, acessado em 10/11/2020.
- [79] Smart Consumer Collaborative, *Smart Grid Customer Engagement Success Stories*, março/2013 – disponível em <http://smartenergycc.org/wp-content/uploads/2013/03/SGCC-Customer-Engagement-Success-Stories-Sample-Report.pdf>, acessado em 22/11/2020.
- [80] Global Enabling Sustainability Initiative (GeSI), *Digital solutions for climate action- using ICT to raise ambitions on climate action in low- and middleincome countries*, 2020 – pp112.
- [81] Rodrigues da Silva, Ana Lucia, Hollanda, Lavinia, Kileber, Solange, *Tarifa Moderna – Visões sobre o futuro da tarifa de distribuição de energia elétrica*, 11/2020, Sinergia Editora, pp 200.
- [82] ANEEL, *Agenda Regulatória aprovada pela Portaria nº 6.527, de 13/10/2020*, disponível em <https://www.aneel.gov.br/documents/660863/21048165/Agenda+Regulat%C3%B3ria+2020+2021+-+Revis%C3%A3o+2/5984a22f-c72f-6058-6df4-f93c56bd58a2>, acessado em 27/11/2020.
- [83] ANEEL, *Plano De Transformação Digital (PTD)- 2018-2021*, 07/2018, disponível em <https://www.aneel.gov.br/documents/656835/15171728/Plano+de+Transforma%C3%A7%C3%A3o+Digital+2018-2021/cc0ba743-7a84-b803-8181-e031741f90b7>, acessado em 27/11/2020.
- [84] ANEEL, *Planejamento Estratégico da ANEEL para o Ciclo 2018- 2021*, PORTARIA Nº 4.823, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2017, disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt20174823.pdf>, acessado em 19/11/2020.
- [85] IEI-Brasil, *Maior disseminação de recursos energéticos distribuídos (REDs) – sugestões para mitigar impactos tarifários e orientações para uma nova política energética* – textos de discussão sobre energia volume 1, no 5, 2018 – pp 31.
- [86] MIT, *Utility of the Future*, Cambridge Institute of Technology, 2016, pp.382 – disponível em <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/12/Utility-of-the-Future-Full-Report.pdf>, acessado em 28/11/2020.
- [87] GCCE, *Terceiro Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL*, PAR PROCEL 2020/2021, 2020 – pp130.
- [88] GIZ, *Eficiência energética e energia solar fotovoltaica em prédios públicos - Guia Prático para a preparação de investimentos urbanos*, 2020, pp 160.

