

RESUMO EXECUTIVO DSO BRIEF

ACELERANDO A MEDIÇÃO INTELIGENTE

DIRETRIZES REGULATÓRIAS PARA IMPLANTAÇÃO NA AMÉRICA LATINA





EDITORES

Alessandra Amaral, Roberto Cajamarca Gómez,
Joaquín Lazo Sánchez.

COLABORADORES

Emilio Enrique Argüello Muñoz, Edward Arias, Cyro Boccuzzi, Claudio Bulacio, Dimas Carranza, Martín Cruz, José Manuel Da Peña, Valeria d'Ettorre, Alfredo Gallegos González, Yohana Galvis Silva, Martín Lamas Marcos Javier Leyes, Paolo Abeld Quispe Mamani, Ednelson de Moraes, Daniel Alejandro Moreno, Fernando Mosteirín, Daniel Picchi, Jorge Rodríguez Vargas, Juan Pablo Rodríguez Iglesias, Mauricio Rojas, Hans Rother Salazar, Santiago Scarlato, Franchesco Somontes Marin, Mena Testa, Juan Carlos Tripaldi, Eduardo Visintini.

Agradecemos ao nosso parceiro, Cyro Boccuzzi, sócio-diretor da ECOEE, consultoria pioneira em gestão e tecnologias de sistemas inteligentes de energia e fundador e presidente do Fórum Latino-Americano de Smart Grid, por sua valiosa contribuição na revisão do documento.



A distribuição de eletricidade está passando por uma transformação impulsionada pela eletrificação, geração distribuída e variabilidade dos fluxos de energia, o que torna o modelo tradicional de redes passivas insuficiente. A Infraestrutura Avançada de Medição (AMI) consolida-se como a base digital que permite a operação de redes mais dinâmicas, integrando medição, comunicações e gerenciamento de dados. Ao contrário da telemetria básica, a AMI incorpora comunicações bidirecionais e funções de controle, proporcionando observabilidade de baixa tensão, dados granulares e monitoramento contínuo.

Com base nisso, a AMI possibilita funções estratégicas: dados de alta frequência permitem identificar perdas e antecipar congestionamento; sua capacidade de gerenciar fluxos bidirecionais integra geração distribuída e novos perfis de carga, como veículos elétricos; e a granularidade temporal é fundamental para as tarifas horárias e para a resposta à demanda. Em suma, a AMI é a infraestrutura digital mínima para operar sistemas com alta penetração de recursos distribuídos.

Apesar de seu papel central, a implantação da AMI envolve desafios econômicos significativos. Um estudo da ADELAT e GME estima que o investimento necessário em sete economias latino-americanas ultrapassa USD 51,4 bilhões para uma transição efetiva até 2040. Esse volume de capital é evidência de um compromisso crítico: a tecnologia é indispensável para a eficiência futura, mas seu custo é difícil de assumir sob estruturas regulatórias que não evoluíram no mesmo ritmo e frequentemente privilegiam a infraestrutura física tradicional. O papel do regulador é decisivo para tornar essa modernização viável, por meio de mecanismos claros para a recuperação de investimentos, normas técnicas e uma Análise Nacional de Custo-Benefício. Sem reconhecimento tarifário e incentivos adequados, o investimento em AMI é restrito a pilotos. Na América Latina, esses desafios são intensificados pela persistência de perdas não técnicas, heterogeneidade socioeconômica e disparidade de capacidades entre distribuidores, resultando em progressos fragmentados.



01

PROGRESSO DA IMPLANTAÇÃO DE AMI NA AMÉRICA LATINA E ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Globalmente, mais de 1,2 bilhão de medidores inteligentes foram instalados, com Europa e América do Norte liderando a implementação graças a mandatos regulatórios e análises positivas de custo-benefício. A União Europeia atingiu uma penetração média de 56% em 2022, com países como Itália e Espanha completando a substituição total. Os Estados Unidos ultrapassam 68%, enquanto China e Japão caminham para ciclos de segunda geração. Em contraste, a América Latina está em fase inicial, com penetrações geralmente abaixo de 10% e avanços concentrados em alguns países.

Dentro da região, o Uruguai (80%), Costa Rica (54%) e Honduras (23%) apresentam o maior grau de progresso, embora com abordagens diferentes: o Uruguai seguiu uma implantação centralizada liderada por sua empresa estatal e articulada com o planejamento nacional de energia; A Costa Rica avança sob uma estratégia regulatória explícita com objetivos definidos e uma implantação obrigatória executada em fases geográficas; e Honduras promoveu a AMI para reduzir perdas não técnicas, primeiro por meio de um esquema de concessão e, mais recentemente, por meio de intervenções direcionadas do Estado.

Um segundo grupo, com penetrações entre 3% e 9%, inclui o Chile (8,8%), onde o mandato obrigatório foi revertido para voluntário devido à rejeição social, o que levou a uma implantação voluntária e gradual supervisionada pelo regulador; A Guatemala (8,4%) avançou sem uma estratégia nacional formalizada, com iniciativas individuais das distribuidoras voltadas para a eficiência comercial; O México (6%) concentra o maior volume absoluto de medidores instalados na região, com um modelo centralizado no CFE para reduzir perdas; O Brasil (5,6%) combina baixa penetração residencial com grandes projetos em execução e um processo regulatório voltado para estabelecer diretrizes mínimas em nível federal; A Colômbia (3,9%) possui um arcabouço regulatório e metas para 2030, embora a implantação física esteja em estágios iniciais, liderada por empresas de distribuição baseadas em pilotos urbanos; Argentina (3,3%), com avanços em pilotos; e o Equador (3,1%) promoveu intervenções localizadas no âmbito de planos de eficiência energética, incluindo iniciativas recentes em grandes cidades com a participação da distribuidoras públicas regionais.

Um terceiro conjunto de países apresenta cobertura inferior a 1%, como Peru (1,3%), Paraguai (0,5%) e El Salvador (0,5%), focado em pilotos ou fases iniciais. Por fim, Panamá e República Dominicana começaram recentemente implantações, enquanto Nicarágua, Bolívia e Venezuela fizeram progressos muito limitados devido a limitações financeiras e institucionais, sem programas nacionais de medição inteligente e com esforços específicos ou incipientes em um contexto de limitações financeiras, estruturas institucionais fracas e, em alguns casos, deterioração operacional dos sistemas elétricos.

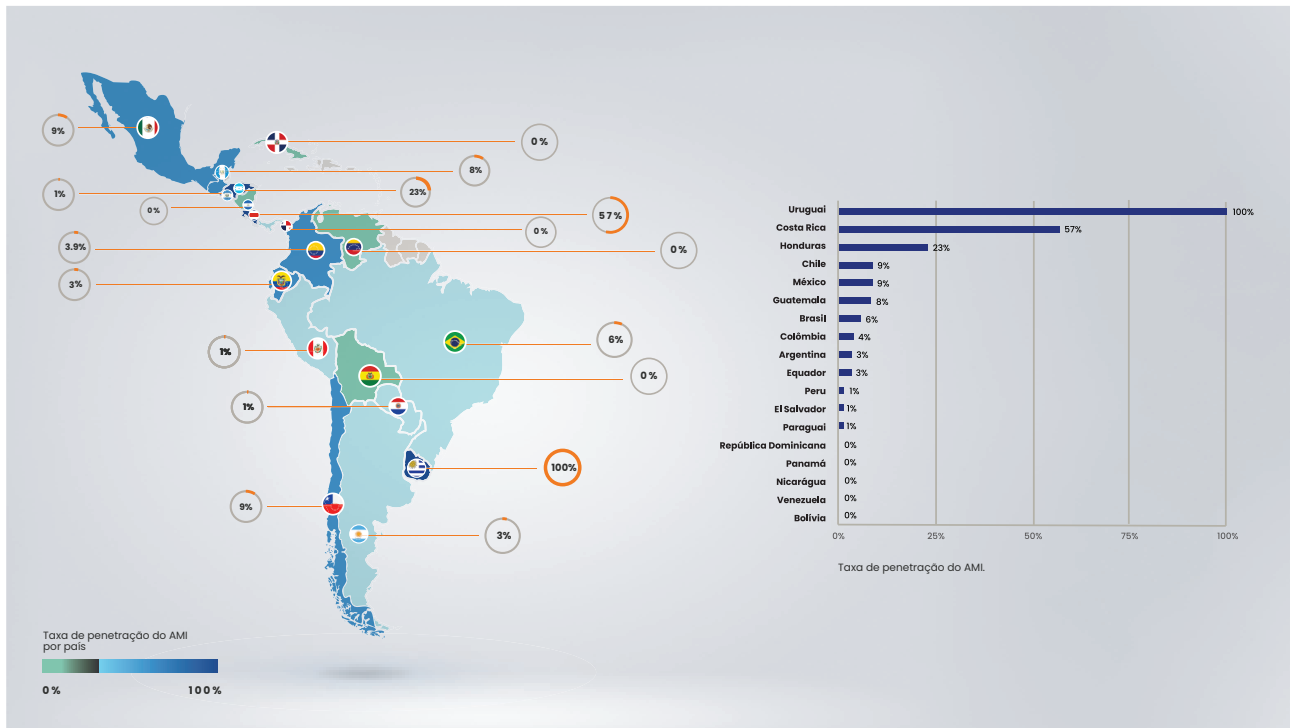


Fig. 1. Penetração estimada de medidores inteligentes de baixa tensão por país na América Latina e no Caribe (2024). Fontes: ADELAT (2024b), IDB (2023), Grupo Mercados Energéticos, ICE e comunicados de imprensa.

As abordagens para implantar a sagra na região são diversas. Costa Rica e Colômbia lideram com objetivos nacionais claros e apoio regulatório. A Costa Rica busca 100% de cobertura até 2028, e a Colômbia 75% até 2030, ambos com roteiros detalhados e mecanismos de recuperação tarifária. Peru e Brasil têm planos ambiciosos na fase de projeto; O Peru propõe a massificação para 2025-2035, enquanto o Brasil avança em uma regulamentação que estabelece metas mínimas obrigatórias de curto prazo como prelúdio para uma implantação condicionada a uma análise custo-benefício. No Equador, El Salvador, Guatemala e Argentina não há objetivos nacionais definidos; A implantação é impulsionada pelas decisões corporativas das distribuidoras para controle de perdas ou modernização. A Argentina está em uma fase de avaliação tecnológica com pilotos, sem um roteiro nacional. O Chile representa um caso único. Uma política inicial de substituição massiva e obrigatória foi revertida em 2019 após forte controvérsia pública, tornando a implantação um processo voluntário. O caso chileno ilustra os riscos de avançar sem comunicação eficaz e consenso social, especialmente quando a substituição não vem acompanhada de novas opções tarifárias ou sinais econômicos visíveis aos usuários.



A modernização dos sistemas de distribuição de eletricidade tornou-se um componente central da transição energética

02

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA AMI E DESEMPENHO DA INFRAESTRUTURA

O sucesso da modernização da medição depende da solidez técnica da infraestrutura instalada. A definição de funcionalidades, a seleção de tecnologias de comunicação e a garantia de interoperabilidade são fatores críticos para que os sistemas AMI respondam aos desafios operacionais e regulatórios da América Latina.

A evolução internacional da medição inteligente distingue dois estágios. A primeira onda (meados dos anos 2000-2010) focou na eficiência operacional, com a leitura remota como função principal, com comunicações limitadas e um conjunto reduzido de registros. A segunda onda (desde 2020) responde à digitalização e integração de recursos distribuídos, caracterizada por maior granularidade de dados, comunicações bidirecionais, atualização remota de software, reforço da cibersegurança e funções para operar redes dinâmicas.

A implementação na América Latina mostra um padrão híbrido. A maioria das empresas declara um conjunto funcional amplo que vai além da simples telemetria, incluindo gravações bidirecionais, medição de energia reativa e detecção de adulterações. No entanto, não há adoção total de capacidades de segunda onda, como gestão ativa de flexibilidade, granularidade dinâmica orientada a taxas ou arquiteturas projetadas para a integração sistemática de recursos distribuídos. O resultado é um modelo latino-americano de AMI que combina atributos de segunda geração com ênfase na redução de perdas não técnicas. Um aspecto distintivo é a baixa presença de autorização pré-paga. Isso não se deve a um atraso tecnológico, mas à falta de marcos regulatórios específicos que definam regras de faturamento, recarga e proteção para clientes vulneráveis.

A capacidade de um sistema AMI também depende de sua arquitetura de comunicações, que suporta transmissão contínua, segura e confiável de dados. A implantação na América Latina mostra uma forte dependência de soluções de comunicação projetadas para se adaptar a redes heterogêneas e territórios complexos, o que torna a seleção de tecnologia um elemento estratégico no desenvolvimento da AMI na região. Um amplo espectro de tecnologias é utilizado na região, organizado em redes de área de bairro (NANs) e redes de área ampla (WANs). No NAN, soluções PLC em ambientes urbanos e RF Mesh em áreas onde a rede elétrica é difícil. Para WAN, redes celulares (2G a 5G) são usadas, complementadas por fibra óptica ou links via satélite. Uma característica marcante é a configuração de arquiteturas híbridas que combinam simultaneamente CLP, radiofrequência e comunicações celulares dentro da mesma rede. Essa prática responde a uma necessidade estrutural: nenhuma tecnologia única oferece desempenho suficiente diante da heterogeneidade das redes latino-americanas, que incluem áreas densas com ruído elétrico, grandes áreas rurais com baixa concentração de usuários e setores com topologias complexas ou interferências relevantes. Os desafios não vêm da disponibilidade tecnológica, mas das condições operacionais: em CLPs, ruído elétrico e atenuação de sinal são problemas recorrentes; Na frequência de rádio, cobertura e interferência são as principais dificuldades; e as comunicações celulares enfrentam restrições de cobertura e custos operacionais. A coexistência de múltiplas tecnologias de comunicação, arquiteturas híbridas e fornecedores distintos requer estruturas de interoperabilidade mais robustas, processos formais de homologação e padrões de comunicação que garantam a continuidade operacional ao longo de todo o ciclo de vida do sistema.

A interoperabilidade é fundamental para que os sistemas AMI operem sob uma arquitetura comum, independentemente do fabricante. Na América Latina, essa dimensão está em estágio inicial, com predominância de arquiteturas proprietárias ou parcialmente abertas, e poucos arcabouços regulatórios que estabeleçam padrões unificados de medição e comunicação. A norma internacional mais difundida é a IEC 62056 (DLMS-COSEM), embora algumas distribuidoras utilizem normas ANSI. Mesmo com padrões abertos como DLMS-COSEM, sua implementação prática varia entre fabricantes, levando a incompatibilidades. Na ausência de diretrizes formais, as concessionárias gerenciam a interoperabilidade por meio de processos internos de aprovação, testes laboratoriais e pilotos que validam a compatibilidade entre medidores, hubs, sistemas de gerenciamento de dados e tecnologias de comunicação. Essa abordagem envolve altos custos, longos tempos de integração e, às vezes, dependência significativa do provedor dominante. As principais barreiras são a persistência de protocolos proprietários, restrições regulatórias que limitam a adoção de certos padrões, implementações heterogêneas do mesmo protocolo, falta de laboratórios de certificação independentes e ausência de regulamentação que exija padrões abertos. A região precisa avançar em direção a diretrizes técnicas unificadas e mecanismos formais de certificação para sustentar implantações de AMI escaláveis e tecnologicamente abertas.

“

A análise das metas nacionais e dos níveis de penetração mostra que a região está caminhando para a modernização de seus sistemas de medição



03

INTEGRAÇÃO AMI COM SISTEMAS CORPORATIVOS

A capacidade de uma AMI de gerar valor depende de sua integração com as plataformas corporativas que as distribuidoras usam para operar, planejar e gerenciar seus clientes. Integrar a AMI com sistemas corporativos determina se os dados se traduzem em decisões operacionais e processos de negócios mais precisos. As distribuidoras da região apresentam um panorama diversificado. Na maioria dos casos, a AMI se conecta primeiro com sistemas empresariais e de faturamento para automatizar a leitura, melhorar a qualidade dos dados e reduzir o retrabalho. Em um grupo mais restrito de empresas, a integração com plataformas operacionais como SCADA é observada. Um grupo mais limitado integra AMI com plataformas operacionais como SCADA ou OMS para localização de falhas, monitoramento de rede e gerenciamento de interrupções. Outros estão em estágios preliminares, com compartilhamento manual de arquivos.

Quanto aos mecanismos usados para integrar AMI com sistemas operacionais, predominam arquiteturas baseadas em APIs, serviços web e barramentos de integração de negócios para automatizar fluxos de informação entre MDM, sistemas empresariais e plataformas operacionais. Esses resultados sugerem que a região está caminhando para esquemas mais modulares e baseados em serviços, embora soluções de diferentes escalas e maturidade técnica ainda coexistam.

Alguns fornecedores planejam aprofundar a integração à medida que suas implantações amadureçam, incorporando MDMs como repositórios centrais e conectando-se a plataformas operacionais para viabilizar funcionalidades avançadas. No entanto, algumas empresas ainda não possuem infraestrutura AMI totalmente operacional, outras dependem de soluções proprietárias que dificultam a integração, e várias enfrentam restrições institucionais ou orçamentárias para modernizar seus sistemas legados, resultando em progressos irregulares na consolidação de uma arquitetura digital interoperável.

A adoção da análise baseada em dados da AMI na América Latina está em estágio inicial. Entre as distribuidoras que desenvolveram casos de uso, predomina o foco na eficiência operacional e comercial: detecção de perdas não técnicas, validação de consumo, balanços energéticos, previsão de demanda e otimização dos processos de leitura, faturamento e cobrança. Casos foram relatados em que essas ferramentas analíticas aumentaram a taxa de detecção de perdas em cerca de 50% em comparação com os métodos tradicionais. No entanto, uma proporção significativa das empresas ainda não possui essas capacidades. Diversas distribuidoras começaram a explorar aplicações operacionais, como detecção de desvio de tensão, análise de capacidade de carga de transformadores e integração com plataformas OMS para suportar a localização de falhas. Apesar desses avanços, persistem lacunas como a falta de integração total entre a AMI e os sistemas corporativos, qualidade insuficiente da informação e dependência de soluções proprietárias, o que condiciona a consolidação de análises avançadas na região.

04

GOVERNANÇA DE DADOS, CIBERSEGURANÇA E RELAÇÕES COM USUÁRIOS

A adoção da AMI apresenta desafios para a governança de dados, cibersegurança e relações com usuários finais. Esses aspectos determinam a viabilidade institucional e a legitimidade social da implantação, bem como a confiança do consumidor no manuseio de suas informações.

O acesso transparente às informações de uso é um atributo central dos sistemas modernos de AMI, permitindo que os usuários compreendam seus padrões de uso, gerenciem melhor sua demanda e participem de forma mais ativa do serviço elétrico. Na América Latina, o progresso é parcial. Algumas distribuidoras habilitaram portais web e aplicativos móveis que permitem consultar o consumo quase em tempo real, visualizar curvas de carga, revisar o histórico de faturamento e, em alguns casos, acessar módulos específicos para clientes com AMI. Outros fornecem informações mais básicas ou estão projetando esses canais. Persistem lacunas, como a ausência de formatos comuns para a entrega de dados, a interoperabilidade limitada com aplicações de terceiros, a ausência de canais unificados para visualizar informações de custo ou eventos operacionais, e a redução da massificação dos medidores inteligentes conectados, o que restringe o potencial de envolvimento ativo do usuário.

A crescente digitalização da medição exige um papel central para a cibersegurança. A infraestrutura AMI introduz milhões de pontos de entrada que precisam ser integrados de forma segura com plataformas corporativas e sistemas operacionais de rede. Embora a região esteja avançando nessa área, há uma variabilidade significativa na adoção de políticas formais. As concessionárias mais avançadas seguem padrões internacionais como ISO/IEC 27001 para gestão de segurança da informação e ISO/IEC 27019 para sistemas industriais no setor de energia, e implementam criptografia e testes de penetração de ponta a ponta durante os processos de aprovação de medidores e sistemas MDMS/HES. No entanto, uma parte importante das empresas está em estágios iniciais, com diretrizes gerais de segurança, medidas básicas de reforço de rede e controles sobre o manuseio de credenciais, sem ainda possuir frameworks específicos orientados para AMI. O progresso no acesso à informação e análises deve ser acompanhado por um fortalecimento sistemático das práticas de cibersegurança para proteger infraestruturas críticas e proteger os dados dos usuários.

A crescente disponibilidade de dados granulares dos consumidores aumenta a relevância dos frameworks de privacidade que regulam o processamento dessas informações. Na América Latina, a regulamentação aplicável vem principalmente das leis gerais de proteção de dados pessoais, e não de regulamentos setoriais dedicados à AMI, gerando um panorama fragmentado onde a proteção das informações depende tanto do arcabouço legal nacional quanto das práticas internas de cada distribuidor. Países com legislação avançada aplicam princípios como consentimento do usuário, limitação de uso para fins autorizados, anonimização para análises operacionais e obrigações de segurança para controladores de dados. Em alguns casos, regulamentos setoriais complementam esses requisitos, como é o caso no Chile com as disposições sobre Sistemas de Medição, Monitoramento e Controle, ou na Colômbia, onde a regulamentação de medição inteligente se refere explicitamente às leis de habeas data (habeas data). No entanto, uma proporção significativa de distribui-

doras indica que não existe uma regulamentação específica, o que evidencia lacunas institucionais. A heterogeneidade observada sugere a necessidade de avançar para estruturas claras que definam direitos dos usuários e obrigações de processamento para dados de consumo.



05

MODELOS ECONÔMICOS, FINANCIAMENTO E RECUPERAÇÃO DE INVESTIMENTOS

A viabilidade da AMI é determinada pelos modelos de financiamento, pelos critérios econômicos das distribuidoras e pelos mecanismos regulatórios para recuperar investimentos. A análise revela uma transição estrutural nos modelos de proprietário, impulsionada mais pela necessidade tecnológica do que por definições regulatórias. Historicamente, predominava um esquema em que o medidor eletromecânico era propriedade do usuário final, que pagava pelo dispositivo no momento da conexão. No entanto, a natureza da AMI — de um ativo isolado a um sensor de rede integrado que exige gestão centralizada de dados, cibersegurança e constante renovação tecnológica — está forçando uma mudança para esquemas onde a propriedade e a responsabilidade pelo investimento recaem sobre o distribuidor. No entanto, a simples alocação de propriedade é insuficiente se não for acompanhada de uma modernização nos critérios para o reconhecimento dos ativos.

Com base nas informações coletadas das empresas associadas à ADELAT, são identificados três tipos de financiamento:

O modelo de propriedade do distribuidor, com reconhecimento regulado, é o mais sustentável e corresponde a mercados como Brasil e Costa Rica, onde a regulamentação reconhece o medidor inteligente como um ativo de rede remunerado na tarifa. No Brasil, essa abordagem foi claramente proposta no âmbito da Consulta Pública 198/2025. No entanto, persistem desafios, como a necessidade de adaptar vidas úteis regulatórias, pois, ao contrário dos ativos eletromecânicos que podem ser amortizados ao longo de 30 anos, os componentes AMI (módulos de comunicação, software) possuem ciclos de obsolescência tecnológica muito mais curtos. Na Costa Rica, a empresa estatal de eletricidade é de propriedade própria, e o financiamento é estruturado por meio de uma combinação de capital próprio e alavancagem com bancos multilaterais. A lição desse grupo é que a propriedade da distribuidora funciona, desde que a regulamentação aceite que os custos de licenciamento, cibersegurança e telecomunicações são investimentos essenciais e não “ineficiências” operacionais.

Outros países estão em fase de transição regulatória, migrando de um regime em que o cliente comprava o medidor para um em que a lei atribui responsabilidade ao distribuidor, gerando atritos financeiros não resolvidos. Países como Chile e Colômbia atribuíram a responsabilidade pelo investimento ao distribuidor, mas sem resolver atritos financeiros como “ativos parados”: como financiar os novos medidores inteligentes sem ter terminado de depreciar ou recuperar o valor dos medidores convencionais que serão aposentados antecipadamente. Isso força as empresas a financiar a modernização com seu próprio capital e/ou alto risco, limitando a implantação a projetos-piloto.

Mas o cenário predominante é o da propriedade da distribuidora sem reconhecimento explícito, em países como Argentina, Peru e Guatemala. Lá, são feitos investimentos com o fluxo de caixa operacional da empresa, motivados por emergências específicas, como a redução de perdas não técnicas ou a atenção aos grandes usuários, mas sem um mecanismo para transferência para a tarifa. A falta de categorias regulatórias para capitalizar software ou reconhecer OPEX tecnológico condena a AMI a ser uma tecnologia de nicho de alta lucratividade e não uma infraestrutura universal.

Embora o consenso técnico aponte para a medição inteligente como a espinha dorsal da transição energética, a equação econômica local para justificar seu investimento (business case) é muito mais complexa de fechar do que em economias desenvolvidas. A construção dos casos de negócio segue duas orientações principais: o foco na recuperação de perdas, predominante na Argentina, Peru, Guatemala e áreas específicas do Brasil, onde a Análise Custo-Benefício (CBA) é positiva apenas em áreas com altas taxas de fraude, e que resulta em uma implantação fragmentada, concentrada em áreas problemáticas ou grandes usuários industriais; e o abordagem de eficiência operacional, utilizada no Chile e em áreas maduras do Brasil e Colômbia, que incorpora economia operacional (OPEX) em leitura manual, corte/reconexão e redução de sinistros comerciais. No entanto, seu impacto é limitado pelo custo relativamente baixo da mão de obra na região, ao contrário da Europa ou dos Estados Unidos, onde eliminar a leitura manual gera economias gigantescas que o medidor paga.

Modelos tradicionais de avaliação financeira, restritos ao caixa registrador da empresa (teste de custo de utilidade), são insuficientes para a implantação universal. Se a AMI for instalada apenas onde for lucrativo para a empresa (áreas de roubo ou grandes clientes), a divisão digital energética se aprofundará. Para superar essa estagnação, é imprescindível avançar para uma Análise de Custo-Benefício social e sistêmica que monetize benefícios como maior resiliência, qualidade de serviço e adiamento de investimentos em redes e geração. Se o regulador permitir que a distribuidora capture uma fração dessa economia de capital diferida, a implantação se torna viável. Os critérios de avaliação devem abandonar a ideia de “custo médio nacional”; A regulamentação deve permitir avaliações por agrupamentos ou tipologias de zonas, reconhecendo que os custos e benefícios não são homogêneos, e ajustar os horizontes de amortização aos ciclos de substituição tecnológica dos ativos digitais.



06

BARREIRAS À ESCALA E CONDIÇÕES FAVORÁVEIS

A implantação da AMI na América Latina enfrenta um “paradoxo da implementação”: apesar do consenso sobre seu papel indispensável, a transição de implantações limitadas ou piloto para adoção em massa está fragmentada devido a barreiras estruturais.

Barreiras regulatórias e econômicas: A principal é a ausência de um arcabouço regulatório explícito que defina obrigações, incentivos e mecanismos de remuneração, fazendo com que as implantações dependam de casos de negócios internos e pilotos, em vez de programas massivos com previsibilidade de receita e regras claras de gradualidade. Regulação baseada em um “modelo eficiente de empresa” para ativos físicos estáticos e de longa duração, enquanto a AMI desafia essa lógica, pois se comporta como um investimento digital com ciclos de inovação mais rápidos. A assimetria CAPEX/OPEX enfraquece o business case ao não reconhecer custos operacionais chave, como software e cibersegurança. Além disso, mesmo com o reconhecimento de ativos, os esquemas tarifários nem sempre capturam os benefícios sistêmicos atribuíveis à AMI (redução de perdas, eficiência operacional, gestão avançada da demanda). O resultado é uma lacuna entre o valor social/setorial do investimento e sua recuperabilidade financeira. Por fim, a substituição em massa dos medidores antigos pode envolver a aposentadoria de equipamentos que ainda têm valor contabilístico; Se não houver um mecanismo de recuperação ou um tratamento regulatório claro, a modernização se traduz em uma destruição imediata do valor para o distribuidor, mesmo quando os benefícios a longo prazo são positivos.

Barreiras tecnológicas e de infraestrutura: As limitações não estão apenas no medidor, mas no ecossistema que o cerca: comunicações, interoperabilidade, integração com sistemas corporativos e governança de dados. A conectividade é um desafio delicado, com problemas de estabilidade em redes PLC e cobertura celular limitada. Além disso, há uma lacuna de última milha que obriga, em certos territórios, a implantar redes privadas caras. Ao mesmo tempo, o desligamento progressivo das redes 2G/3G introduz um risco de obsolescência acelerada que não é controlada pelo setor elétrico. A falta de interoperabilidade entre múltiplas tecnologias de medição e comunicação aumenta a complexidade operacional e exige processos contínuos de integração. Ao mesmo tempo, a falta de padrões obrigatórios e certificação local aumenta o risco de travamento tecnológico e dificulta a integração entre múltiplos fornecedores. A cibersegurança também surge como uma barreira, pois expande a superfície de ataque e exige investimentos nem sempre reconhecidos pela regulamentação.

Barreiras operacionais e de implementação: prazos estendidos na fabricação e entrega de equipamentos que dificultam o agendamento e podem impactar a conformidade com planos regulamentados ou objetivos corporativos. Além disso, a dependência do suporte técnico internacional, que em alguns casos introduz atrasos na resolução de problemas e limita a capacidade de responder a contingências operacionais. Essa dependência torna-se mais crítica à medida que a frota instalada aumenta, pois os incidentes deixam de ser excepcionais e passam a fazer parte da operação diária. A escalabilidade exige um fortalecimento contínuo das capacidades internas: gestão da plataforma AMI, operação de banco de dados, monitoramento, cibersegurança e gestão da infraestrutura de TI. As experiências disponíveis também ressaltam a relevância de uma estratégia de compras e contratação alinhada ao risco do programa.

Barreiras sociais e culturais: A escalabilidade exige uma “licença social” que pode ser ameaçada por desinformação, percepções erradas ou medos sobre privacidade. Como resultado, comunicação e transparência deixam de ser atividades complementares e se tornam componentes estruturais do programa. Em áreas rurais ou de difícil acesso, a instalação pode exigir maior esforço de coordenação comunitária, acompanhamento técnico e estratégias de relacionamento diferenciadas. Em territórios com alta vulnerabilidade social, o medidor pode ser percebido como uma ameaça às economias informais, aumentando o risco de vandalismo, roubo de equipamentos e violência contra o pessoal, o que eleva custos e condiciona a priorização da implantação.

Essas barreiras tendem a se reforçar mutuamente. Conectividade imperfeita ou interoperabilidade fraca aumentam custos e prazos, o que agrava o problema da recuperação tarifária e da bancarização; por sua vez, a falta de clareza regulatória sobre OPEX digital e cibersegurança reduz a capacidade de sustentar o ecossistema que torna a AMI valiosa; e, em ambientes de baixa confiança ou alto conflito territorial, a implantação se torna mais cara e mais lenta, justamente quando a programação e a continuidade operacional são essenciais para captar benefícios.

Condições favoráveis: Superar essas barreiras exige estruturas regulatórias que reconheçam todo o ecossistema AMI, incluindo o OPEX, e monetizem seus benefícios sociais. É prioridade estabelecer padrões técnicos obrigatórios e mecanismos de certificação para reduzir atritos tecnológicos. A escalabilidade deve ser gerenciada como um programa operacional abrangente, fortalecendo as capacidades internas e as estratégias de contratação. Por fim, uma estratégia de relacionamento com o usuário que gere confiança e atenda às realidades locais, especialmente em territórios vulneráveis, é essencial.



Tabela 1. Resumo das barreiras à escala e condições facilitadoras.

Grupo	Barreira	Condição de classificação
Regulação e economia	Ausência de um arcabouço regulatório explícito (obrigações, incentivos e mecanismos de remuneração) que permita a transição de programas piloto para programas de massa	Roteiro regulatório da AMI (metas, gradualidade, governança, obrigações mínimas de desempenho) e mecanismo de recuperação de custos (reconhecimento com base regulatória/renda permitida ou esquema equivalente).
	Abordagem de "modelo empresarial" que padroniza ativos físicos estáticos e transfere riscos para a distribuidora em relação aos investimentos digitais	Ajuste critérios de eficiência para investimentos digitais: referências por resultados, KPIs e reconhecimento dos custos associados à evolução tecnológica.
	Assimetria CAPEX/OPEX: O valor da AMI depende de software, nuvem e telecomunicações	Adotar lógica de custo total e/ou esquemas TOTEX; criar categorias regulatórias para capitalizar software ou reconhecer OPEX tecnológico.
	Os esquemas tarifários não capturam benefícios sistêmicos do AMI (redução de perdas, eficiência operacional, gestão da demanda)	Metodologias para monetização e compartilhamento de benefícios: parte do valor é transferida para os usuários e parte é mantida como incentivo para o desempenho.
	Ativos não amortizados	Implementar tratamento regulatório para ativos de aposentadoria antecipada (amortização acelerada, fundo de transição, diferimento regulatório ou mecanismo equivalente) e regras para evitar choques tarifários.
	Risco cambial e dificuldade em acessar financiamento	Mecanismos de hedge/mitigação (indexação parcial, reconhecimento de variações de custos tecnológicos, financiamento multilateral/ financiamento misto).
Tecnologia e infraestrutura	Última milha de diferença	Plano diretor de comunicações (por tipologia territorial), priorizando soluções híbridas e acordos com operadoras de telecomunicações
	Desligar redes 2G/3G: risco descontrolado de obsolescência	Incorporar critérios do ciclo de vida tecnológico nas especificações, aquisições e em uma estratégia de transição planejada.
	Interoperabilidade complexa: múltiplas tecnologias e padrões geram incompatibilidades, aprovações e estouros de custo.	Estabelecer perfis de interoperabilidade, testes de conformidade e um "catálogo de compatibilidade"
	Ausência de padrões obrigatórios e certificação local	Esquemas de padronização e certificação nacionais/setoriais que reduzem riscos e custos de interoperabilidade.
	Risco de cativeiro tecnológico (bloqueio de fornecedores)	Estratégia multi-fornecedor com requisitos de portabilidade de dados, APIs abertas, cláusulas de saída e continuidade; Preferindo padrões abertos verificados por certificação.
	Cibersegurança	Requisitos mínimos (criptografia, autenticação, segmentação, reforço, testes de penetração) e reconhecimento explícito dos custos de segurança
	Lacuna interna de capacidades (plataformas AMI, bancos de dados, monitoramento, cibersegurança, TI)	Criar o Escritório de Transformação PMO/AMI e o plano de capacidades (perfis, treinamento, operação de plataforma, análises, cibersegurança); Defina KPIs e qualidade dos dados desde o início.
Social e cultural	Falta de "licença social": desconfiança e desinformação	Estratégia de relacionamento: comunicação proativa (benefícios tangíveis), protocolos de privacidade, canais de serviço e gestão antecipada de disputas; Segmente as mensagens por tipo de usuário/ território.
	Áreas rurais ou de difícil acesso	Implantações diferenciadas (rural/peri-urbano/urbano), com parceiros locais, horários adaptados, logística reforçada e uma abordagem de "primeiros benefícios" (casos de uso que o usuário percebe cedo).
	Segurança física e fraude em territórios com alta vulnerabilidade e perdas não técnicas	Plano de segurança abrangente: protocolos de instalação, coordenação com autoridades/comunidade, medidas antifraude, proteção de pessoal, substituição e custos explícitos de manutenção no projeto do programa.

07

ABORDAGENS REGULATÓRIAS INTERNACIONAIS

A experiência internacional mostra que a implantação da AMI depende da coerência do arcabouço regulatório. Diferentes jurisdições adotaram abordagens divergentes dependendo de seus desafios, desde mandatos nacionais até modelos baseados em análise econômica ou incentivos de mercado.

Modelos exigidos pelo Estado com implantação massiva: Países como Itália, Espanha e Japão estabeleceram metas obrigatórias de cobertura e prazos definidos, com apoio regulatório para recuperação de custos. Essa abordagem acelera a implantação e alcança alta padronização, mas exige instituições fortes e pode ser menos flexível.

Modelos baseados em análise custo-benefício e gradualidade: Jurisdições como Alemanha e Reino Unido condicionaram a implantação a resultados verificáveis de pilotos e análises econômicas. Esse modelo reduz o risco financeiro e permite a adaptação da tecnologia, mas pode atrasar significativamente o processo e gerar heterogeneidade territorial.

Modelos Híbridos e Incentivos Econômicos: Abordagens Como as do Texas (EUA) e Ontário, Canadá, combinam flexibilidade com sinais econômicos claros, como recuperação antecipada de tarifas e incentivos de desempenho, tornando o investimento em AMI vantajoso. Isso incentiva a inovação, mas pode resultar em velocidades de implantação desiguais.

Modelos orientados para eficiência operacional: Países como a Índia usaram a AMI para lidar com ineficiências como altas perdas e inadimplências, com implantações direcionadas em áreas críticas. Esse modelo gera benefícios rápidos e mensuráveis, mas não leva à cobertura universal e pode limitar a evolução para usos mais avançados.

Em termos de funcionalidades AMI, a primeira leva de implementações focou em funcionalidades básicas como leitura remota automática, dados horários, corte/reconexão remota e detecção de interrupções. Embora fossem uma melhoria significativa, sua capacidade de permitir usos avançados era limitada. A segunda onda (AMI 2.0) surge para gerenciar redes com recursos distribuídos e maiores demandas de cibersegurança. Ele requer funcionalidades avançadas como maior granularidade temporal (5-15 minutos), edge computing, interfaces para casas inteligentes, medição bidirecional detalhada e segurança aprimorada. Países como Itália, Suécia e França já estão em ciclos de renovação rumo ao AMI 2.0. Para países que ainda não usaram massivamente a medição, essa evolução oferece uma oportunidade de adotar diretamente especificações de segunda geração.

A evolução da medição inteligente mostrou que não existe uma trajetória única ou conjunto de funcionalidades que seja ótimo para todas as jurisdições. Os países priorizam funcionalidades com base em seus desafios: detecção de adulteração e desligamento remoto para redução de perdas; medição granular e comunicações de baixa latência para precificação dinâmica e flexibilidade; informações de fluxo bidirecional para integração de geração distribuída; e registro de eventos para resiliência e qualidade de serviço. A América Latina pode adotar seletivamente funcionalidades AMI 2.0 alinhadas com suas prioridades, evitando investimentos em tecnologias que se tornariam obsoletas.

A tecnologia é universal, mas a regulamentação deve ser contextual. Enquanto na Europa o fator era a eficiência energética e nos EUA a gestão da demanda, na América Latina os fatores são múltiplos, desde o controle de perdas até a gestão da geração distribuída. O sucesso depende de uma arquitetura de incentivos sofisticada. Em jurisdições com altas perdas, a regulação deve reconhecer custos reais e priorizar funcionalidades como balanceamento energético em nível de transformador e desligamento remoto, com implantação massiva e geográfica. Em mercados com alta penetração de geração distribuída, a regulação deve valorizar a flexibilidade e os serviços de rede, justificando o investimento em AMIs pela capacidade delas de evitar reforços de rede. Isso requer taxas dinâmicas e dados de alta granularidade. Ao mesmo tempo. Os reguladores latino-americanos devem avançar diretamente (mais rápido) para os padrões AMI 2.0 para evitar a obsolescência tecnológica. Isso significa exigir baixa latência e alta visibilidade para gerenciamento em tempo real, promover medidores com capacidade de edge computing e regular um canal de comunicação local para o usuário (HAN).

Para avançar nessas estratégias, são propostos quatro pilares de reforma regulatória, projetados para mitigar riscos regionais e acelerar a implementação eficiente.

1. Implantação progressiva por segmentos de valor: Adotar um mandato gradual, começando com segmentos de maior rentabilidade (grandes consumidores, prosumidores, zonas críticas de perdas) para validar a tecnologia e financiar estágios posteriores, mas dentro de uma trajetória explícita rumo à implantação total.
2. Reconhecimento do TOTEX: Reduzir o viés regulatório que favorece o CAPEX em relação ao OPEX. É fundamental reconhecer os custos de software, plataformas em nuvem e cibersegurança na tarifa para não subinvestir em inteligência de sistemas.
3. Análise de Custo-Benefício com uma abordagem abrangente: Utilizar análises de custo-benefício social que incorporem externalidades positivas como resiliência, melhoria da qualidade do serviço e descarbonização. Quantificar economias sistêmicas em geração e transmissão para fortalecer o business case.
4. Neutralidade tecnológica e padrões abertos: A regulamentação deve ser neutra quanto à tecnologia de comunicação, mas exigente em interoperabilidade, requerendo padrões abertos. Isso evita o Vendor Lock-in, garante compatibilidade futura e incentiva a concorrência, reduzindo o custo final para o usuário.



A adoção acelerada de infraestrutura de medição avançada foi possibilitada em diversos países graças a marcos regulatórios

