



POLÍTICAS PÚBLICAS E EXPERIÊNCIAS DE ACESSO À ENERGIA:
**DA AGENDA INTERNACIONAL
ÀS SOLUÇÕES COMUNITÁRIAS
NA PAN-AMAZÔNIA**

JUNHO 2026

EQUIPE TÉCNICA:

André Luis Ferreira
Fabio Galdino dos Santos
Vinícius Oliveira da Silva

APOIO:

Charles Stewart Mott Foundation

COMUNICAÇÃO:

Isis Rosa Nóbile Diniz
Marcelo Testoni

SOBRE O IEMA:

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) é uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) fundada no Brasil em 2006. O IEMA tem como foco a produção e a divulgação de conhecimento técnico-científico para subsidiar a formulação e a avaliação de políticas públicas, atuando com o propósito de qualificar os processos decisórios para que os sistemas de transporte e de energia no país assegurem o uso sustentável de recursos naturais com desenvolvimento social e econômico.

QUEM SOMOS:

André Luis Ferreira
Anton Schwyter
David Shiling Tsai
Fabio Galdino dos Santos
Felipe Barcellos e Silva
Gabrielly de Castro Alves
Helen Sousa
Ingrid Graces
Isis Rosa Nóbile Diniz
João Vitor de Carvalho
Marcelo Testoni
Mariana Calviello Meira Ramos
Meiriele Alvarenga Cumplido
Mônica Takeda
Nicole Dejarmes Silva
Raíssa Gomes
Ricardo Lacerda Baitelo
Vinícius Oliveira da Silva

REVISÃO DE TEXTO:

Laura Scotte

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO:

Cyntia Fonseca

**Fale conosco:**

Rua Artur de Azevedo, 1212, sala 91, Pinheiros,
São Paulo (SP), CEP 05404-003
Telefone: +55 11 3476-2850
<https://energiaeambiente.org.br/>
energiaeambiente@energiaeambiente.org.br

Acompanhe nossas redes sociais:

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório técnico-científico apresenta os resultados de uma análise aprofundada sobre políticas públicas e experiências de acesso à energia elétrica renovável na Pan-Amazônia, com foco na superação da exclusão energética em comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhas e extrativistas. A pesquisa foi motivada pela persistente desigualdade no acesso à eletricidade, direito reconhecido internacionalmente como fundamental para o exercício de outros direitos, como saúde, educação, segurança alimentar e inclusão produtiva, e condição indispensável à promoção da justiça social, conforme estabelecido pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 da Agenda 2030.

O presente trabalho teve como objetivo analisar as barreiras estruturais ao acesso de comunidades amazônicas à energia elétrica. A metodologia combinou revisão de literatura científica e técnica, análise de políticas públicas nacionais e regionais e avaliação dos impactos de **projetos-piloto de energia renovável financiados pela Fundação Charles Stewart Mott**, com foco na extração de lições aprendidas a partir de experiências práticas. A utilização desses dados mostrou-se particularmente relevante por constituir uma base empírica abrangente sobre o acesso à energia em territórios amazônicos remotos, reunindo informações sistematizadas de dezenas de projetos implementados ao longo de dez anos, em diferentes países, contextos socioterritoriais e arranjos tecnológicos. Essa base permitiu uma análise longitudinal dos resultados, dos fatores de sucesso e das limitações estruturais, subsidiando recomendações voltadas à escalabilidade, replicabilidade e ao aprimoramento das políticas públicas de eletrificação.

Os dados consolidados indicam que o isolamento geográfico, a baixa densidade populacional, os altos custos de infraestrutura e a dependência de biomassa e combustíveis fósseis são as principais barreiras à universalização do acesso à energia renovável na Pan-Amazônia. **Embora a cobertura elétrica global tenha**

aumentado de 84% em 2010 para 91,7% em 2023, cerca de 666 milhões de pessoas ainda não têm acesso à eletricidade, sendo aproximadamente 5 milhões na Pan-Amazônia. Estima-se que 1,8 milhão estejam no Peru, 1,4 milhão na Colômbia, 650 mil na Bolívia e até 1 milhão no Brasil, apesar do dado oficial indicar cerca de 400 mil. A exclusão energética concentra-se em áreas rurais e afeta de forma desproporcional populações indígenas (10,5%), afrodescendentes (2,4%) e os 20% mais pobres (8,2%), frente a apenas 0,8% entre os 20% mais ricos.

A **análise comparada das políticas públicas** evidencia que programas como Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (Permer, Argentina), Luz para Todos (LpT, Brasil), Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER, Colômbia), Ferum (Equador), PNER (Peru) e Sembrando Luz (Venezuela) combinam soluções institucionais híbridas, que articulam regulação técnica, governança compartilhada, fundos estáveis e subsídios sociais para viabilizar a universalização do acesso à energia elétrica. Contudo, a ausência de métricas consolidadas de justiça energética e de gênero limita a efetividade e a capacidade de monitoramento desses programas.

A **avaliação dos projetos-piloto** concentrou-se, majoritariamente, em sistemas solares fotovoltaicos voltados à eletrificação comunitária, iluminação residencial, saneamento e outros usos, beneficiando 223 comunidades e mais de 70 mil pessoas, entre beneficiários diretos e indiretos. Os **impactos sociais** incluem a redução de até 50 horas semanais de trabalho manual em territórios indígenas, a ampliação do acesso a serviços essenciais e o aumento médio de US\$ 361 mensais na renda familiar em iniciativas produtivas. Apesar de avanços na participação feminina na governança, a inserção das mulheres em funções técnicas permanece limitada. No **plano ambiental**, 99,7% das comunidades reduziram o uso de diesel, e 32% eliminaram completamente os combustíveis fósseis, evitando o consumo de mais de um milhão de litros. **Microrredes e sistemas híbridos** apresentaram maior confiabilidade e sustentabilidade, sobretudo quando

SUMÁRIO EXECUTIVO

associados à autogestão comunitária. Persistem, contudo, lacunas relacionadas à sustentabilidade financeira, à operação e manutenção dos sistemas e à incorporação sistemática da **perspectiva de gênero**, demandando marcos regulatórios, financiamento permanente e instrumentos de monitoramento.

O **levantamento bibliográfico**, a análise das políticas públicas e a avaliação dos projetos-piloto evidenciam a necessidade de consolidar a universalização do acesso à energia elétrica como política de Estado, com previsibilidade regulatória e continuidade institucional. Para isso, é fundamental institucionalizar microrredes e soluções híbridas nas políticas nacionais e regionais, com metas plurianuais, marcos regulatórios específicos para sistemas isolados — incluindo diretrizes de logística reversa — e padronização de requisitos técnicos por tipologias territoriais (SIGFI/MIGDI). Adicionalmente, deve-se priorizar tecnologias mais confiáveis e com menor custo ao longo do ciclo de vida, assegurando eficiência técnica e sustentabilidade dos sistemas.

No **campo do financiamento e da governança**, recomenda-se a criação de fundos permanentes e linhas de crédito estáveis para investimentos iniciais, operação e manutenção, incluindo a reposição de

baterias, combinados a instrumentos de mitigação de riscos, subsídios sociais e tarifas diferenciadas para comunidades isoladas e vulneráveis. Os projetos devem incorporar, desde a fase de concepção, planos de ciclo de vida que prevejam O&M e expansão, além de estimular modelos comunitários, como cooperativas e comunidades energéticas. A participação das comunidades deve ser assegurada em todas as etapas, com ênfase na capacitação de mulheres e jovens para funções técnicas e de liderança, na valorização de saberes locais e na definição de metas de equidade de gênero.

Por fim, é fundamental fortalecer os sistemas de dados, monitoramento e fiscalização por meio de cadastros georreferenciados, painéis públicos de indicadores e avaliações *ex-ante*, intermediárias e *ex-post*, incorporando métricas de justiça energética e gênero, bem como auditorias independentes. A política energética deve articular-se a setores como saúde, educação, comunicação, saneamento e bioeconomia, adotando o Nível/Tier 4 como padrão mínimo para assegurar serviços essenciais e usos produtivos. A **filantropia e a cooperação internacional** podem atuar como catalisadoras, apoiando inovação, mapeamento de populações excluídas, monitoramento e governança multilateral, alinhadas aos planos nacionais de energia.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| SUMÁRIO EXECUTIVO | 3 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE TABELAS | 8 |
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 Contextualização da Pan-Amazônia | 10 |
| 1.2 Energia elétrica como direito fundamental | 11 |
| 2 Exclusão elétrica: um olhar dos indicadores | 13 |
| 2.1 Exclusão elétrica em perspectiva global | 14 |
| 2.2 Exclusão elétrica na América Latina e Pan-Amazônia | 18 |
| 3 INICIATIVAS DE PROJETOS E DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA | 25 |
| 3.1 Iniciativas internacionais de projetos de acesso à energia elétrica | 28 |
| 3.1.1 Programas e iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica | 28 |
| 3.1.2 Indicadores e métricas de iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica | 28 |
| 3.1.3 Resultados das iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica | 33 |
| 3.2 Políticas públicas na América do sul e na Pan-amazônia | 34 |
| 3.2.1 Projeto de Energias Renováveis em Mercados Rurais — Argentina | 34 |
| 3.2.2 Programa Luz para Todos (LPT) — Brasil | 36 |
| 3.2.3 Programa de Eletrificação Rural e Social — Chile | 36 |
| 3.2.4 Programa Nacional de Eletrificação Rural (PNER) — Colômbia | 38 |
| 3.2.5 Programa de Eletrificação Rural e Urbano Marginal (FERUM) — Equador | 41 |
| 3.2.6 Programa Nacional de Eletrificação Rural (PNER) — Peru | 43 |
| 3.2.7 Programa Sembrando Luz (SL) — Venezuela | 43 |
| 3.3 Resultados das análises e lições aprendidas das políticas públicas regionais | 44 |
| 3.3.1 Dimensões de análise e lições aprendidas | 45 |
| 4 REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA | 48 |
| 4.1 Acesso à energia elétrica: uma revisão bibliométrica e sistemática | 49 |
| 4.2 Acesso à energia elétrica: resultados da revisão bibliométrica e sistemática | 56 |

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 5 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE PROJETOS-PILOTO IMPLEMENTADOS NA PAN-AMAZÔNIA | 60 |
| 5.1 Caracterização dos projetos-piloto | 61 |
| 5.1.1 Dados prévios dos projetos-piloto | 61 |
| 5.2 Metodologia de avaliação quantitativa e qualitativa de projetos-piloto | 61 |
| 5.2.1 Levantamento, sistematização e estruturação dos indicadores | 61 |
| 5.2.2 Estrutura de levantamento de indicadores e questionários | 62 |
| 5.2.3 Elaboração e aplicação de questionário | 62 |
| 5.2.4 Sistematização e análise dos dados do questionário | 63 |
| 5.3 Resultados por dimensão de análise quantitativa | 63 |
| 5.3.1 Características dos projetos-piloto por organização | 63 |
| 5.3.2 Análise da dimensão econômica dos projetos-piloto | 64 |
| 5.3.3 Análise espacial dos projetos-piloto | 67 |
| 5.3.4 Análise da dimensão técnica dos projetos-piloto | 68 |
| 5.3.5 Análise da dimensão social dos projetos-piloto | 70 |
| 5.3.6 Análise da dimensão ambiental dos projetos-piloto | 74 |
| 5.4 Resultados do questionário sociotécnico | 76 |
| 5.4.1 Diagnóstico, motivação e marco institucional | 76 |
| 5.4.2 Planejamento participativo e coconcepção (co-design) | 79 |
| 5.4.3 Justiça energética e inclusão social | 80 |
| 5.4.4 Tecnologia e implementação técnica | 82 |
| 5.4.5 Operação, manutenção e capacitação | 84 |
| 5.4.6 Financiamento e sustentabilidade econômica | 86 |
| 5.4.7 Resultados e impactos | 88 |
| 5.4.8 Sustentabilidade ambiental | 90 |
| 5.4.9 Governança e gestão comunitária | 92 |
| 5.4.10 Aprendizados e recomendações para políticas públicas | 92 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 98 |
| 6.1 Conclusões principais | 99 |
| 6.2 Recomendações estratégicas | 100 |
| REFERÊNCIAS | 101 |
| ANEXO 1 | 108 |
| ANEXO 2 | 109 |
| ANEXO 3 | 111 |

LISTA DE FIGURAS

| | | | |
|--|----|---|-----|
| Figura 1. Pan-Amazônia. | 10 | Figura 23. Ocorrências de tipos de tecnologia de armazenamento nos projetos-piloto. | 54 |
| Figura 2. Pessoas com e sem acesso à energia elétrica no mundo, 2010–2023. | 14 | Figura 24. Ocorrência de combinações tecnológicas nos projetos-piloto. | 54 |
| Figura 3. Média anual de aumento do acesso à energia elétrica, 2000–2023. | 15 | Figura 25. Ocorrências dos tipos de topologias das soluções de atendimento dos projetos-piloto. | 55 |
| Figura 4. População sem acesso à energia elétrica por região, 2010–2023. | 15 | Figura 26. Tipos de unidades consumidoras atendidas pelo projetos-piloto. | 55 |
| Figura 5. População global com e sem acesso à energia elétrica em área urbana, 2010–2023. | 16 | Figura 27. Investimento total por organização. | 64 |
| Figura 6. População global com e sem acesso à energia elétrica em área rural, 2010–2023. | 17 | Figura 28. Investimento total por número de pessoas: (a) direta e (b) indiretamente beneficiadas das comunidades. | 65 |
| Figura 7. Vinte países com o maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica. | 17 | Figura 29. Custo por beneficiário (\$) por finalidade de projeto. | 66 |
| Figura 8. Pessoas com e sem acesso à energia elétrica na ALC. 2010–2023. | 19 | Figura 30. Impacto na renda mensal por pessoa beneficiada (\$/month). | 66 |
| Figura 9. Indicador de exclusão elétrica nos países da ALC em 2023. | 19 | Figura 31. Localização dos projetos-piloto financiados pela Fundação Mott. | 67 |
| Figura 10. População da ALC com e sem acesso à energia elétrica em área urbana, 2000–2023. | 20 | Figura 32. Comunidades e residências atendidas por tipo de território. | 67 |
| Figura 11. População da ALC com e sem acesso à energia elétrica em área rural, 2000–2023. | 21 | Figura 33. Proporção de atendimento por tipo de território. | 68 |
| Figura 12. Proporção da população indígena, afrodescendente, outros grupos e total populacional sem acesso à eletricidade, 2000–2023. | 22 | Figura 34. Finalidades dos projetos-piloto. | 68 |
| Figura 13. Proporção da população por faixa de renda sem acesso à eletricidade, 2000–2023. | 22 | Figura 35. Participação de fontes de energia. | 69 |
| Figura 14. Taxa de exclusão do acesso à energia elétrica nos países da Pan-Amazônia em 2023. | 23 | Figura 36. Geração de energia anual e potência instalada por ocorrências de finalidade de projetos. | 70 |
| Figura 15. Estrutura do entendimento e classificação do acesso à energia elétrica. | 29 | Figura 37. Número de pessoas direta e indiretamente beneficiadas por organização. | 71 |
| Figura 16. Número de pessoas que receberam acesso à energia elétrica por tipo de nível de fornecimento. | 33 | Figura 38. Distribuição percentual do acesso a comunicação e conectividade, educação e serviços de saúde por tipo de território. | 72 |
| Figura 17. Distribuição geográfica dos projetos-piloto da revisão da literatura científica. | 50 | Figura 39. Redução média no trabalho braçal em razão da implementação do projeto-piloto (horas). | 72 |
| Figura 18. Número de registros por ano da publicação. | 51 | Figura 40. Pessoas treinadas para instalar, operar e manter os sistemas | 73 |
| Figura 19. Abordagem de análise dos registros selecionados. | 51 | Figura 41. Proporção de substituição do uso de energia fóssil. | 75 |
| Figura 20. Consolidação da proporção de abordagem dos registros selecionados. | 52 | Figura 42. Consumo evitado de combustível fóssil por finalidade em base logarítmica (litros). | 75 |
| Figura 21. Distribuição dos tipos de fontes, renovável e fóssil, utilizadas nos projetos-piloto. | 52 | Figura 43. Geração de energia (MWh/year) por emissão evitada (tonCO ₂) em base logarítmica. | 76 |
| Figura 22. Ocorrências por tipo de solução tecnologia no projetos-piloto selecionados. | 53 | Figura 44. Página de orientações do questionário quantitativo. | 109 |

LISTA DE TABELAS

| | | | |
|---|----|--|-----|
| Tabela 1. Características da Amazônia por país. | 10 | Tabela 20. Sistematização dos impactos ambientais, sociais e econômicos da revisão da literatura. | 59 |
| Tabela 2. Energia como meio ao bem-viver. | 11 | Tabela 21. Acesso a comunicação e conectividade, educação e serviços de saúde por tipo de território. | 71 |
| Tabela 3. Países com maior número absoluto de pessoas sem acesso à energia elétrica. | 18 | Tabela 22. Pessoas incluídas na instalação operação e manutenção do projeto | 74 |
| Tabela 4. População e dados de cobertura elétrica nos países da Pan-Amazônia (2023). | 24 | Tabela 23. Sistematização do aprendizado sobre diagnóstico, motivação e marco institucional dos projetos-piloto. | 78 |
| Tabela 5. Características dos instrumentos técnicos de acesso à energia elétrica. | 26 | Tabela 24. Sistematização dos aprendizados com o planejamento participativo e coconcepção dos projetos-piloto. | 81 |
| Tabela 6. Impactos instrumentos técnicos no acesso à energia elétrica. | 27 | Tabela 25. Sistematização de aprendizados sobre justiça energética e inclusão social de projetos-piloto. | 83 |
| Tabela 7. Matriz multinível para medir o acesso ao fornecimento de energia elétrica. | 29 | Tabela 26. Sistematização do aprendizado com as tecnologias e implementação técnica de sistemas energéticos dos projetos-piloto. | 85 |
| Tabela 8. Matriz multinível para medir o acesso aos serviços e o consumo de eletricidade domiciliar. | 30 | Tabela 27. Sistematização dos aprendizados com operação, manutenção e capacitação de equipe comunitária para operação dos projetos-piloto. | 87 |
| Tabela 9. Quadro de análises e limitações da abordagem multinível. | 31 | Tabela 28. Sistematização dos aprendizados de financiamento e sustentabilidade econômica dos projetos-piloto. | 89 |
| Tabela 10. Quadro de comparação da aplicação dos multiníveis de acesso à energia elétrica. | 32 | Tabela 29. Sistematização dos resultados e impactos na vida das pessoas e na estrutura comunitária com a implementação dos projetos-piloto. | 91 |
| Tabela 11. Sistematização das duas fases do PERMER. | 35 | Tabela 30. Sistematização dos aprendizados com a sustentabilidade ambiental dos projetos-piloto. | 93 |
| Tabela 12. Características do Programa Luz para Todos. | 37 | Tabela 31. Sistematização dos aprendizados de governança e gestão comunitária dos projetos-piloto. | 95 |
| Tabela 13. Características do programa de acesso à energia elétrica do Chile. | 39 | Tabela 32. Sistematização dos aprendizados e recomendações para políticas públicas. | 97 |
| Tabela 14. Sistematização dos instrumentos financeiros da política pública de acesso à energia elétrica da Colômbia. | 40 | Tabela 33. Matriz multinível completa para medir o acesso ao fornecimento de energia elétrica. | 108 |
| Tabela 15. Características do programa de acesso à energia elétrica da Colômbia. | 41 | | |
| Tabela 16. Características do programa de acesso à energia elétrica do Equador. | 42 | | |
| Tabela 17. Características do programa de acesso à energia elétrica venezuelano. | 44 | | |
| Tabela 18. Sistematização das dimensões analisadas. | 47 | | |
| Tabela 19. Consolidação das palavras-chave e registros encontrados. | 49 | | |



INTRODUÇÃO



1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PAN-AMAZÔNIA

O bioma amazônico se estende por nove países sul-americanos e abrange porções significativas de seus territórios. Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela compartilham a maior floresta tropical contínua do planeta, conforme ilustrado na **Figura 1**, bem como a mais extensa bacia hidrográfica do mundo. Com uma área de aproximadamente 6,7 milhões de km², a Floresta Amazônica representa um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta (OCTA, 2018).

O Brasil detém a maior porção da Amazônia, com cerca de 3,28 milhões de km², o que corresponde a aproximadamente 60% da floresta total e abrange 49% do território nacional brasileiro. O Peru tem cerca de 720 mil km² (13% da Amazônia), o que representa 56% de seu território nacional; na Colômbia, com 480 mil km² (10%), a floresta cobre 42% de sua extensão territorial. A Venezuela detém 310 mil km² (6%), equivalentes a 35% de seu território, enquanto a Bolívia, com 220 mil km² (5,5%), tem 22% de sua área nacional coberta pela floresta. Guiana, Suriname, Equador e Guiana Francesa representam, respectivamente, 3,1%, 2,5%, 2% e 1,5% da Floresta Amazônica. Nesses territórios, a Amazônia ocupa a maior parte da área nacional: 98% na Guiana Francesa, 95% no Suriname, 90% na Guiana e 48% no Equador (OCTA, 2006), conforme apresentado na **Tabela 1**.



Figura 1. Pan-Amazônia.

Fonte: Wikimedia Commons contributors, 2024.

Tabela 1. Características da Amazônia por país.

| N | País | Área do bioma amazônico [10 ³ km ²] | Área acumulada do bioma amazônico [10 ³ km ²] | Porcentagem da floresta amazônica [%] | Porcentagem acumulada da floresta amazônica [%] | Porcentagem do território nacional [%] |
|---|-----------------|--|--|---------------------------------------|---|--|
| 1 | Brasil | 3,280 | 3.280 | 58,80% | 58,80% | 49% |
| 2 | Peru | 720 | 4.000 | 12,90% | 71,70% | 56% |
| 3 | Colômbia | 480 | 4.480 | 8,60% | 80,30% | 42% |
| 4 | Venezuela | 310 | 4.790 | 5,60% | 85,80% | 35% |
| 5 | Bolívia | 220 | 5.010 | 3,90% | 89,80% | 22% |
| 6 | Guiana | 210 | 5.220 | 3,80% | 93,50% | 90% |
| 7 | Suriname | 150 | 5.370 | 2,70% | 96,20% | 95% |
| 8 | Equador | 120 | 5.490 | 2,20% | 98,40% | 48% |
| 9 | Guiana Francesa | 90 | 5.580 | 1,60% | 100,00% | 98% |

Fonte: The World Bank (2025c) e WWF (2024).

1.2 ENERGIA ELÉTRICA COMO DIREITO FUNDAMENTAL

O acesso à energia deve ser compreendido como a capacidade de dispor de um serviço energético adequado, disponível sempre que necessário, confiável, de qualidade, acessível, legal, conveniente, saudável e seguro, destinado a atender todas as necessidades energéticas nos âmbitos domiciliar, produtivo e comunitário. Essa concepção alinha-se à nova definição de acesso à energia, fundamentada no desempenho do suprimento energético, que considera não apenas a disponibilidade, mas também a qualidade, a confiabilidade e a capacidade do serviço de responder de forma efetiva às diferentes demandas sociais — individuais e comunitárias — e econômicas (ESMAP 2014).

Nesse sentido, o acesso universal à eletricidade constitui condição habilitadora de direitos e oportunidades sociais. A maior parte das regiões ainda não atendidas localiza-se em áreas remotas e isoladas — caracterizadas por isolamento geográfico, ausência de infraestrutura básica, baixa densidade populacional e predomínio de economias de subsistência —, nas quais a expansão da

rede centralizada de distribuição de energia elétrica tende a ser tecnicamente difícil e economicamente inviável (Almeshqab; Ustun, 2019). Em pequenos Estados insulares, por exemplo, as restrições geográficas reforçam a necessidade de sistemas de menor escala (Silva et al. 2024).

A ausência de energia elétrica está associada a múltiplas privações — saúde, educação, segurança, participação social e renda, conforme sistematiza a **Tabela 2** — e atua como barreira ao desenvolvimento socioeconômico e ao acesso a serviços públicos, sobretudo em zonas rurais e remotas (Orlando et al. 2018). Nessas localidades, a dependência de biomassa tradicional para cocção e aquecimento aumenta a exposição a poluentes domiciliares (Spalding-Fecher, 2005), impactando de forma desproporcional mulheres e crianças (Leduchowicz-Municio et al. 2023), além de pressionar a cobertura florestal (Leduchowicz-Municio et al. 2022). A substituição do querosene e da lenha por eletricidade reduz riscos à saúde, melhora a qualidade de vida e permite a continuidade de serviços essenciais de saúde e educação (Daka; Ballet, 2011), ao mesmo tempo em que viabiliza novas atividades produtivas e agrícolas (Hampl, 2024).

Tabela 2. Energia como meio ao bem-viver.

| DIMENSÃO | PRINCIPAIS BENEFÍCIOS |
|--------------------------------------|---|
| Saúde pública | Redução da exposição a fumaça de biomassa; menor incidência de doenças respiratórias e oculares; menos acidentes e queimaduras; serviços de saúde mais confiáveis (iluminação noturna, cadeia de frio, operação de equipamentos). |
| Educação e capital humano | Iluminação domiciliar amplia tempo de estudo; internet viabiliza recursos pedagógicos, ensino híbrido e capacitação profissional. |
| Equidade de gênero e proteção social | Menor carga de trabalho e exposição de mulheres e crianças a fumaça e transporte de lenha; iluminação pública e domiciliar aumenta segurança em deslocamentos noturnos. |
| Economia local e emprego | Novos empreendimentos (refrigeração, serviços digitais, oficinas); extensão do horário de funcionamento; redução de perdas e custos operacionais ao substituir combustíveis fósseis caros. |
| Agricultura e cadeias produtivas | Bombeamento/irrigação; refrigeração e armazenamento pós-colheita; processamento local (secagem, moagem), agregando valor e renda. |
| Coesão social e vida comunitária | Espaços comunitários eletrificados favorecem encontros, comunicação e serviços coletivos (centros comunitários, escolas, postos de saúde). |
| Meio ambiente e clima | Menor pressão sobre florestas ao reduzir biomassa tradicional; mitigação de emissões ao substituir diesel/querosene por renováveis; integração com eficiência energética e gestão de demanda. |
| Serviços públicos e governança | Melhora da qualidade e continuidade de serviços essenciais (água, saúde, educação); facilita digitalização administrativa e acesso a políticas sociais. |
| Transformação digital | Conectividade; inclusão financeira (pagamentos digitais); acesso a informações de mercado e serviços governamentais online. |

Embora geradores a diesel descentralizados ainda sejam empregados como solução emergencial, os custos recorrentes de combustível e manutenção, aliados às emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos e sonoros, limitam a sustentabilidade dessa alternativa (Ferreira; Silva, 2021). Por essa razão, soluções renováveis para sistemas isolados, como minirredes solares, híbridas e *off-grid*, vêm sendo crescentemente adotadas em áreas onde a extensão da rede não é viável (IEMA, 2023).

Essas alternativas alinham-se ao princípio de acesso universal, moderno, confiável e sustentável, mas dependem de marcos regulatórios e de políticas públicas capazes de reduzir barreiras técnicas e financeiras e de internalizar benefícios sociais e ambientais (Silva et al. 2024).

Na Amazônia, a questão energética está intrinsecamente associada à história da ocupação do território. O processo de povoamento — caracterizado pela exploração de recursos naturais, expropriação do território e deslocamento de populações de outras regiões do país — resultou em grandes centros urbanos, consolidados como enclaves de infraestrutura em meio à floresta, enquanto as demais áreas do território amazônico foram ocupadas por populações tradicionais ou permaneceram sob ocupação milenar dos povos indígenas, historicamente marginalizados pela ausência de infraestrutura e pelo acesso precário a serviços públicos essenciais (Corrêa et al. 1994).

Essa assimetria histórica reflete-se no acesso à energia elétrica, particularmente em zonas rurais e comunidades isoladas, onde a universalização permanece como desafio. No Brasil, na Bolívia e no Peru, os ciclos econômicos da borracha e da mineração atraíram grupos em busca de mobilidade social, o que resultou na formação de diversos centros urbanos (Becker, 2005), como Iquitos no Peru e as capitais dos estados do Acre, Amazonas e Pará, no processo conhecido com transumância amazônica (Furtado, 1957).

Nos países da Pan-Amazônia, os desafios para a universalização desse serviço essencial à vida contemporânea persistem, mesmo diante de taxas nacionais de cobertura elétrica sejam relativamente elevadas, variando entre 91,6% e 99,8%, patamares

majoritariamente superiores à taxa global de 91,7% (IEA et al. 2025). A energia elétrica é amplamente reconhecida como um direito básico e fundamental, razão pela qual integra a Agenda 2030 das Nações Unidas, especificamente o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7 — Energia Limpa e Acessível), que estabelece a meta de garantir, até 2030, o acesso universal à energia de forma acessível, confiável, sustentável e moderna (ONU, 2023).

Considerando esse cenário, este relatório propõe uma avaliação qualitativa, que compreende uma análise conjunta e comparativa de projetos-piloto de eletrificação voltados a povos e comunidades tradicionais em territórios amazônicos, e analisar políticas e iniciativas de universalização do acesso implementadas em diferentes países, com vistas à sistematização das lições aprendidas e à elaboração de um perfil orientador de sistemas de energia renovável para integração nas políticas públicas de eletrificação.

O documento está estruturado em seis capítulos para cumprir tais objetivos. O **Capítulo 1** apresenta a introdução e contextualização do tema, ressaltando a importância da energia elétrica como direito fundamental às diferentes sociedades contemporâneas e tradicionais. O **Capítulo 2** aborda a exclusão elétrica em perspectiva global, evidenciando tendências históricas e projeções para 2030, e analisa a exclusão nos países da América Latina e nos territórios Pan-Amazônicos, com destaque para recortes territoriais, sociais e étnicos. O **Capítulo 3** examina políticas e iniciativas de universalização em diferentes contextos nacionais e regionais. O **Capítulo 4** apresenta a revisão bibliométrica e sistemática da literatura científica sobre o tema, consolidando contribuições relevantes e identificando gargalos. O **Capítulo 5** avalia, de forma quantitativa e qualitativa, projetos-piloto financiados por uma fundação filantrópica e implementados ao longo de um período de dez anos em comunidades amazônicas, discutindo seus impactos, limitações e lições aprendidas. Por fim, o **Capítulo 6** sintetiza os principais achados e apresenta recomendações para o fortalecimento das políticas públicas de eletrificação sustentável, tanto no contexto global quanto na Pan-Amazônia.



2

*EXCLUSÃO ELÉTRICA:
UM OLHAR DOS
INDICADORES*

2.1 EXCLUSÃO ELÉTRICA EM PERSPECTIVA GLOBAL

A taxa global de pessoas com acesso à energia elétrica no mundo passou de 84% em 2010, ou 1,1 bilhões de pessoas sem acesso básico, para 91,7% em 2023, quando o contingente de excluídos foi reduzido para 666 milhões de pessoas, demonstrado na **Figura 2**. Ainda assim, 63 países apresentam mais de meio milhão de pessoas vivendo sem acesso à eletricidade (ESMAP, 2025).

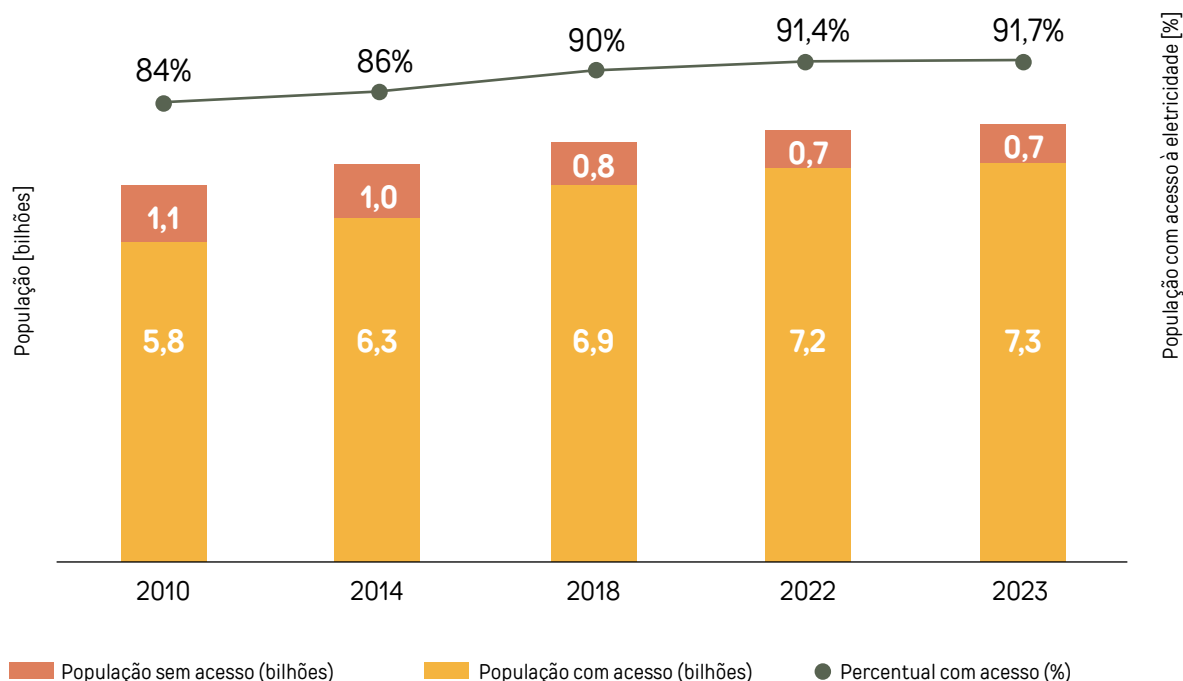


Figura 2. Pessoas com e sem acesso à energia elétrica no mundo, 2010–2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Segundo a IEA (2025), mantida a trajetória recente de universalização do acesso global, em 2030 ainda haverá 645 milhões de pessoas sem acesso, das quais 565 milhões estarão na África Subsaariana, região concentrará aproximadamente 85% da exclusão global. Esses números evidenciam não apenas a magnitude do desafio, mas também sua crescente concentração geográfica em países de baixa renda e infraestrutura e com alta dispersão territorial, o que reforça a dificuldade de garantir o cumprimento da meta ODS 7 até 2030.

Para o cumprimento dessa meta, a taxa de expansão do acesso anual deverá alcançar 1,2 pontos percentuais (pp) ao ano. No entanto, entre 2010 e 2020, a média anual foi de 0,77 pp, e, no período mais recente, 2020–2023, o incremento médio caiu para 0,39 pp. Portanto, o ritmo atual precisaria ser triplicado, conforme indica a **Figura 3**, justamente em um momento em que a população remanescente é mais difícil de atender e enfrenta maiores restrições de capacidade de pagamento (IEA et al. 2025).

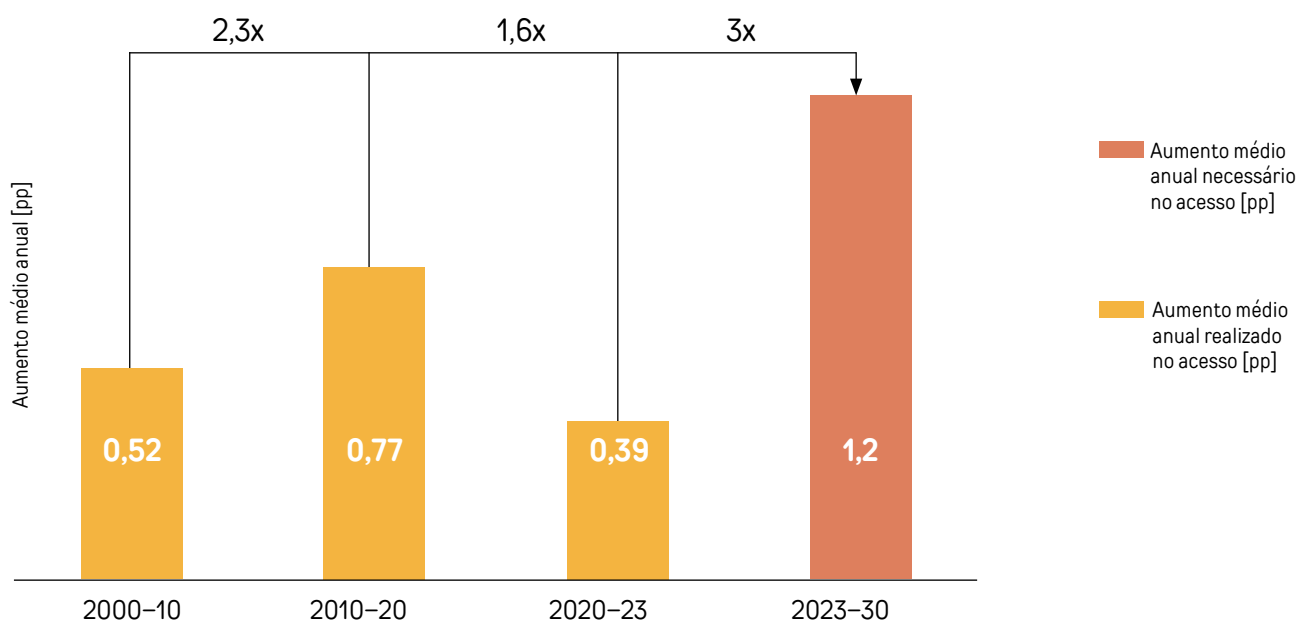


Figura 3. Média anual de aumento do acesso à energia elétrica, 2000-2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Do ponto de vista regional, houve ganhos líquidos globais de 73,1 milhões de novas pessoas atendidas por ano entre 2021 e 2023, pouco acima do crescimento populacional médio de 68,5 milhões de pessoas por ano. Na África Subsaariana, porém, a adição anual de 30,2 milhões de pessoas com acesso superou marginalmente o acréscimo demográfico de 29,2 milhões/ano, o que

ajuda a explicar a baixa taxa de acesso na região — em alguns países pouco acima de 50% da população — e a estagnação relativa do indicador regional, como mostra a **Figura 4**. No entanto, a Ásia Central e Meridional reduziu sua participação no déficit global de 36%, em 2010, para 4%, em 2023, apoiada por elevação de renda e expansão de redes.

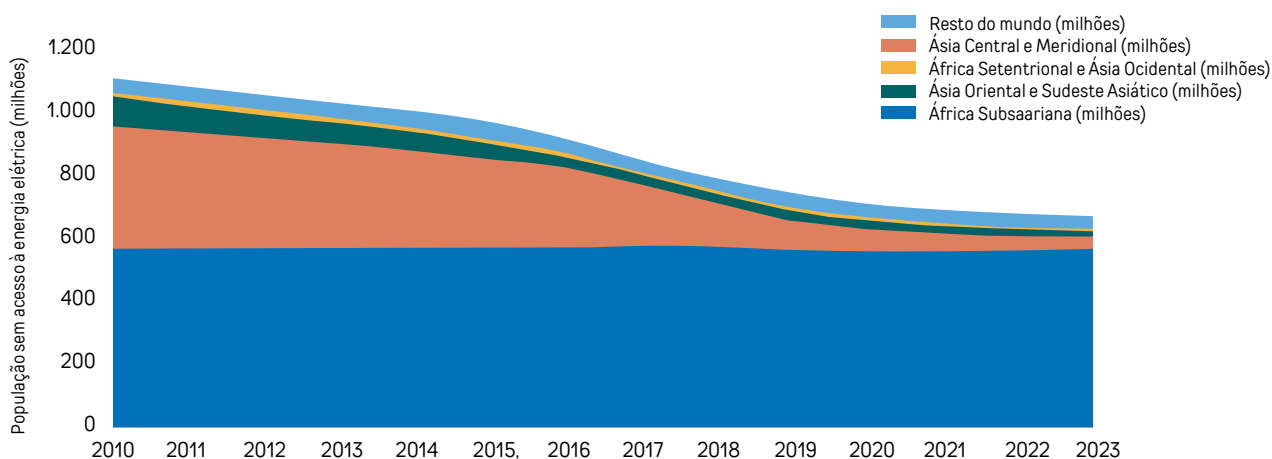


Figura 4. População sem acesso à energia elétrica por região, 2010-2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Um indicador fundamental para compreender a exclusão energética é a espacialização da população a partir da clivagem urbano-rural¹. Globalmente, a taxa de acesso no meio urbano variou de 96% em 2010 para 97,8% em 2023, conforme ilustrado na **Figura 5**.

ÁREA URBANA

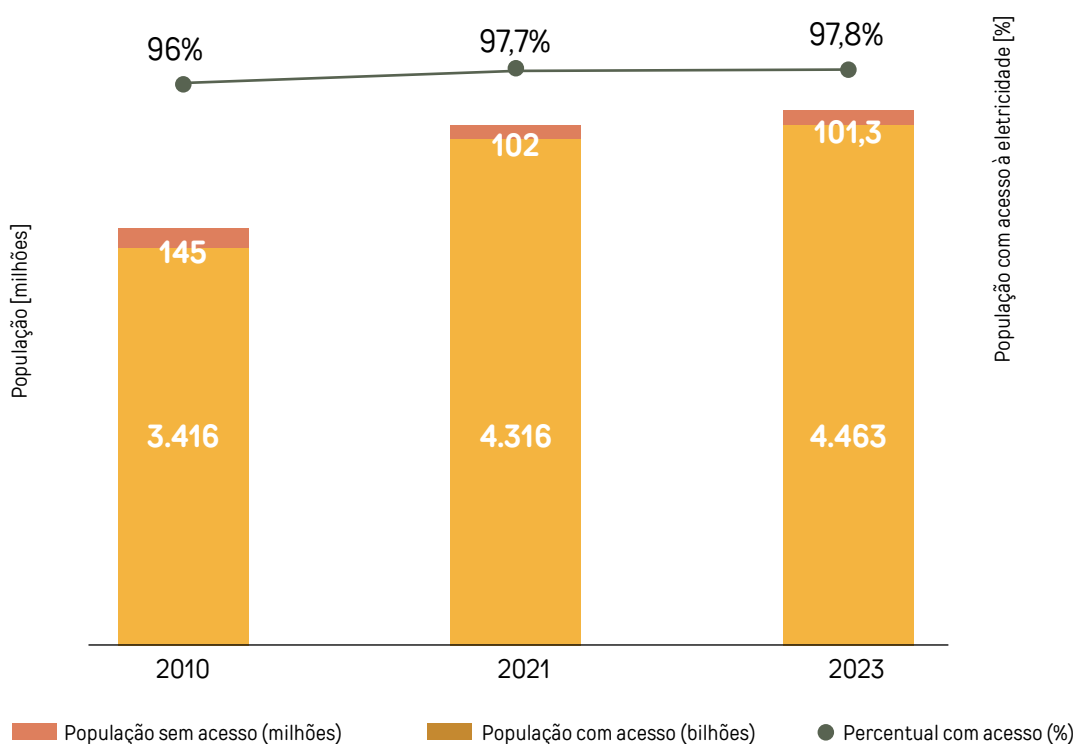


Figura 5. População global com e sem acesso à energia elétrica em área urbana, 2010-2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

No meio rural, o avanço foi de 73% para 84% no mesmo período, conforme mostra a **Figura 6**. Em termo absolutos, no período considerado, a população urbana com acesso cresceu em um bilhão, enquanto a população rural com acesso aumentou em 480 milhões, resultando na diminuição da exclusão elétrica rural de 886 milhões para 550 milhões de pessoas de 2010 para 2023.

¹ Desde que tratada como porta de entrada e complementada por métricas de densidade, acessibilidade, dispersão e centralidade, incluindo a acessibilidade temporal (tempo até serviços essenciais/mercados) e distância a infraestrutura (subestações, estradas navegáveis, pontos de conexão) e adicionando indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e cobertura de serviços (eletrificação, internet, água). Ademais, no contexto amazônico, considerar barreiras ambientais e sazonais (cheia/vazante, navegabilidade) que reconfiguram a espacialização efetiva. Esse tipo de tratamento, evita vieses da dicotomia e melhora o poder explicativo para desenho e priorização de políticas públicas, como eletrificação, conectividade, água potável, saúde, entre outros.

ÁREA RURAL

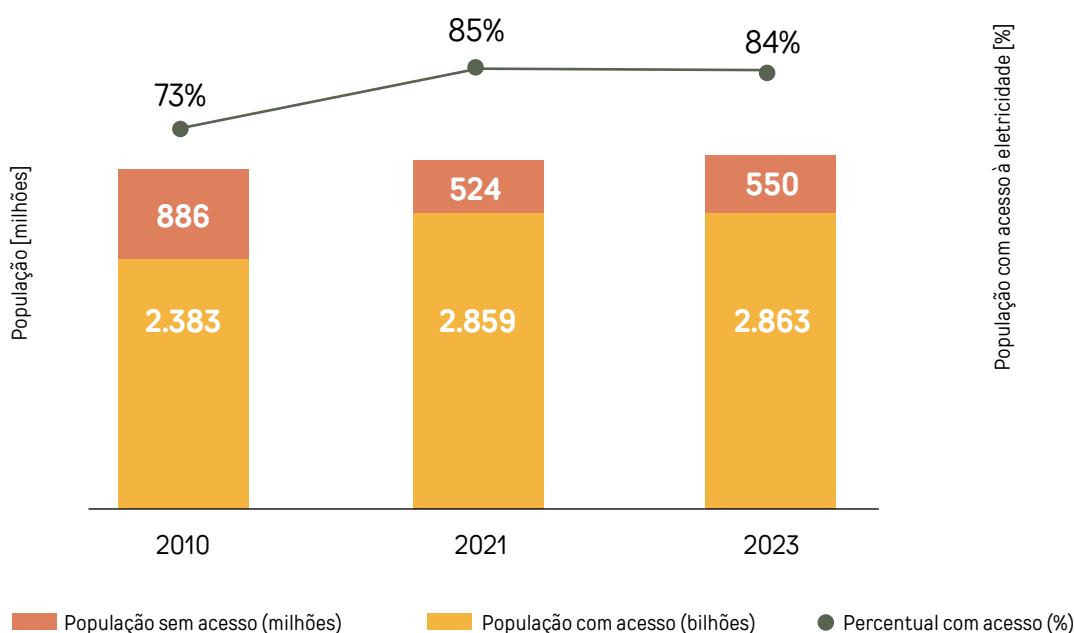


Figura 6. População global com e sem acesso à energia elétrica em área rural, 2010–2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Ainda assim, na África Subsaariana, a exclusão rural cresceu de 376 milhões para 451 milhões no período, enquanto na Ásia Central e Meridional, a exclusão rural caiu abruptamente de 383 milhões para 25,6 milhões. No meio urbano, a exclusão global reduziu de 145 milhões para 101 milhões entre 2010 e 2023, mesmo diante do crescimento da migração rural-urbana, ou seja, reduziu tanto a exclusão previamente existente quanto a exclusão potencial associada ao aumento populacional urbano. Essa forte

contribuição foi marcante na Ásia Central e Meridional, que reduziu sua exclusão urbana de 31 milhões para um milhão.

Quando observada a exclusão por países, os contrastes tornam-se ainda mais marcantes. Em 2023, dezoito dos vinte países com maiores déficits absolutos de acesso estavam localizados na África Subsaariana; os dois restantes eram o Paquistão e Mianmar, situados no sul e sudeste da Ásia, respectivamente, como se vê na **Figura 7**.

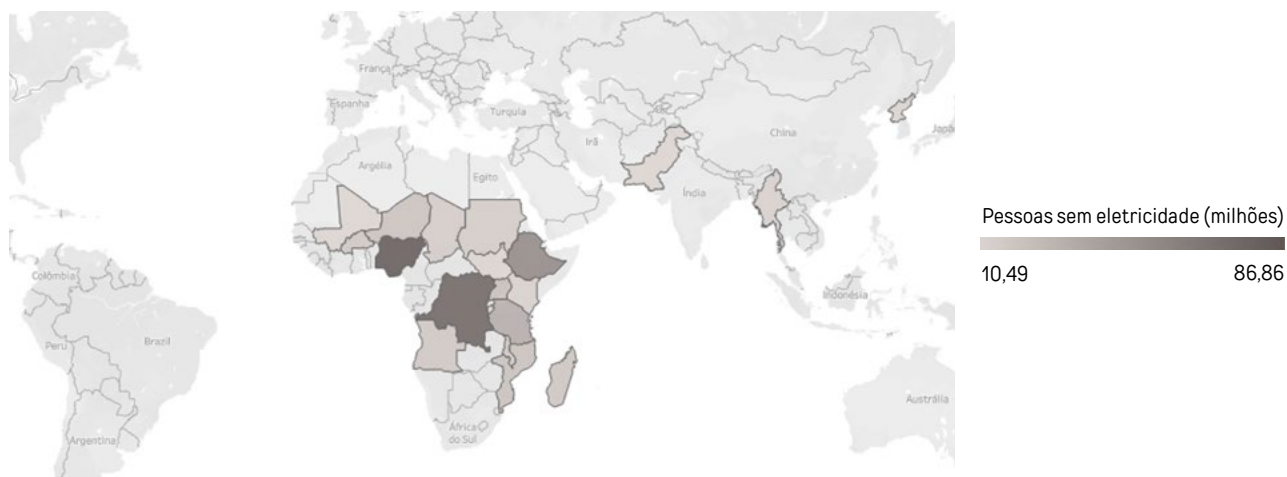


Figura 7. Vinte países com o maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Apenas três países — Nigéria (86,9 milhões), República Democrática do Congo, RDC, (79,6 milhões) e Etiópia (56,4 milhões) — concentraram um terço da exclusão global. Em termos relativos, alguns países apresentam taxas superiores a 80% da população sem acesso à eletricidade, como o Malawi (84,4%), o Chade (88%) e o Burundi (88,4%). O caso mais extremo é o do Sudão do Sul, onde 94,6% da população permanece sem acesso, configurando a maior taxa de exclusão energética do mundo, conforme demonstra a **Tabela 3**.

2.2 EXCLUSÃO ELÉTRICA NA AMÉRICA LATINA E PAN-AMAZÔNIA

Na América Latina e o Caribe (ALC), registraram-se avanços significativos no acesso à eletricidade desde o início dos anos 2000. A proporção de domicílios com acesso passou de 87,7% em 2000 para 97,1% em 2023, conforme demonstra a **Figura 8** (IEA, 2025a; The World Bank, 2025c).

Tabela 3. Países com maior número absoluto de pessoas sem acesso à energia elétrica.

| Região | País | População sem acesso [Milhões] | % do total global | % Acumulada do total global | % População sem acesso à energia elétrica |
|--------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| África | Nigeria | 86,9 | 13,0% | 13,0% | 38,8 |
| África | RDC | 79,6 | 11,9% | 25,0% | 77,9 |
| África | Etiópia | 56,3 | 8,5% | 33,4% | 44,6 |
| África | Tanzânia | 34,9 | 5,2% | 38,7% | 51,7 |
| África | Uganda | 23,5 | 3,5% | 42,2% | 48,5 |
| África | Niger | 21,7 | 3,3% | 45,5% | 79,9 |
| África | Moçambique | 21,7 | 3,3% | 48,7% | 64,4 |
| África | Madagascar | 18,4 | 2,8% | 51,5% | 60,6 |
| África | Burquina Faso | 18,2 | 2,7% | 54,2% | 78,3 |
| África | Angola | 17,9 | 2,7% | 56,9% | 48,9 |
| África | Malawi | 17,7 | 2,7% | 59,6% | 84,4 |
| África | Sudão | 16,4 | 2,5% | 62,0% | 34,0 |
| África | Chad | 16,1 | 2,4% | 64,4% | 88,0 |
| África | Quênia | 13,1 | 2,0% | 66,4% | 23,8 |
| Ásia | Mianmar | 12,7 | 1,9% | 68,3% | 23,2 |
| África | Burundi | 11,7 | 1,8% | 70,1% | 88,4 |
| Ásia | Paquistão | 10,7 | 1,6% | 71,7% | 4,5 |
| África | Mali | 10,6 | 1,6% | 73,3% | 45,5 |
| África | Sudão do Sul | 10,5 | 1,6% | 74,8% | 94,6 |
| África | Zâmbia | 10,0 | 1,5% | 76,3% | 48,9 |
| | Resto do Mundo | 157,6 | 23,7% | 100,0% | 2,0 |

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

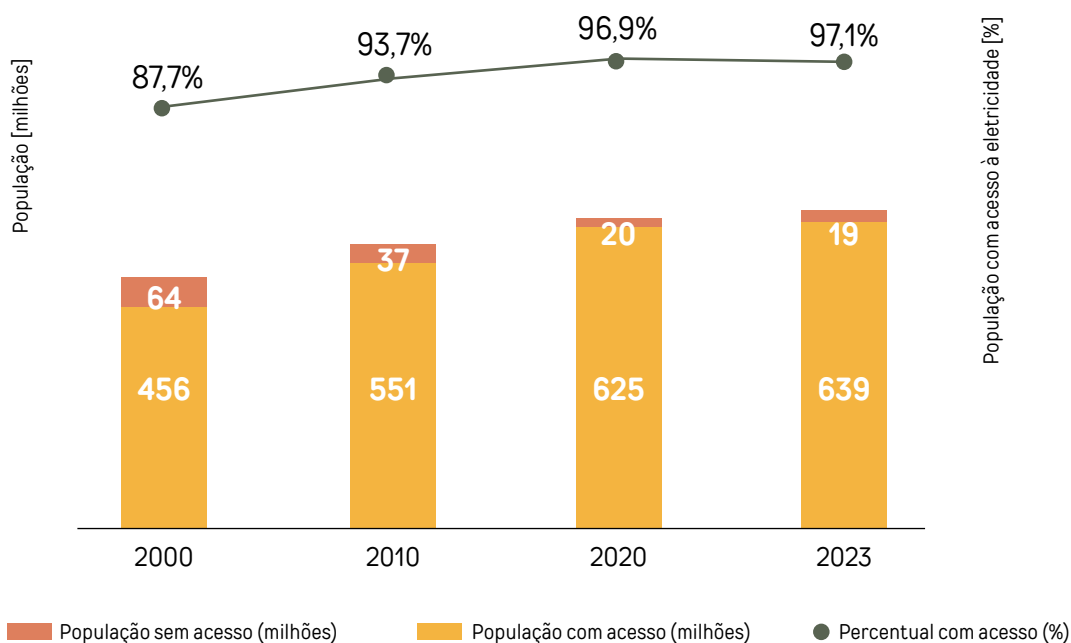


Figura 8. Pessoas com e sem acesso à energia elétrica na ALC, 2010–2023.

Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

Contudo, os dados agregados podem ocultar disparidades significativas entre sub-regiões e países, bem como entre diferentes grupos sociais. Fatores geográficos, renda e origem étnica configuram fatores determinantes das desigualdades no acesso à energia elétrica.

Do ponto de vista territorial, os países da ALC apresentam contrastes marcantes no acesso à energia elétrica. Chile e Cuba já alcançaram a universalização, com 100%

da população atendida. Venezuela, Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Costa Rica registram as menores taxas de exclusão elétrica, variando entre 0,1% e 0,4% da população. Em contrapartida, em parte da ALC, a situação é consideravelmente mais desafiadora. Em 2023, aproximadamente 10,4% da população da Guatemala, 12,8% de Honduras e 52,1% do Haiti ainda permaneciam sem acesso à eletricidade, conforme demonstra a

Figura 9 (IEA, 2025a; The World Bank, 2025c).

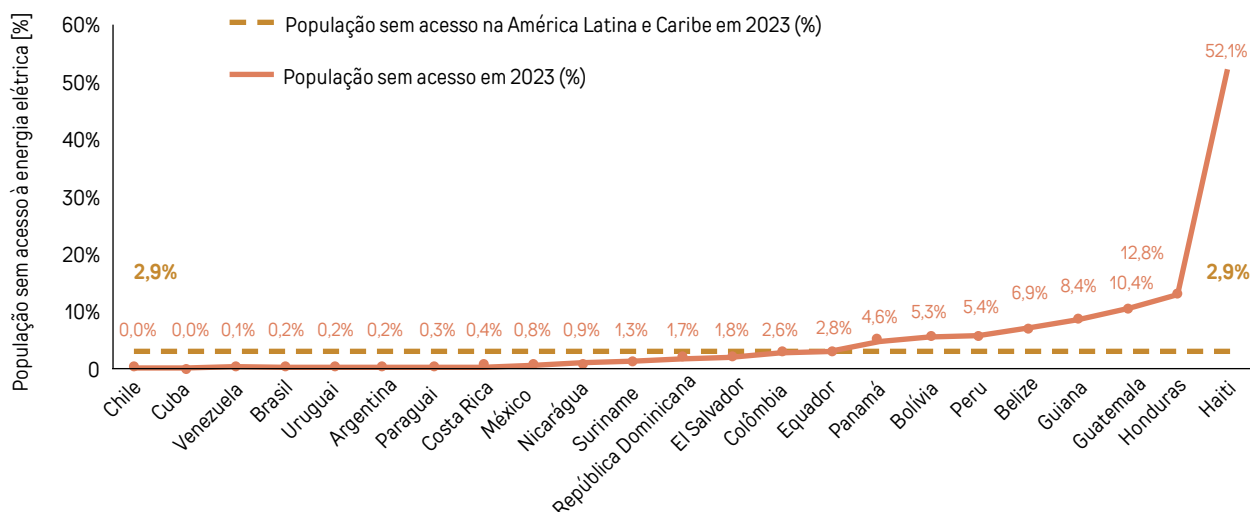


Figura 9. Indicador de exclusão elétrica nos países da ALC em 2023. Fonte: Dados do Banco Mundial (2025c) e IEA (2025).

No que se refere às desigualdades segundo a área geográfica na clivagem urbano-rural, observa-se, conforme indicado na **Figura 10**, que a evolução do acesso à eletricidade em áreas urbanas demonstra avanços consistentes entre 2000 e 2023. Em 2000, a taxa de acesso à eletricidade em áreas urbanas da ALC era de 97,2%, correspondendo a 386 milhões de pessoas atendidas e 11 milhões ainda sem acesso. Em 2010, o contingente de

ÁREA URBANA

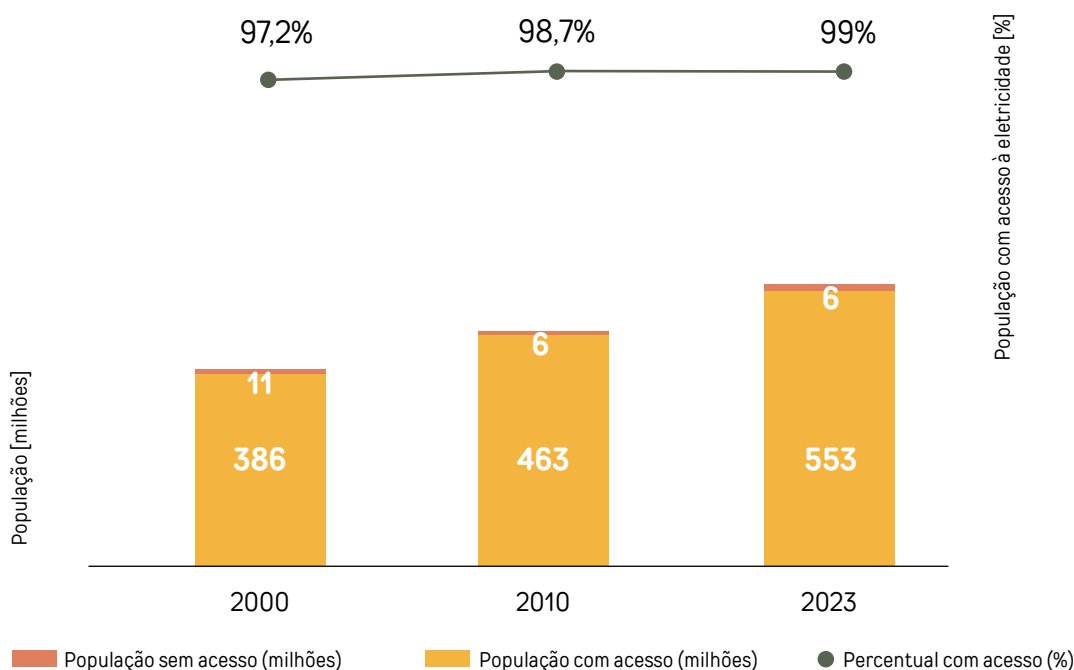


Figura 10. População da ALC com e sem acesso à energia elétrica em área urbana, 2000–2023.

Fonte: CEPALSTAT – Portal de Datos y Publicaciones Estadísticas da Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2025).

população com acesso subiu para 463 milhões, enquanto a exclusão caiu para 6 milhões de habitantes urbanos, elevando a taxa de cobertura para 98,7%. Em 2023, os indicadores apontaram novos avanços, com 553 milhões de pessoas em áreas urbanas tendo acesso à eletricidade e apenas 6 milhões permanecendo excluídas. Como resultado, a taxa de cobertura atingiu 99%, praticamente universalizando o serviço no meio urbano.

No caso das áreas rurais, a exclusão no período analisado é relativamente maior do que nas áreas urbanas, conforme

demonstra a **Figura 11**. Em 2000, a taxa de acesso à eletricidade nas áreas rurais era de 66,5%, o que correspondia a 43 milhões de pessoas sem acesso. Em 2010, observou-se uma melhora significativa, a taxa de cobertura subiu para 81,8%, evidenciando um avanço expressivo no período com 105 milhões de pessoas rurais tendo acesso, mas 23 milhões permanecendo excluídas. Em 2023, a taxa de cobertura atingiu 89,8%, consolidando a tendência positiva de expansão, embora sem alcançar a universalização, uma vez que 13 milhões de pessoas ainda permaneciam sem atendimento.

ÁREA RURAL

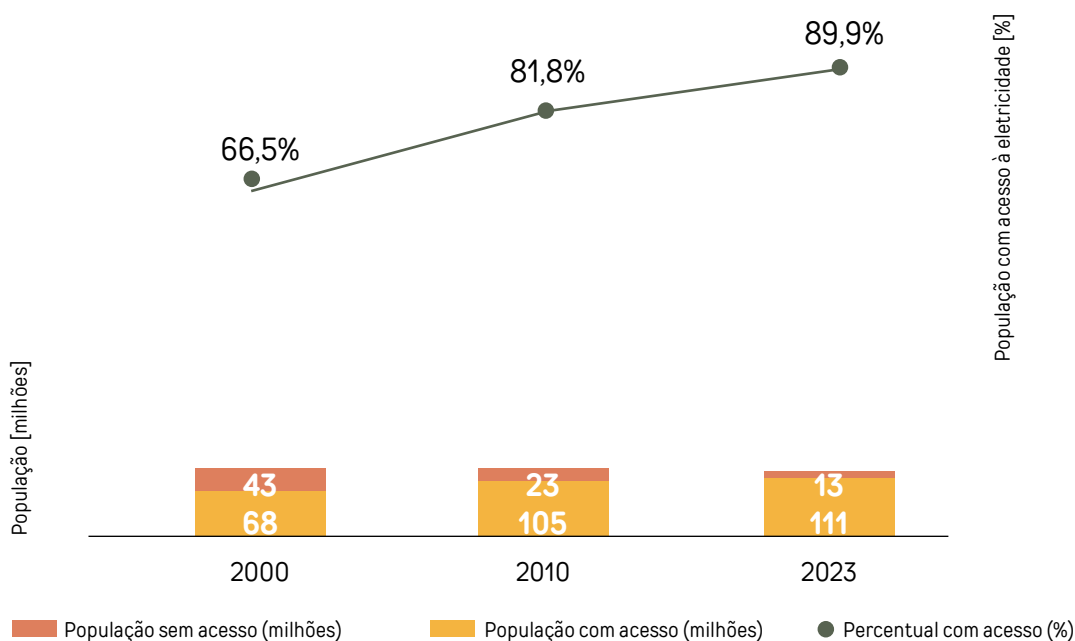


Figura 11. População da ALC com e sem acesso à energia elétrica em área rural, 2000–2023.

Fonte: CEPALSTAT (2025).

Esses números evidenciam que, enquanto a universalização do acesso à eletricidade em áreas urbanas da ALC encontra-se praticamente consolidada, com taxas superiores a 99% em 2023 e 6 milhões de pessoas ainda excluídas, no meio rural a exclusão permanece mais acentuada, com aproximadamente 13 milhões de pessoas sem acesso, cerca de 10 pp abaixo da observada em áreas urbanas. Essa disparidade confirma que a exclusão elétrica na região assume caráter predominantemente rural e reforça a necessidade de estratégias específicas para comunidades isoladas, onde a expansão convencional de redes tende a não ser a solução mais custo-efetiva.

Ao analisar as desigualdades de acesso por grupos populacionais², os dados apresentados na **Figura 12** indicam avanços significativos no período 2000–2023, embora persistam desigualdades relevantes em alguns grupos. Entre os povos indígenas, a proporção da população sem acesso reduziu de 28,6% em 2000 para 10,5% em 2023, uma taxa de redução anual de 4%.

Apesar da redução consistente, este grupo continua apresentando os maiores níveis de exclusão energética relativa.

Entre a população afrodescendente, a exclusão foi reduzida de 11,1% em 2000 para 2,4% em 2023, o que representa um dos avanços mais expressivos no período — a maior taxa anual de redução anual, 6% ao ano (a.a.), entre os grupos analisados —, com forte redução das desigualdades em relação à média regional.

Nos demais grupos populacionais, a exclusão passou de 10,1% em 2000 para 2,8% em 2023. Considerando o conjunto da população, a exclusão elétrica reduziu de 13,2% em 2000 para 4,0% em 2023. Esses resultados confirmam a tendência de redução da exclusão energética na região, mas também evidenciam a permanência de desigualdades estruturais, sobretudo entre povos indígenas, que permanecem como o grupo mais vulnerável em termos de acesso universal à energia elétrica.

² Apenas dez países da região incluem, em suas pesquisas domiciliares, fonte dos dados para este indicador, uma pergunta específica sobre origem étnica. Essa limitação metodológica deve ser considerada na interpretação dos resultados, uma vez que alguns grupos podem variar consideravelmente na região.

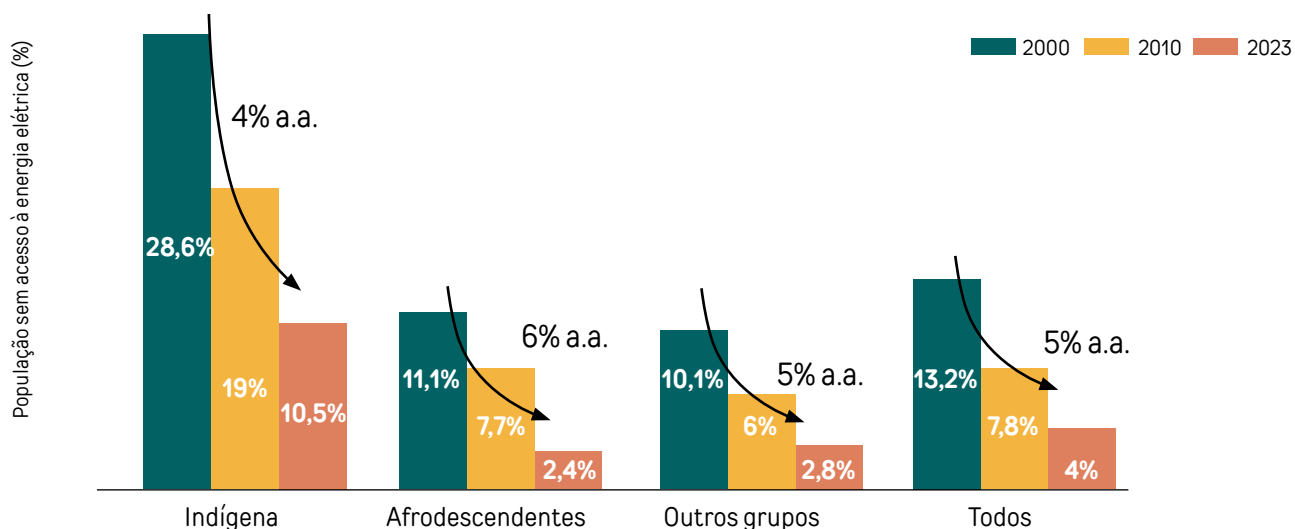


Figura 12. Proporção da população indígena, afrodescendente, outros grupos e total populacional sem acesso à eletricidade na ALC, 2000–2023. Fonte: CEPALSTAT (CEPAL, 2025).

A análise da exclusão elétrica por faixas de renda evidencia a persistência de desigualdades estruturais, ainda que os avanços entre 2000 e 2023 tenham sido significativos, conforme demonstra a **Figura 13**. Em 2000, a exclusão atingia 29,3% dos 20% mais pobres (Faixa 1), enquanto, entre os 20% mais ricos (Faixa 5), a exclusão era de 1,7%. No período, todas as faixas registraram reduções expressivas, de 5% a 3% a.a., com quedas mais acentuadas nas camadas de menor renda. Em 2023, a exclusão entre os mais pobres recuou para 8,2%, ou seja, uma redução superior a 20 pp. em relação ao início da série. Nas faixas intermediárias, a exclusão reduziu para 4,4% (Faixa 2) e

2,6% (Faixa 3). Já entre os grupos de maior renda, os indicadores aproximaram-se da universalização: 1,6% na Faixa 4 e 0,8% na Faixa 5.

Esses resultados confirmam uma tendência geral de redução da exclusão elétrica em todas as faixas de renda, mas demonstram que a desigualdade persiste de forma mais acentuada entre os segmentos mais pobres da população. Em 2023, a exclusão elétrica dos 20% mais pobres ainda era dez vezes superior à observada entre os 20% mais ricos, evidenciando a forte correlação entre renda e acesso à energia elétrica.

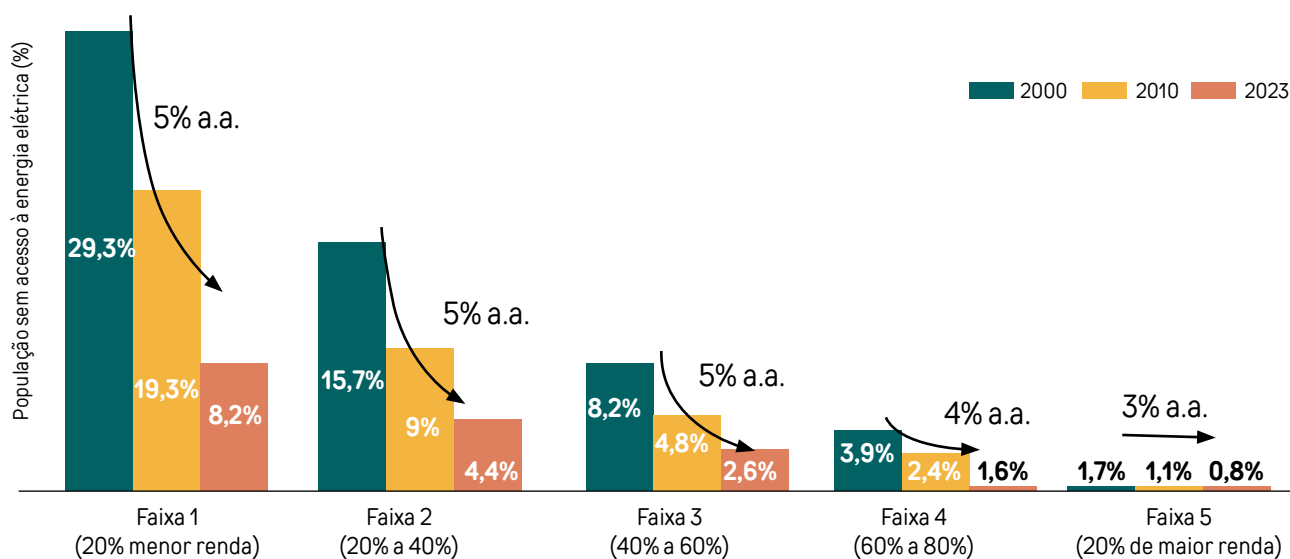


Figura 13. Proporção da população por faixa de renda sem acesso à eletricidade na ALC, 2000–2023. Fonte: CEPALSTAT (CEPAL, 2025).

Nos países da Pan-Amazônia, embora as taxas de cobertura elétrica variem entre 91,6% e 99,9% — em sua maioria próximas à taxa global de 91,7%, com exceção da Guiana (91,6%) —, ainda persistem disparidades significativas, conforme ilustrado na **Figura 14**. Estima-se que aproximadamente cinco milhões de pessoas permaneçam sem acesso à energia elétrica na região (CEPAL, 2025).

Em termos relativos, Guiana, Peru e Bolívia apresentam as menores taxas de eletrificação entre os países pan-amazônicos, com 91,6%, 94,6% e 94,7%, respectivamente, o que representa aproximadamente 2,6 milhões de pessoas sem acesso à eletricidade. Em valores absolutos, os maiores contingentes de exclusão concentram-se no Peru e na Colômbia, com respectivamente 1,8 milhão e 1,4 milhão de pessoas sem acesso à energia elétrica, conforme demonstra a **Tabela 4**. No Brasil, embora a taxa oficial de cobertura seja de 99,8% — correspondente a cerca de 400 mil pessoas (CEPAL, 2025), seis vezes maior que o total da Guiana —, estima-se que aproximadamente um milhão de pessoas ainda não tenham acesso a serviços públicos de eletricidade (IEMA, 2020).

A análise integrada dos indicadores de acesso à eletricidade evidencia que a exclusão energética na ALC é heterogênea e se distribui de forma desigual segundo dimensões territoriais, socioeconômicas e étnicas.

Do ponto de vista espacial, geográfico, as áreas urbanas alcançaram níveis próximos à universalização, com cobertura de 99% em 2023, restando cerca de 6 milhões de pessoas sem acesso. Já no meio rural, embora tenham ocorrido avanços significativos, e a cobertura tenha passado de 66,5% em 2000 para 89,8% em 2023, ainda persistem aproximadamente 13 milhões de pessoas excluídas, confirmando que a desigualdade no acesso à energia é predominantemente rural.

Sob a ótica socioeconômica, a análise das faixas de renda, por quintis, demonstra que, em 2023, a exclusão entre os 20% mais pobres (Faixa 1) ainda era dez vezes superior à observada entre os 20% mais ricos (Faixa 5), 8,2% contra 0,8%. Apesar da redução superior a 20 pp. entre 2000 e 2023 na Faixa 1, a renda permanece sendo um fator determinante do acesso, reproduzindo assimetrias sociais históricas.

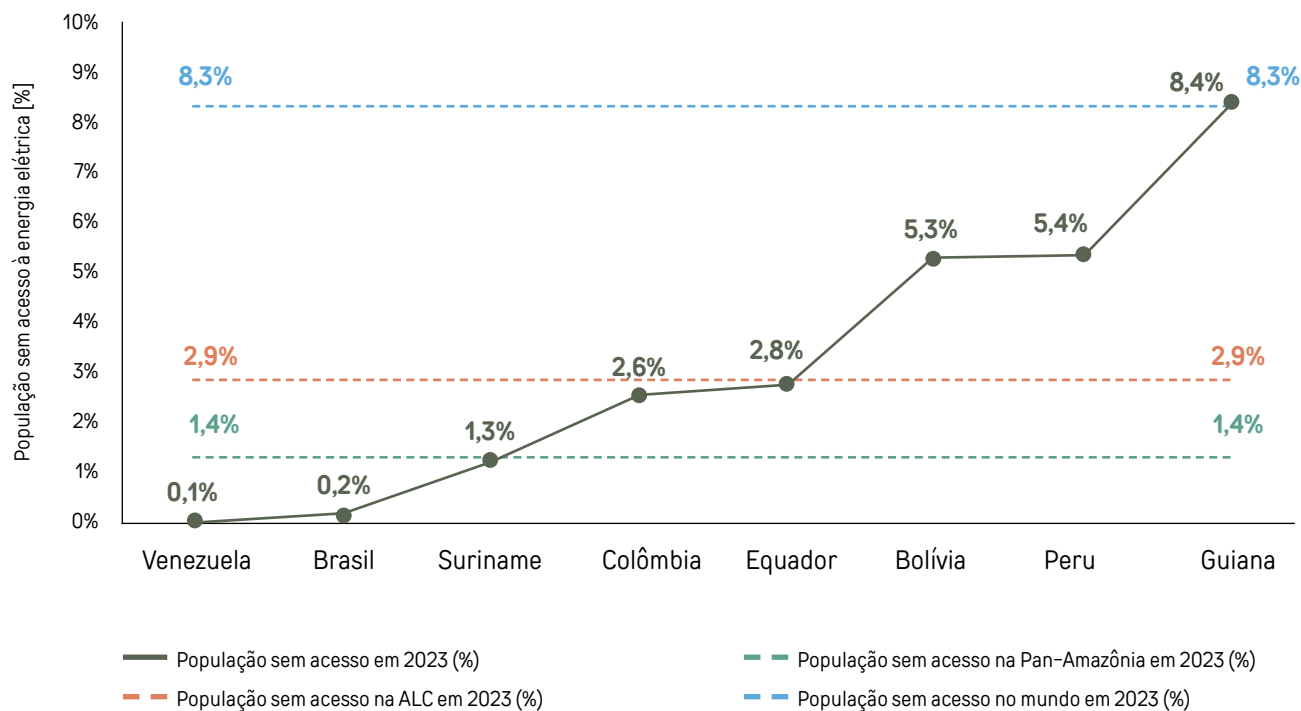


Figura 14. Taxa de exclusão do acesso à energia elétrica nos países da Pan-Amazônia em 2023.

Fonte: CEPALSTAT (CEPAL, 2025) e Banco Mundial (2025c).

Tabela 4. População e dados de cobertura elétrica nos países da Pan-Amazônia (2023)

| País | População [milhões] | População sem acesso à eletricidade [milhões] | Percentual de acesso à eletricidade [%] |
|--------------|---------------------|---|---|
| Venezuela | 28,301 | 0,028 | 99,9% |
| Brasil | 211,141 | 0,422 | 99,8% |
| Suriname | 0,629 | 0,008 | 98,7% |
| Colômbia | 52,321 | 1,360 | 97,4% |
| Equador | 17,980 | 0,503 | 97,2% |
| Bolívia | 12,244 | 0,649 | 94,7% |
| Peru | 33,846 | 1,828 | 94,6% |
| Guiana | 0,826 | 0,069 | 91,6% |
| Total | 357,288 | 4,869 | 98,6% |

Fonte: The World Bank (2025c).

Do ponto de vista étnico, a exclusão também apresenta padrões desiguais. Entre a população que se identifica como indígena, 10,5% permaneciam sem acesso em 2023, contra apenas 2,4% entre afrodescendentes e 2,8% nos demais grupos, evidenciando a vulnerabilidade persistente das populações indígenas e tradicionais, que se somam aos desafios estruturais de localização geográfica e de menor renda per capita.

Portanto, a desigualdade no acesso à eletricidade na região decorre de um conjunto de fatores que se sobrepõem: residir em áreas rurais remotas, pertencer às

camadas de menor renda e integrar populações indígenas aumenta significativamente a probabilidade de exclusão energética. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas integradas que articulem estratégias territoriais, sociais e culturais para superar os múltiplos determinantes da exclusão elétrica.

Assim, mesmo nos países que apresentam altas taxas de cobertura e estão próximos da universalização, persistem bolsões críticos de exclusão elétrica, evidenciando a necessidade de políticas focalizadas para superar desigualdades históricas e garantir o acesso universal efetivo.



3

*INICIATIVAS DE
PROJETOS E DE POLÍTICAS
PÚBLICAS DE ACESSO
À ENERGIA ELÉTRICA*

Como já abordado, o acesso à energia deve dispor de um serviço energético capaz de garantir todas as demandas energéticas sociais — individuais e comunitárias — e econômicas nos âmbitos domiciliar, produtivo e comunitário (ESMAP, 2014).

Nesse contexto, a implementação de políticas públicas de Estado é fundamental para enfrentar a exclusão energética, especialmente em países e regiões de baixa renda ou com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), onde desafios estruturais e restrições institucionais dificultam a universalização do acesso. Essas políticas devem ser estruturadas em longo prazo, com continuidade de governança e administrativa, garantindo previsibilidade e coerência regulatória.

Assumem também papel central as iniciativas de cooperação com instituições multilaterais e internacionais,

como Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Agência Internacional de Energia (IEA), Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) e agências da Organização das Nações Unidas (ONU). Essas entidades apoiam técnica e financeiramente projetos de eletrificação em territórios vulneráveis, por meio de linhas de crédito concessionais e até mesmo a fundo perdido, garantias de risco, assistência técnica e arranjos de governança para execução descentralizada (IADB, 2018; The World Bank, 2025b), reduzindo assimetrias regionais e alinhando os esforços locais às metas do ODS 7, com a combinação entre políticas públicas nacionais e apoio internacional, acelerando a universalização do acesso, ao mesmo tempo em que reduz desigualdades regionais (ESMAP, 2022c).

As políticas públicas de acesso à energia podem ser classificadas em diferentes estágios de instrumentalização,

Tabela 5. Características dos instrumentos técnicos de acesso à energia elétrica.

| TIPO DE SISTEMA | CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS TÉCNICOS DE ACESSO |
|--|---|
| Eletrificação por rede | Expansão da rede elétrica convencional para conectar novos domicílios ou comunidades, garantindo fornecimento contínuo por meio da infraestrutura centralizada de geração, transmissão e distribuição. |
| Eletrificação por minirrede | Implantação de sistemas locais de geração e distribuição, geralmente a partir de fontes renováveis, que atendem comunidades isoladas ou distantes da rede principal, com capacidade de operar de forma autônoma. |
| Sistemas fora da rede | Soluções descentralizadas individuais, como sistemas solares domiciliares, projetadas para prover serviços básicos de eletricidade em áreas remotas onde a expansão da rede ou de minirredes é economicamente inviável. |
| Geração e transmissão transfronteiriça | Projetos de geração e linhas de transmissão que conectam países vizinhos, permitindo o intercâmbio de energia elétrica, aumentando a confiabilidade do sistema e otimizando a utilização de recursos energéticos regionais. |
| Transmissão e distribuição | Fortalecimento e modernização da infraestrutura de transporte e distribuição de eletricidade, reduzindo perdas técnicas e comerciais, ampliando a confiabilidade e viabilizando novas conexões. |
| Segregação de alimentadores rurais | Separação técnica entre alimentadores de energia destinados a áreas rurais e urbanas, possibilitando maior controle da qualidade do fornecimento, priorização de carga e redução de perdas em regiões agrícolas. |
| Eficiência energética | Conjunto de medidas e tecnologias para reduzir o consumo de energia mantendo o nível de serviço, incluindo modernização de equipamentos, sistemas de gestão da demanda e uso de tecnologias mais eficientes. |
| Regulação e reforma de mercado | Aprimoramento do marco regulatório e reestruturação do mercado elétrico para incentivar investimentos, promover competição, garantir transparência e assegurar a inclusão de soluções descentralizadas no setor elétrico. |

Fonte: baseado nos trabalhos de Silva et al. (2022, 2021, 2024), IEMA (2023), IEI (2022), Ribeiro et. al (2024), ESMAP (2014), e Bhatia e Angelou (2015).

desde programas de primeiro acesso, voltados a conectar populações ainda excluídas, até políticas e projetos orientados ao pleno acesso, que asseguram continuidade, qualidade e confiabilidade do fornecimento.

Os instrumentos, sistematizados na **Tabela 5**, incluem:

(i) reforço e expansão da geração, transmissão e distribuição existentes; (ii) a expansão de redes de distribuição, priorizando regiões periurbanas e rurais mais densas; (iii) a implantação de minirredes comunitárias — como os Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI)

— em áreas isoladas; e (iv) a disseminação de sistemas individuais de geração — como os Sistemas Individuais de Geração com Fontes Intermitentes (SIGFI) — atendendo individualmente cada unidade consumidora; e (v) instrumentos indiretos de acesso a partir de programas de eficiência energética e regulação de mercados.

A diversidade de modelos busca adaptar-se às características territoriais e socioeconômicas das comunidades, combinando soluções de menor custo com fontes renováveis descentralizadas, garantindo equidade e eficiência na execução das políticas de eletrificação (Ferreira; Silva, 2021).

Tabela 6. Impactos instrumentos técnicos no acesso à energia elétrica.

| Acesso | Tipo de sistema | Conexão à rede elétrica | Legalidade | Capacidade ponta (W) | Disponibilidade (h) | Fornecimento noturno | Qualidade (V) | Confiabilidade (interrupções) | Acessibilidade econômica |
|---------------------|---|-------------------------|-------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1º Acesso | Eletrificação por rede | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto |
| | Eletrificação por minirrede | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio |
| | Sistemas fora da rede e lanternas solares | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo |
| Ampliação do Acesso | Geração e transmissão transfronteiriça | Alto | Alto | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio | Médio |
| | Transmissão e distribuição | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto |
| | Segregação de alimentadores rurais | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo |
| Indireto | Eficiência energética | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo |
| | Regulação e reforma de mercado | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo |

Fonte: Avaliação dos autores baseada nos trabalhos de Silva et al. (2022, 2021, 2024), IEMA (2023), WWF (2022), IEI (2022), Ribeiro et. al (2024), ESMAP (2014), Bhatia e Angelou (2015), e REC (2025b, 2025a).

Essas políticas, além de ampliarem o acesso, fortalecem a produção local, melhoram os serviços públicos e promovem a integração com políticas sociais mais amplas de educação, saúde e desenvolvimento produtivo (IEMA, 2023; Silva et al. 2024). O impacto dos diferentes instrumentos de acesso à energia elétrica está sistematizado na **Tabela 6**, na qual a cor laranja indica impacto nulo, o verde claro representa baixo impacto e o verde escuro alto impacto.

3.1 INICIATIVAS INTERNACIONAIS DE PROJETOS DE ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA

3.1.1 Programas e iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica

Diversos programas internacionais têm desempenhado papel central na universalização do acesso à energia. O *Integrated Electrification Strategies and Planning* (IESP), coordenado pela *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP)³, presta assistência técnica e operacional a governos para a elaboração de planos nacionais de eletrificação de menor custo (*least-cost*), utilizando modelos geoespaciais para integrar soluções de rede convencional de distribuição, minirredes e sistemas fora da rede (*off-grid*), cronogramas de implementação, modalidades de execução e planos de financiamento estruturados. A meta é que pelo menos 50 países adotem oficialmente essas estratégias até 2030, em um contexto em que 63 países ainda têm mais de meio milhão de pessoas sem acesso à eletricidade (ESMAP, 2022c).

O IESP estrutura-se em cinco pilares: (i) apoio técnico-operacional para planejamento geoespacial e carteiras de minirredes; (ii) aprimoramento da *Global Electrification Platform*; (iii) definição de padrões de dados para planejamento; (iv) capacitação de governos, academia e atores setoriais; e (v) análises geoespaciais voltadas a emergências de saúde pública, como a COVID-19 (ESMAP, 2022c).

Paralelamente, o programa *Off-Grid Solar/Lighting Global* expande soluções solares descentralizadas para regiões remotas, utilizando lanternas solares e sistemas

domésticos. O programa busca assegurar preços acessíveis ao promover ambientes regulatórios favoráveis, estabelecer padrões de qualidade, desenvolver modelos de subsídios, estimular o envolvimento do setor privado e difundir mecanismos de financiamento como o *pay-as-you-go* (PAYG) — modelos pré-pagos em que o consumidor compra cotas de uso, em contraste com o modelo tradicional de faturamento pós-consumo (ESMAP, 2022b).

Entre as experiências destacam-se: o *Africa Regional Geospatial Planning Support Facility*, que apoiou Angola, Benin, Burkina Faso, Somália e Tanzânia; o *Access to Distributed Electricity and Lighting ADELE Project*, na Etiópia, maior intervenção do Banco Mundial em eletrificação descentralizada (US\$ 375 milhões, 700 minirredes e 5 milhões de beneficiários); e o *Liberia Electricity Sector Strengthening and Access Project* (LESSAP), na Libéria, que busca universalizar o acesso até 2030, atendendo a mais de um milhão de domicílios, com um terço via minirredes e sistemas solares (ESMAP, 2022c).

Além disso, o IESP atua em países como Paquistão e Nigéria, reduzindo prazos de implementação e apoiando eletrificação rural de centros de saúde. Outros projetos foram financiados em países como Chade, Mauritânia, República do Congo, Malawi, Somália, Somalilândia, Zâmbia, Botsuana, Moçambique, Serra Leoa e Uganda (ESMAP, 2022c).

3.1.2 Indicadores e métricas de iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica

A métrica tradicional — binária — de acesso, baseada apenas na presença ou ausência de conexão à rede, não capta sua natureza multidimensional. Deficiências no fornecimento reduzem a utilidade da eletricidade, criam barreiras econômicas que limitam seu uso e permitem o estabelecimento de ligações ilegais, gerando perdas e riscos à saúde e bem-estar das pessoas. Por isso, o acesso deve incluir também soluções fora da rede, como sistemas autônomos (*off-grid*) e minirredes, contabilizadas de acordo com a quantidade e qualidade da energia fornecida.

Nesse contexto, a ESMAP (2014) desenvolveu a abordagem multinível, que expande a métrica tradicional ao avaliar o acesso a partir de níveis sucessivos, conforme

³ O Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), em parceria com o Banco Mundial e mais de vinte instituições, apoia países em desenvolvimento a partir de assessoria técnica e financiamento para acelerar a transição energética e garantir o cumprimento do ODS 7 (ESMAP 2022a).

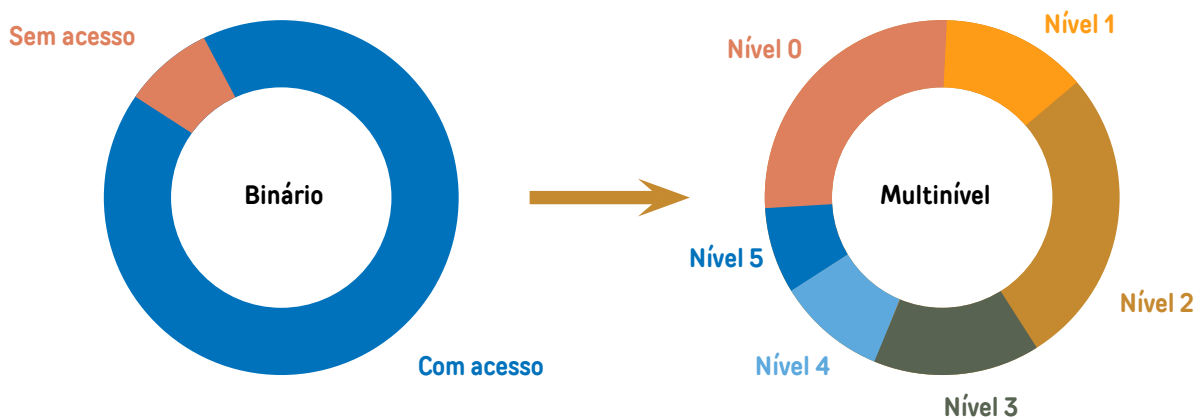


Figura 15. Estrutura do entendimento e classificação do acesso à energia elétrica.
 Fonte: adaptado de (ESMAP, 2014).

Tabela 7. Matriz multinível para medir o acesso ao fornecimento de energia elétrica⁴.

| Atributos | Nível 0 | Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Nível 4 | Nível 5 |
|---------------------------|-----------------------------------|---------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------|
| Capacidade | Sem energia | 1-50 W | 50-500 W | 500-2.000 W | >2.000W | |
| Disponibilidade (duração) | <4h | 4-8h | | 8-16h | 16-22h | >22h |
| Confiabilidade | Interrupções não programadas | | | | Sem interrupções não programadas | |
| Qualidade | Baixa qualidade | | | Boa qualidade | | |
| Acessibilidade | Não acessível economicamente | | Acessível economicamente | | | |
| Legalidade | Não legal / em situação irregular | | | Legal / em conformidade regulatória | | |
| Saúde e Segurança | Não conveniente | | | | Conveniente | |

Fonte: adaptado de ESMAP (2014).

⁴ Tabela completa no ANEXO 1.

ilustra a **Figura 15** e sistematiza a **Tabela 7**, definidos por atributos do suprimento: capacidade; disponibilidade (duração); confiabilidade; qualidade; acessibilidade econômica; legalidade; saúde e segurança. Essa abordagem supera as limitações das métricas tradicionais e orientam políticas e investimentos voltados ao cumprimento da meta do ODS 7.

Um quadro multinível para medir o acesso a serviços de eletricidade complementa a matriz de fornecimento ao avaliar os equipamentos e eletrodomésticos disponíveis no domicílio. Essa abordagem evidencia que um mesmo domicílio pode apresentar níveis distintos de fornecimento e de serviços, como a presença de eletrodomésticos mesmo em condições precárias de suprimento ou, ao contrário, sua ausência em contextos de fornecimento adequado. De forma complementar, considera também o consumo de eletricidade em relação direta aos níveis de serviços recebidos, definido por níveis anuais e diários baseados

em horas indicativas de uso de equipamentos domésticos, conforme demonstrado na **Tabela 8**.

A abordagem multinível, portanto, permite avaliar o acesso à eletricidade de forma abrangente, considerando fornecimento, serviços e consumo. Essa perspectiva evidencia que os domicílios podem ter classificações distintas em cada dimensão, oferecendo visão mais completa que a métrica binária. A **Tabela 9** apresenta a análise e as limitações da aplicação da abordagem multinível.

Os projetos de geração, transmissão e distribuição têm papel central na elevação dos níveis de acesso. Ao corrigirem déficits de qualidade e ampliarem a disponibilidade, permitem que domicílios avancem de níveis baixos (1 a 3) para níveis mais altos (3 a 5). Investimentos em transmissão e distribuição reforçam a confiabilidade, reduzem perdas e viabilizam novas conexões, sustentando o crescimento da demanda. Isso possibilita que unidades não conectadas

Tabela 8. Matriz multinível para medir o acesso aos serviços e o consumo de eletricidade domiciliar.

| Atributos | Nível 0 | Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Nível 4 | Nível 5 |
|--------------------------------|-------------|---|---|--|---|---|
| Critério de nível | Sem Energia | Iluminação básica e carregamento de celular | Iluminação geral, carregamento de celular, televisão e ventilador (se necessário) | Nível 2 e quaisquer eletrodomésticos de média potência | Nível 3 e quaisquer eletrodomésticos de alta potência | Nível 2 e quaisquer eletrodomésticos de muito alta potência |
| Nível de consumo anual, em kWh | | ≥4,5 | ≥73 | ≥365 | ≥1.250 | ≥3.000 |
| Nível de consumo diário, em Wh | | ≥12 | ≥200 | ≥1.000 | ≥3.425 | ≥8.219 |

Fonte: adaptado de Bhatia e Angelou (2015).

Tabela 9. Quadro de análises e limitações da abordagem multinível.

| Aspecto | Análise | Alternativas |
|-----------------------------------|--|---|
| Abordagem metodológica | Complexidade da metodologia, com definição de limites de níveis considerados subjetivos; atributos independentes nem sempre evoluem simultaneamente. | Adotar limites mais claros e calibrados a partir de evidências empíricas; combinar atributos de forma gradual conforme experiências anteriores. |
| Coleta de dados | Exige coleta extensiva de dados, o que pode ser financeiramente inviável; alguns aspectos relevantes não são contemplados no instrumento padrão. | Incorporar módulos adicionais específicos às pesquisas; aplicar diferentes níveis de detalhamento da matriz conforme recursos disponíveis. |
| Formulação matemática dos índices | Conversão de valores ordinais (níveis) em valores cardinais de acesso pode não ser matematicamente robusta. | Aprimorar a metodologia de cálculo; testar métricas híbridas ou ponderadas; validar robustez estatística em diferentes contextos. |

(níveis 0 a 2) ingressem na rede e que as já conectadas obtenham maior confiabilidade e acessibilidade econômica, conforme os níveis demonstrados na **Tabela 7** e na **Tabela 8**.

O acesso à energia para usos produtivos é definido como aqueles que aumentam a renda ou a produtividade, caracterizando atividades de agregação de valor. A diversidade de atividades, escalas e graus de mecanização dificulta a definição de uma métrica comum, já que cada atividade demanda aplicações energéticas específicas oriundas de diferentes fontes. De forma geral, essas aplicações incluem: iluminação, informação e comunicação, força motriz, aquecimento de ambientes, aquecimento de produtos e aquecimento de água. Também podem ser elaborados índices específicos para agricultura, pequenos comércios e atividades artesanais.

O acesso à energia em instalações comunitárias é igualmente primordial ao desenvolvimento

socioeconômico. A iluminação pública favorece mobilidade, segurança e dinamismo social. Nas unidades de saúde, garante atendimentos, operação de equipamentos e cadeia de frio. Em escolas, amplia o tempo de estudo e melhora a aprendizagem. Em edifícios governamentais, viabiliza e-governança e comunicações. Em centros comunitários, religiosos ou culturais, permite uso noturno e oferta de serviços coletivos. A mensuração deve considerar cobertura, intensidade luminosa e diversidade de serviços, além da sustentabilidade financeira, entendida como a capacidade das instituições de arcar com custos de energia, combustíveis, peças e manutenção.

Por fim, a **Tabela 10** sistematiza a aplicação da abordagem multinível para os diferentes acessos à energia elétrica—domiciliar, produtivo e comunitário—, evidenciando sua utilidade para políticas públicas e planejamento integrado.

Tabela 10. Quadro de comparação da aplicação dos multiníveis de acesso à energia elétrica.

| Contexto de aplicação | Base de avaliação | Principais limitações | Cálculo do índice |
|------------------------------|--|---|--|
| Fornecimento de eletricidade | Desempenho do suprimento elétrico (capacidade, duração, confiabilidade, qualidade, acessibilidade, legalidade, saúde e segurança). | Pode existir conexão formal sem fornecimento adequado ou contínuo. | Classificação multinível por atributos de fornecimento. |
| Consumo de eletricidade | Níveis de consumo anual estimados a partir de horas indicativas de uso de eletrodomésticos. | Não reflete diversidade real de eletrodomésticos e não incorpora adequadamente a eficiência energética. | Classificação multinível por faixas de consumo anual; distinta de fornecimento e serviços. |
| Serviços domiciliares | Tipo e disponibilidade de equipamentos e eletrodomésticos utilizados no domicílio. | Domicílios podem ter equipamentos mesmo com fornecimento precário ou, ao contrário, não dispor de equipamentos apesar de suprimento adequado. | Classificação multinível paralela ao fornecimento, definida pelos tipos de equipamentos disponíveis. |
| Usos produtivos | Aplicações energéticas em atividades produtivas (iluminação, TICs, força motriz, aquecimento de ambientes, produtos e água). | Diversidade de usos, escalas de operação e setor informal dificultam padronização. | Índice calculado pela média dos níveis obtidos para cada aplicação produtiva; menor nível entre aplicações define o acesso global. |
| Instalações comunitárias | Serviços comunitários (saúde, educação, iluminação pública, governança e centros comunitários). | Grande variedade de serviços comunitários e diferentes atributos a medir (cobertura, intensidade, sustentabilidade financeira). | Índice baseado na avaliação multinível dos atributos por instalação comunitária; menor nível entre atributos define o acesso global. |

3.1.3 Resultados das iniciativas internacionais de acesso à energia elétrica

Os programas internacionais resultaram em avanços expressivos, principalmente nos países africanos, que concentram as maiores parcelas da população ainda excluída do acesso básico à energia elétrica. Em 2023, cerca de 561 milhões de pessoas foram beneficiadas por soluções renováveis descentralizadas, responsáveis por mais da metade das novas conexões na África Subsaariana entre 2020 e 2022 (IEA et al. 2025).

A energia solar *off-grid* é considerada a solução de menor custo para 41% da população que ainda permanecerá sem acesso em 2030 (IEA et al. 2025), especialmente em usos produtivos como bombeamento, refrigeração e armazenamento a frio, que ampliam a renda e a capacidade de pagamento pelo serviço de energia elétrica.

Contudo, os dados da estrutura multinível — *Multi-Tier Framework* (MTF) — demonstram vulnerabilidades, uma vez que, a maioria dos beneficiários de sistemas solares fotovoltaicos (SFV) acima de 200 W (nível 2) recebe menos de 8 h de eletricidade por dia, e usuários em níveis 3 ou superiores (SFV > 800 W), que recebem de 8 a 16 h de eletricidade por dia, são quase inexistentes (ESMAP, 2025), refletindo problemas de qualidade e confiabilidade

do fornecimento e a demanda de políticas públicas que elevem progressivamente o nível de acesso.

A dimensão social da exclusão também é central. Em países da África e do Sul da Ásia, domicílios chefiados por mulheres apresentam menor probabilidade de acesso *off-grid*, com a acessibilidade econômica como principal barreira. Entre 2021 e 2023, a exclusão do acesso em países menos desenvolvidos — *least developing countries* (LDCs)⁵ — caiu de 481 para 476 milhões, por outro lado, nos países em contextos de fragilidade, conflito e violência — *Fragile and conflict-affected countries* (FCV)⁶ — aumentou de 422 para 427 milhões (IEA et al. 2025).

A **Figura 16** apresenta a evolução do número de pessoas atendidas por programas internacionais. O total cresceu de 219 milhões em 2021 para 326 milhões em 2022 e 385 milhões em 2023. Nesse período, o Nível 1 passou de 172 milhões para 253 milhões (aumento de mais de 81 milhões, crescimento de 47%), enquanto o Nível 2 avançou de 47 milhões para 132 milhões (aumento de mais de 85 milhões, crescimento de 181%). Esses resultados indicam ganhos quantitativos relevantes, mas também ressaltam a necessidade de elevar progressivamente a qualidade e confiabilidade do acesso.

Pessoas atendidas [milhões]

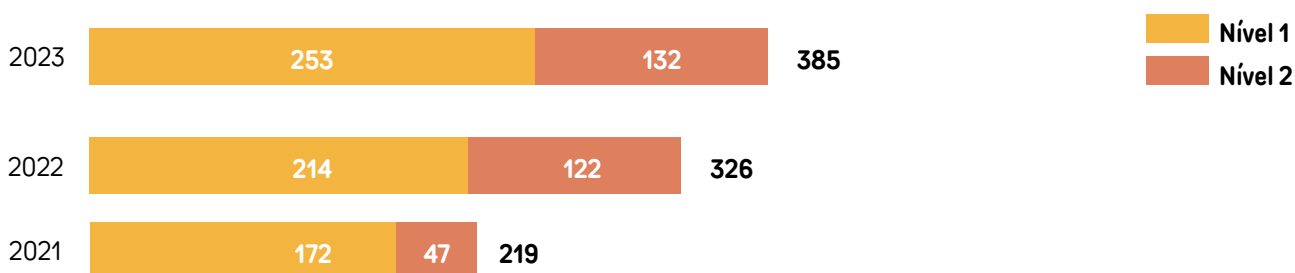


Figura 16. Número de pessoas que receberam acesso à energia elétrica por tipo de nível de fornecimento.

Fonte: adaptado de IEA/IRENA/UNSD/World Bank/WHO (2025).

⁵ Segundo a classificação da ONU, atualmente, existem 44 países classificados como LDCs, trata-se de países com: (i) baixa renda per capita (medida pelo PIB per capita); (ii) fracas capacidades institucionais e humanas (educação, saúde, nutrição); e (iii) alta vulnerabilidade econômica e ambiental (choques externos, instabilidade política, desastres naturais). Esses países possuem o maior déficit de acesso à eletricidade e energias limpas, que necessitam de fluxos internacionais de financiamento, subsídios concessionais e cooperação técnica para avançar nos ODS (IEA et al. 2025; UNFCCC, 2020).

⁶ Características dos países e regiões FCV: (i) baixa capacidade institucional do Estado de prover serviços básicos (incluindo energia, saúde, educação); (ii) conflito armado ou instabilidade política, como guerras civis, insurgências, disputas territoriais; e (iii) violência generalizada, insegurança física que afeta populações, infraestrutura e investimentos. Atualmente, existem 21 países em conflito e 17 países em situação de fragilidade institucional e social, apenas Haiti e Venezuela estão na América Latina (The World Bank 2025a).

Em resumo, os dados revelam que, embora a cobertura tenha se expandido, os maiores desafios residem na qualidade do serviço, no atendimento de populações vulneráveis, principalmente nos países menos desenvolvidos e em conflito armado, e na sustentabilidade das soluções. A combinação de redes, minirredes e sistemas *off-grid*, associada a políticas públicas de financiamento e inclusão social e ao conhecimento sobre o consumidor final — necessidades, perfis demográficos, capacidade de pagamento e processos de decisão —, permanece essencial para garantir o cumprimento do ODS 7.

3.2 POLÍTICAS PÚBLICAS NA AMÉRICA DO SUL E NA PAN-AMAZÔNIA

A análise das políticas públicas e iniciativas de universalização do acesso à energia elétrica nos países sul-americanos revela avanços heterogêneos e estratégias institucionais variadas, refletindo os contextos socioterritoriais e capacidades estatais de cada país.

A partir da sistematização de documentos técnicos, estudos de caso e literatura científica especializada, observou-se que Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Peru e Venezuela possuem programas estruturados para a eletrificação rural e remota, com diferentes níveis de ênfase em soluções renováveis e descentralizadas.

3.2.1 Projeto de Energias Renováveis em Mercados Rurais — Argentina

A Argentina tem atuado com o *Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales* (PERMER), voltado à expansão do acesso por meio de sistemas descentralizados baseados em fontes renováveis.

Em 1999, o país já havia alcançado uma taxa de eletrificação de 95%, porém cerca de 25% da população rural permanecia sem acesso. O PERMER, estabelecido em 2000, financiado pelo Banco Mundial e pelo *Global Environment Facility* (GEF), foi estruturado para eletrificar 35 mil domicílios remotos, 1.750 instalações públicas (hospitais e escolas) e 500 empreendimentos comerciais, utilizando concessões *off-grid* supervisionadas por agências reguladoras provinciais (Bazilian et al. 2012; PERMER 2015).

O modelo previa que a escolha da tecnologia fosse de responsabilidade do concessionário, enquanto os custos

eram divididos: 30–40% do concessionário, 10% do usuário e 50–60% em subsídios, pagos em duas fases, na aquisição e na instalação. As agências reguladoras avaliavam a qualidade do serviço, as instalações e a satisfação dos usuários (Bazilian et al. 2012).

Um dos casos mais avançados foi o da *Empresa Jujeña de Sistemas Eléctricos Dispersos Sociedad Anónima* (EJSEDSA), concessionária de Jujuy, que iniciou em 1996 e, em cinco anos, eletrificou 4.000 domicílios rurais com minirredes híbridas (micro-hidrelétricas, solar-fotovoltaico, eólico-diesel) e sistemas solares domiciliares (Bazilian et al. 2012).

O PERMER foi estabelecido em 2000 como novo componente do *Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural de Argentina* (PAEPRA), lançado em 1995. O PAEPRA criou um fundo nacional e provincial para subsidiar projetos de eletrificação rural, concedendo subsídios a concessionárias privadas selecionadas por licitação, que assumiam o compromisso de fornecer eletricidade ao menor custo possível, inclusive por soluções *off-grid*, recebendo o monopólio regional, com a obrigação de atender novas conexões e manter a continuidade do serviço ao longo da concessão.

Enquanto o PAEPRA priorizava a eletrificação rural em geral, o PERMER concentrou-se em sistemas individuais (*stand-alone*) para assentamentos dispersos e instalações comunitárias, distribuídos em duas fases: (i) 2000–2012; e (ii) 2015–2020, conforme sistematizado na **Tabela 11** (IEA 2024c).

Os consumidores arcavam com os custos de instalação e uma tarifa mensal fixa que cobria cerca de 40% do investimento inicial ao longo de anos, além de despesas com manutenção e baterias. Subsídios adicionais eram destinados às famílias mais pobres, reduzidos gradualmente durante a vigência da concessão. A primeira fase do PERMER teve duração de seis anos, até 2007, com postergação até 2012, e a segunda iniciou-se em 2015, com duração de cinco anos, consolidando-se como um dos principais programas de eletrificação descentralizada da América Latina (IEA 2024c).

Tabela 11. Sistematização das duas fases do PERMER.

| Aspecto | PERMER I (2000-2012) | PERMER II (2015-2020) |
|------------------------------|--|--|
| Objetivo | Levar eletricidade a comunidades rurais dispersas sem expectativa de acesso à rede no curto/médio prazo; melhorar qualidade de vida e promover fixação da população. | Ampliar a cobertura do PERMER I, atendendo novas demandas em áreas rurais dispersas. |
| Fontes de energia | Fotovoltaica (residencial e institucional), eólica doméstica, micro-hidrelétricas, centrais híbridas (diesel/renováveis), solar térmica (água, aquecimento, cocção). | Fotovoltaica residencial, sistemas para escolas, serviços públicos, bombeamento de água, atividades produtivas e minirredes. |
| Financiamento | US\$ 30 mi (BIRF) + US\$ 9,5 mi (GEF) + US\$ 50 mi adicionais (BIRF). | US\$ 200 mi (BIRF) + contrapartida de US\$ 40 mi (US\$ 11 mi governo federal, US\$ 6 mi províncias, US\$ 23 mi setor privado). |
| Instituições gestoras | Secretaria de Energia da Nação (Unidade Coordenadora e Unidades Executoras Provinciais); concessões públicas e privadas. | Idem PERMER I, ampliado com maior articulação intergovernamental e participação privada. |
| Escopo | Instalação de SFV (residenciais), sistemas em escolas, hospitais, prédios públicos, parques nacionais, bombeamento de água, refrigeração de vacinas etc. | Instalação de 18.500 SHS residenciais, repotenciação em 700 escolas, serviços públicos, minirredes e apoio a usos produtivos. |
| Beneficiários | Milhares de domicílios rurais e centenas de escolas e hospitais em diversas províncias. | ~118.000 pessoas beneficiadas em doze províncias (Catamarca, Chaco, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Neuquén, Rio Negro, Salta, San Juan, Santiago del Estero, Tucumán). |
| Usuário e tarifa | Custos definidos por província: cálculo da tarifa plena, definição do subsídio e valor pago pelo usuário. | Mesma lógica do PERMER I, com variação de subsídios conforme província. |

Fonte: elaborado com base em PERMER (2015).

3.2.2 Programa Luz para Todos (LPT) — Brasil

O Brasil destaca-se pelo Programa Luz para Todos (LPT), com escopo nacional e mecanismos de financiamento robustos voltados à eletrificação rural e remotas. Além disso, incorpora ações de educação para uso racional da energia e eficiência energética, integrando comunidades de baixa renda, povos indígenas, quilombolas, ribeirinhos, assentamentos rurais e populações em áreas de conservação (MME 2024).

Embora a maioria dos beneficiários iniciais tenha sido atendida pela extensão de redes, o programa passou a incluir estratégias baseadas em Recursos Energéticos Descentralizados (RED) para regiões isoladas, de baixa densidade populacional e ambientalmente sensíveis (BRASIL 2020).

As primeiras diretrizes para soluções renováveis surgiram em 2009. Entre 2011 e 2014, destacaram-se duas alternativas: os Sistemas Individuais de Geração com Fontes Intermitentes (SIGFI) e os Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição (MIGDI). Ambos visavam garantir iluminação, refrigeração e comunicação em usos residenciais e comunitários. As normas previam autonomia mínima de 48 horas, limite de interrupção de até 216 h/mês e disponibilidade de 45 kWh/mês por unidade consumidora (Ferreira et al. 2023). O MIGDI é recomendado para demandas superiores a 900 kWh/mês, limitado a 100 kWp de potência instalada (Silva et al. 2024).

A estrutura institucional segue modelo multiagente. O Ministério de Minas e Energia (MME) coordena o programa e define prioridades. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regula as atividades de distribuição, define tarifas de O&M, fiscaliza relatórios de desempenho e supervisiona protocolos de comissionamento. A ENBPar, estatal resultante do desmembramento da Eletrobras durante o processo de privatização, avalia a viabilidade técnico-econômica dos projetos. A execução fica a cargo da Concessionária Regional de Distribuição (RUC) — empresas privadas e cooperativas de eletrificação rural — responsáveis pela coleta da demanda, execução dos projetos e O&M, podendo terceirizar tarefas a empresas locais (Ferreira et al. 2023).

O financiamento é garantido majoritariamente pela Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que cobre 90% dos custos de investimento direto, com recursos pagos pelos consumidores do Sistema Interligado Nacional (SIN). A contrapartida inclui participação das Concessionárias regionais e cooperativas (MME 2024).

Os custos de operação e manutenção são cobertos por tarifas pagas pelos usuários, com desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica, desde 2010, destinada a famílias de baixa renda, idosos, pessoas com deficiência e populações indígenas e quilombolas inscritas no Cadastro Único. A tarifa oferece descontos de 100% para consumo de até 80 kWh/mês para família com renda mensal per capita de até meio salário-mínimo (Rede Energia & Comunidades et al. 2025). A **Tabela 12** sistematiza a estrutura e as características do LPT.

3.2.3 Programa de Eletrificação Rural e Social — Chile

O Chile adota uma estratégia mista para universalizar o acesso à energia elétrica, priorizando a extensão de redes em áreas interconectáveis e a implementação de soluções descentralizadas em comunidades rurais isoladas. Nas últimas três décadas, a cobertura elétrica nacional passou de pouco mais de 50% da população rural para 96,5%, alcançando quase 100% no total do país (IEA et al. 2025). O desafio atual está menos na expansão da rede e mais na qualidade do serviço e na inclusão de comunidades isoladas, com previsão de atender o déficit residual por meio de sistemas fotovoltaicos individuais (até 10 kWp), minirredes híbridas renováveis e soluções comunitárias de energia térmica e elétrica (IEA 2025f; Ministerio de Energía 2024)

O marco regulatório é liderado pelo Ministério de Energia, em coordenação com os ministérios de Habitação e Urbanismo e do Meio Ambiente, alinhando políticas energéticas à redução da pobreza energética e ao cumprimento do ODS 7. A governança é centralizada no Ministério de Energia, que define diretrizes, supervisiona programas e articula a coordenação intersetorial, enquanto a execução é descentralizada, com participação de ministérios setoriais, governos

Tabela 12. Características do Programa Luz para Todos.

| ASPECTO | DESCRIÇÃO |
|--------------------------------|---|
| Ano de criação | 2003 (primeiras diretrizes para soluções descentralizadas em 2009; inclusão de SIGFI e MIGDI em 2011). |
| Objetivo | Universalizar o acesso à energia elétrica em áreas rurais e remotas, com foco em populações tradicionais, comunidades remotas, indígenas, quilombolas, ribeirinhas, assentamentos e áreas de conservação. |
| Estratégias | Extensão de redes de distribuição; sistemas descentralizados de energia renovável (SIGFI — Sistemas Individuais com Fontes Intermitentes; MIGDI — Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição). |
| Parâmetros técnicos | SIGFI: 80 kWh/mês por UC, autonomia de 48 h, limite de interrupção de 216 h/mês. — MIGDI: até 100 kW instalados, recomendado para demandas > 900 kWh/mês. — Uso prioritário: iluminação, refrigeração, comunicação e serviços comunitários. |
| Estrutura institucional | <ul style="list-style-type: none"> - Ministério de Minas e Energia (MME): coordenação e decisão final. - ANEEL: regulação, definição de tarifas, fiscalização e auditoria. - ENBPar: viabilidade técnico ao MME. - Concessionárias regionais/cooperativas: execução, O&M e atendimento às demandas locais. |
| Financiamento | <ul style="list-style-type: none"> - Conta de Desenvolvimento Energético (CDE): cobre 80-100% dos custos de investimento direto. - Contrapartida 10% concessionárias. |
| Tarifas e subsídios | 2010 até agosto de 2025, descontos escalonados (65% para 0-30 kWh; 40% para 31-100 kWh; 10% para 101-220 kWh). Para indígenas e quilombolas: subsídio integral até 50 kWh/mês. Após agosto de 2025: desconto de 100% para consumo mensal até 80 kWh e isenção do pagamento da CDE para consumo até 120 kWh para famílias com renda per capita de até meio salário-mínimo. |
| Público-alvo | Famílias rurais de baixa renda, comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhas, assentamentos rurais, populações em áreas de conservação e em regiões de difícil acesso. |
| Resultados principais | 3,5 milhões de domicílios conectados à rede e 65 mil atendidos por SIGFI e MIGDI em áreas isoladas, garantindo acesso básico à eletricidade, inclusão social e suporte a atividades produtivas para mais de 17,5 milhões de pessoas. |

Fonte: elaborado com base em IEMA (2023) e MME (2023 2024).

locais, concessionárias de distribuição e organizações sociais (Ministerio de Energía 2021).

Complementarmente, o governo implementa mecanismos de proteção tarifária, como o *Energy Emergency and Stabilisation Fund*, que congela ou limita reajustes no preço da eletricidade para residências e pequenas empresas. Já o *Fondo de Acceso a la Energía* (FAE) institucionaliza a participação cidadã, permitindo que entidades comunitárias apresentem projetos e assegurando transparência, integração com políticas sociais e de desenvolvimento territorial. Esses mecanismos também estimulam ações de eficiência energética, substituição da lenha por fontes mais limpas, melhoria do isolamento térmico das residências e programas de educação energética (IEA 2022 2024a).

O acompanhamento é conduzido pelo Ministério de Energia em parceria com organismos reguladores e auditorias externas, monitorando indicadores de cobertura, confiabilidade, eficiência energética e impactos sociais das soluções na redução da pobreza energética, no uso produtivo da energia e na melhoria das condições de habitabilidade. Planos e fundos, como o FAE e o *Energy Emergency and Stabilisation Fund*, possuem relatórios de execução periódicos, assegurando transparência e responsabilidade socioeconômica (IEA 2024a; Ministerio de Energía 2024).

Os projetos financiados incluem: (i) sistemas fotovoltaicos com ou sem baterias, de até 10 kWp, para comunidades e pequenos estabelecimentos; (ii) sistemas solares térmicos com capacidade de acumulação de até 1.500 litros para residências e centros comunitários; (iii) minirredes renováveis para comunidades de médio porte; e (iv) programas de eficiência energética residencial, como o *Programa con Buena Energía*, que distribui kits de soluções domésticas e capacita moradores (Ministerio de Energía 2021, 2024).

O financiamento apoia-se em múltiplos instrumentos: (i) o FAE, com recursos do orçamento público para projetos comunitários; (ii) subsídios habitacionais para eficiência energética e soluções solares térmicas; (iii) programas específicos do Ministério de Energia e do Meio Ambiente, como os de substituição de sistema de aquecimento; e (iv)

mecanismos extraordinários, como o *Energy Emergency and Stabilisation Fund*, para proteção tarifária. Além disso, a política mobiliza aportes de cooperação internacional e parcerias público-privadas para ampliar a escala e a sustentabilidade financeira dos projetos (IEA 2022, 2024a). A **Tabela 13** sistematiza as características dos programas de acesso à energia elétrica do Chile.

3.2.4 Programa Nacional de Eletrificação Rural (PNER) – Colômbia

A Colômbia adota estratégias mistas para ampliar o acesso à eletricidade em áreas rurais e vulneráveis, combinando a extensão de redes do Sistema Interconectado Nacional (SIN) com sistemas autônomos e minirredes descentralizadas. Em 2023, a cobertura elétrica nacional atingiu 97,4%, mas ainda havia 1,36 milhão de pessoas sem acesso, concentradas em áreas dispersas e vulneráveis. O Plano Nacional de Eletrificação Rural (PNER) projeta universalização até 2031, com marcos intermediários entre 2023 e 2027, alinhando-se às políticas de reforma rural, ao Acordo de Paz e ao cumprimento do ODS 7, com prioridade para municípios e comunidades indígenas e afrodescendentes (Minergia 2018, 2023).

O arranjo institucional é coordenado pelo Ministerio de Minas y Energía (MEM). Os planos de expansão são elaborados pelos Operadores de Rede (OR), avaliados pela Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) e submetidos à regulação da Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), com execução pelas concessionárias regionais. O Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) atua em áreas não interconectadas, enquanto o financiamento provém de fundos setoriais, programas de Obras por Impuestos (OXI) e apoio internacional (Minergia 2023, 2025a).

Para alcançar os objetivos, foram estruturados três instrumentos centrais de política pública: FAER, FAZNI e FOES. O Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas (FAER), criado pela Lei 788/2002 e regulamentado pelo Decreto 1122/2008, financia a expansão e modernização da infraestrutura elétrica em áreas rurais interconectadas (IEA 2024b; Minergia 2025a). O Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI), instituído pela Lei 633/2000 e atualizado pelo Decreto

Tabela 13. Características do programa de acesso à energia elétrica do Chile.

| Dimensão | Descrição | Políticas e instrumentos |
|---|--|--|
| Estratégia de universalização | Estratégia mista: extensão de redes em áreas interconectáveis e soluções descentralizadas em comunidades isoladas. | Programas como <i>Ruta de la Luz</i> e <i>Programa de Electrificación Rural y Social</i> ; uso de sistemas fotovoltaicos individuais (até 10 kWp), minirredes híbridas e soluções comunitárias de energia térmica e elétrica. |
| Resultados alcançados | Cobertura elétrica rural passou de pouco mais de 50% para 96,5% em 30 anos, alcançando quase 100% no país. | Dados de cobertura nacional (IEA, Ministerio de Energía). |
| Governança | Centralização normativa e de diretrizes no Ministério de Energia; execução descentralizada com ministérios setoriais, governos locais, concessionárias e organizações sociais. | Ministerio de Energía (coordenação central); Ministerios de Habitación e Urbanismo e do Meio Ambiente (coordenação intersetorial). |
| Instrumentos de proteção e participação | Mecanismos para reduzir vulnerabilidade tarifária e institucionalizar a participação social. | <i>Energy Emergency and Stabilisation Fund</i> (proteção tarifária); <i>Fondo de Acceso a la Energía</i> (FAE) (projetos comunitários, participação cidadã). |
| Ações complementares | Eficiência energética, substituição da lenha por fontes limpas, melhoria do isolamento térmico e programas de educação energética. | Programas do Ministério de Energia e do Meio Ambiente. |
| Monitoramento e avaliação | Monitoramento de indicadores de cobertura, confiabilidade, eficiência energética e impactos sociais; relatórios periódicos. | Ministerio de Energía; organismos reguladores; auditorias externas; relatórios do FAE e do <i>Energy Emergency and Stabilisation Fund</i> . |
| Projetos financiados | Tipologias de projetos para comunidades, residências e estabelecimentos. | (i) Sistemas fotovoltaicos até 10 kWp com ou sem baterias; (ii) sistemas solares térmicos até 1.500 litros; (iii) minirredes renováveis; (iv) <i>Programa con Buena Energía</i> (kits domésticos e capacitação). |
| Financiamento | Instrumentos múltiplos: orçamento público, subsídios, fundos emergenciais, cooperação internacional e PPPs. | (i) FAE; (ii) subsídios habitacionais (eficiência e solar térmico); (iii) programas específicos do Ministério de Energia e Meio Ambiente; (iv) <i>Energy Emergency and Stabilisation Fund</i> ; (v) cooperação internacional e parcerias público-privadas. |

1124/2008, apoia a construção, reposição e reabilitação da infraestrutura elétrica em áreas não conectadas ao SIN, com recursos provenientes de contribuições setoriais, orçamento nacional e cooperação internacional (IEA 2025d; Minergia 2025b). Já o Fondo de Energía Social (FOES) assegura acessibilidade econômica por meio de subsídios tarifários focalizados, compensando financeiramente as operadoras que repassam os descontos diretamente nas faturas dos consumidores de baixa renda (IEA 2025g).

Combinados, FAER, FAZNI e FOES estruturam a base da política colombiana de universalização — o PNER —, articulando expansão de redes interconectadas, atendimento a zonas isoladas e subsídios sociais, conforme sistematiza a **Tabela 14**.

A estratégia do PNER inclui: (i) extensão de redes do SIN em áreas de maior densidade e menor custo; (ii) minirredes renováveis (solar, hídrica, híbrida com armazenamento) em localidades isoladas; (iii) sistemas fotovoltaicos individuais de até 0,5 kWp por domicílio em áreas dispersas, com meta de beneficiar 84.445

novos usuários até 2031; e (iv) soluções comunitárias e produtivas integradas a domicílios, usos agrícolas e serviços coletivos (escolas, postos de saúde e centros comunitários) (Minergia 2023).

O marco regulatório é definido pelo Decreto 1623/2015, que estabelece critérios para planejamento e expansão, priorizando eficiência econômica, redução de custos, usos produtivos e sustentabilidade financeira. A participação cidadã ocorre por meio de diagnósticos sociotécnicos simplificados em assembleias comunitárias (PDET, PNIS), permitindo identificar demandas e validar soluções. A socialização posterior assegura compreensão e apropriação local (Minergia 2023).

Por fim, os mecanismos de monitoramento e avaliação contemplam indicadores de 2018 a 2031, com matrizes específicas para municípios. O acompanhamento é realizado pela UPME e pelo IPSE, assegurando a articulação entre fundos e programas e fortalecendo a sustentabilidade das soluções implementadas (Minergia 2018, 2023). A **Tabela 15** sistematiza as características gerais da política pública de acesso à energia elétrica na Colômbia.

Tabela 14. Sistematização dos instrumentos financeiros da política pública de acesso à energia elétrica da Colômbia.

| Fundo | Nome completo | Objetivo | Fontes de financiamento | Público-alvo | Resultados esperados |
|-------|--|---|--|---|---|
| FAER | <i>Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas</i> | Financiar expansão e modernização da infraestrutura elétrica em áreas rurais interconectadas. | Contribuições setoriais, recursos públicos e tarifas reguladas (Lei 788/2002). | Comunidades rurais interconectadas ao SIN. | Ampliar cobertura, garantir eficiência tarifária e integrar planos territoriais de eletrificação. |
| FAZNI | <i>Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas</i> | Financiar construção, reposição e reabilitação de infraestrutura elétrica em áreas não interconectadas. | Contribuições setoriais, orçamento nacional e cooperação internacional (Lei 633/2000). | Comunidades em zonas isoladas e não interconectadas ao SIN. | Expandir cobertura elétrica em zonas isoladas com sustentabilidade financeira. |
| FOES | <i>Fondo de Energía Social</i> | Garantir acessibilidade econômica da energia para áreas rurais e populações vulneráveis. | Compensações financeiras via faturas, repassadas por operadoras de energia. | Famílias de baixa renda, áreas rurais e populações vulneráveis. | Reduzir desigualdades no acesso e assegurar continuidade do serviço. |

Tabela 15. Características do programa de acesso à energia elétrica da Colômbia.

| ASPECTO | DESCRIÇÃO |
|---|--|
| Meta e exclusão atual (2023) | <ul style="list-style-type: none"> – Atender 431 mil pessoas até 2031, com universalização do acesso à eletricidade. – 97,4% da população com acesso; ainda 1,36 milhão de pessoas sem eletricidade, concentradas em áreas rurais dispersas e vulneráveis. |
| Marco regulatório | Decreto 1623/2015, que estabelece critérios para planejamento, eficiência econômica, redução de custos, sustentabilidade e priorização de usos produtivos. |
| Governança | <ul style="list-style-type: none"> – Coordenação: <i>Ministerio de Minas y Energía</i> (MEM). – Planejamento, avaliação e monitoramento: <i>Unidad de Planeación Minero Energética</i> (PME). – Regulação tarifária e fiscalização: <i>Comisión de Regulación de Energía y Gas</i> (CREG). – Execução zonas não interconectadas: <i>Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas</i> (IPSE), execução em ZNI. – Execução e operação local: concessionárias regionais. |
| Estratégia de implementação | Modelo misto: (i) extensão de redes do <i>Sistema Interconectado Nacional</i> (SIN); (ii) minirredes renováveis (solar, hídrica, híbrida com armazenamento) em localidades isoladas; (iii) sistemas fotovoltaicos individuais (até 0,5 kWp por domicílio) para áreas dispersas; (iv) soluções comunitárias e produtivas integradas (agricultura, saúde, educação). |
| Instrumentos de financeiros e financiamento | <ul style="list-style-type: none"> – Programas de Obras por Imposto (OXI). – Fundos setoriais: (i) FAER para a expansão de infraestrutura em áreas interconectadas; (ii) FAZNI para a construção, reposição e reabilitação em áreas isoladas, não conectadas; e (iii) FOES para garantir acessibilidade econômica a populações vulneráveis. – Recursos internacionais: cooperação, BID etc. – Estimativa ~USD 380 milhões apenas via FAER (2024-2031). |
| Participação cidadã | Diagnósticos sociotécnicos simplificados em assembleias comunitárias, validação local das soluções e socialização dos impactos. |
| Monitoramento e avaliação | <ul style="list-style-type: none"> – Indicadores nacionais e específicos para municípios. – Monitoramento pela UPME e IPSE, com relatórios periódicos sobre cobertura, capacidade instalada e sustentabilidade das soluções. |

3.2.5 Programa de Eletrificação Rural e Urbano Marginal (FERUM) – Equador

O Equador estruturou o Plano Nacional de Eletrificação Rural (PNER) como instrumento fundamental à universalização do acesso à energia elétrica e às políticas nacionais de desenvolvimento produtivo e territorial (IEA 2025c). A estratégia adota um modelo misto, priorizando a extensão da rede em áreas interconectáveis e aplicando sistemas descentralizados em zonas isoladas, definidos a partir de diagnósticos territoriais, estudos de demanda e critérios de custo-efetividade (IEA 2025b) e uso de soluções tecnológicas integradas de fontes renováveis, como solar fotovoltaica, micro-hidrelétricas, e sistemas híbridos diesel-renováveis.

O marco regulatório é coordenado pelo Ministerio de Energía y Minas (MEM), que estabelece critérios de

eficiência econômica, sustentabilidade social e ambiental, e priorização de territórios vulneráveis. O plano projeta universalizar o acesso até 2030, com metas intermediárias de conexão e expansão da cobertura. Estima-se que a extensão de redes atenderá a maior parte da demanda, enquanto as Zonas Não Interconectadas (ZNI) serão cobertas por sistemas solares individuais de 0,5 a 1 kWp por domicílio e minirredes comunitárias, beneficiando dezenas de milhares de novos usuários (MEM 2023a).

A implementação incorpora processos participativos, com consultas comunitárias, oficinas locais e uso de questionários simplificados para identificar demandas energéticas e usos produtivos. Esse processo assegura que as comunidades compreendam os impactos e responsabilidades na operação e manutenção. Para o acompanhamento, o PNER adota indicadores de cobertura,

Tabela 16. Características do programa de acesso à energia elétrica do Equador.

| ASPECTO | DESCRIÇÃO |
|--------------------------|---|
| Meta de cobertura | Universalização do acesso até 2030; meta intermediária de 97% em 2014; cobertura atingiu 96,77% em 2013. |
| Estratégias de acesso | Modelo misto: extensão de rede em áreas interconectáveis; sistemas descentralizados em zonas isoladas. |
| Modalidades de projeto | <ul style="list-style-type: none"> - Extensão de redes convencionais; - Minirredes renováveis híbridas (solar, hídrica, diesel-renovável); - Sistemas solares fotovoltaicos individuais (0,5-1 kWp/domicílio). |
| Financiamento | <i>Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal</i> (FERUM), aportes setoriais das distribuidoras, orçamento público e cooperação internacional (principalmente BID). |
| Investimentos | 1999-2006: USD 259 milhões; 2007-2014: USD 440 milhões; 2013: USD 34,72 milhões em 582 projetos de redes e 24 projetos isolados. |
| Governanças | <i>Ministerio de Energía y Minas</i> (MEM) coordena; distribuidoras regionais executam; ARCONEL regula e fiscaliza; BID como parceiro financeiro. |
| Participação comunitária | Consultas comunitárias, oficinas participativas e questionários simplificados; comunidades atuam na operação básica e uso racional da energia. |

capacidade instalada, confiabilidade e sustentabilidade financeira, com relatórios periódicos do MEM e do regulador ARCONEL, além de auditorias técnicas e financeiras que permitem ajustes de metas.

Os projetos seguem três modalidades principais: (i) extensão de redes convencionais para localidades de maior densidade, (ii) minirredes renováveis híbridas em povoados médios e isolados, e (iii) sistemas solares fotovoltaicos individuais para domicílios dispersos. Cada modalidade é parametrizada em termos de potência, confiabilidade mínima e serviços básicos como iluminação, refrigeração, comunicação e usos produtivos (MEM 2015).

O financiamento é garantido pelo Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM), alimentado por aportes setoriais obrigatórios das distribuidoras, recursos do orçamento público e cooperação internacional, principalmente do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). O modelo combina subsídios cruzados, aportes governamentais e participação limitada dos usuários, assegurando acessibilidade econômica e sustentabilidade. Entre 1999 e 2006, o FERUM investiu USD 259 milhões e, no período 2007-2014, o valor foi

ampliado para USD 440 milhões. Em 2013, a cobertura elétrica chegou a 96,77%, e a meta para 2014 foi de 97,04 (MEM 2015). Atualmente, seguem em execução 582 projetos de redes elétricas e 24 projetos de sistemas isolados não convencionais, totalizando USD 34,72 milhões em investimentos (BID 2025).

O objetivo central do FERUM é ampliar e melhorar o acesso ao serviço elétrico em áreas rurais e urbano-marginais, reduzindo desigualdades históricas. Entre seus objetivos específicos estão: (i) fortalecer a capacidade institucional das distribuidoras para seleção, execução e monitoramento de projetos e (ii) garantir a sustentabilidade das soluções, especialmente em zonas de difícil acesso. O arranjo institucional envolve o MEM como coordenador, distribuidoras regionais como executoras e a ARCONEL como regulador, com participação comunitária em atividades básicas de operação e uso racional da energia (BID 2025).

De forma complementar, o Equador desenvolve iniciativas de planejamento energético e eficiência, como o Development of Energy Foresight and Planning, voltado à elaboração de planos nacionais de energia e eficiência

energética, e a Network for the Improvement of Electric Power Distribution Systems, que visa modernizar e sistematizar informações do setor para melhorar a qualidade da distribuição elétrica (IEA 2025c). Essas iniciativas reforçam o caráter integrado da política, articulando eletrificação, eficiência e planejamento de longo prazo (MEM 2023a). A **Tabela 16** sistematiza as características gerais da política pública de acesso à energia elétrica no Equador.

3.2.6 Programa Nacional de Eletrificação Rural (PNER) – Peru

O Peru desenvolve estratégia de extensão de rede por meio do Programa Nacional de Electrificación Rural (PNER). O PNER é a principal política pública peruana de universalização do acesso à energia elétrica em áreas e comunidades rurais dispersas e vulneráveis. Elaborado pelo Ministerio de Energía y Minas (MEM), por meio da Dirección General de Electrificación Rural (DGER), o plano cumpre a Lei Geral de Eletrificação Rural (Lei 28749) e seu regulamento (DS nº 018-2020-EM), em consonância com a política nacional de infraestrutura e com o ODS 7 (IEA 2025e).

O PNER 2024-2033 estabelece a meta de conectar 507 mil domicílios, atingindo 96% de cobertura até 2026. A estratégia é baseada em planejamento geoespacial e adota um modelo híbrido de soluções: (i) extensão de redes convencionais em comunidades maiores e próximas a linhas existentes; (ii) minirredes renováveis (solar, hídrica e híbrida) em centros povoados médios e isolados; e (iii) sistemas fotovoltaicos individuais para domicílios dispersos em zonas de difícil acesso (MEM 2023b).

O modelo institucional centraliza a coordenação no MEM/DGER, com execução pelas distribuidoras regionais e supervisão regulatória do Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). As comunidades participam da operação básica e do uso racional da energia, enquanto a manutenção avançada é responsabilidade das concessionárias.

Entre 2013 e 2022, o plano anterior destinou USD 1,28 bilhão a sistemas rurais, USD 53 milhões a pequenas hidrelétricas, USD 294 milhões a módulos fotovoltaicos e USD 42,5 milhões a usinas eólicas, estabelecendo o uso de renováveis como critério de seleção com peso de 10% (IEA 2025e).

O financiamento é articulado pelo Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), criado em 2012 para combater a pobreza energética. Até 2019, o FISE beneficiou 2,9 milhões de domicílios com subsídios tarifários, promoveu a conversão veicular para GLP e gás natural e viabilizou a instalação de 177.609 painéis solares, principalmente em residências, mas também em escolas e postos de saúde, assegurando serviços básicos em comunidades vulneráveis. O programa utilizou vouchers digitais, SMS e bancarização móvel, reduzindo custos administrativos e acelerando a implementação (IEA 2023).

Com o novo plano, o PNER prevê a eletrificação de mais de 500 mil domicílios até 2033, priorizando escolas, postos de saúde e sistemas de água potável em regiões de maior vulnerabilidade. Assim, o PNER se consolida como instrumento central para universalizar o acesso elétrico no Peru, ao combinar planejamento geoespacial, subsídios sociais, renováveis descentralizadas e participação comunitária, promovendo inclusão social, redução de desigualdades regionais e maior resiliência energética no território rural (MEM 2023b).

3.2.7 Programa Sembrando Luz (SL) – Venezuela

A Venezuela implantou o programa nacional Sembrando Luz (SL), voltado ao acesso descentralizado à energia e água potável, para atender mais de 300 mil pessoas em comunidades indígenas e fronteiriças isoladas. O objetivo central foi melhorar a qualidade de vida e fortalecer atividades produtivas. A população-alvo compreendia comunidades de até 500 habitantes, organizadas em conselhos comunitários e localizadas a mais de 10 km de linhas de transmissão (MPPEE 2013).

A estratégia principal baseou-se em sistemas descentralizados de energia renovável, ajustados à disponibilidade de recursos locais e ao perfil dos beneficiários. Na 1ª fase (2005), foram instalados sistemas fotovoltaicos (SFV) de 1.200 e 3.840 Wp em escolas, centros de saúde e serviços comunitários; na 2ª fase (2007), sistemas menores (300 e 600 Wp) para demandas residenciais atenderam residências, cobrindo iluminação, comunicação e refrigeração; já durante a 3ª fase (2009), foram implantadas microrredes híbridas (solar, eólica, diesel e baterias), com fornecimento de até 2 kWh/dia por domicílio, 3,7 kWh/dia para saúde e até 7,7 kWh/dia para escolas (Leduchovicz-Municio et al. 2022).

O programa foi centralizado no Ministério do Poder Popular para a Energia Elétrica (MPPEE), responsável por financiamento, majoritariamente oriundo da renda petrolífera. A tecnologia fotovoltaica inicial foi fornecida por Cuba em troca de petróleo, no âmbito do acordo bilateral de 2000. A Fundação para o Desenvolvimento do Serviço Elétrico (FUNDELEC) coordenou o desenho, a execução e a realização de diagnósticos sociotécnicos para verificar a viabilidade social e técnica antes da aprovação (López-González; Ferrer-Martí; Domenech 2019).

A gestão incorporou participação comunitária direta. Operadores comunitários, designados pelos Conselhos, foram capacitados pela FUNDELEC para operar e manter microrredes, financiados por tarifas locais. Sistemas individuais tiveram manutenção básica realizada pelos próprios usuários, treinados na implementação, enquanto reparos complexos ficaram sob responsabilidade da FUNDELEC. O programa incluiu ainda oficinas móveis regionais e capacitação contínua sobre uso eficiente e racional da energia (López-González et al. 2019). A **Tabela 17** sistematiza as características gerais da política pública de acesso à energia elétrica na Venezuela.

3.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES E LIÇÕES APRENDIDAS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS REGIONAIS

Embora programas de universalização tenham proporcionado avanços expressivos na expansão da cobertura elétrica em áreas rurais e remotas, o acesso universal à energia ainda enfrenta desafios críticos, sobretudo em regiões com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), em áreas de conflito, em zonas de floresta tropical e em territórios ocupados por povos indígenas, quilombolas, ribeirinhos e demais populações tradicionais.

As avaliações evidenciam limitações recorrentes, como a baixa continuidade dos serviços, a fragilidade na sustentabilidade financeira e operacional dos sistemas implantados, a vulnerabilidade dos modelos de gestão comunitária e a insuficiência da adequação tecnológica aos contextos socioterritoriais. Além disso, alguns países com presença de bioma amazônico, como Equador, Bolívia e Suriname, ainda não dispõem de políticas públicas consolidadas para o enfrentamento sistêmico da exclusão energética, o que reforça a necessidade de marcos

Tabela 17. Características do programa de acesso à energia elétrica venezuelano.

| Fase / Ano | Tecnologia | Capacidade Instalada | Público-Alvo | Aplicação |
|------------------------|--|--|--|---|
| 1ª Fase (2005-2006) | Sistemas Fotovoltaicos (SFV) comunitários. | 1.200 Wp e 3.840 Wp. | Escolas, centros de saúde, casas comunitárias, refeitórios, postos militares, reservas naturais. | Serviços públicos essenciais; infraestrutura comunitária. |
| 2ª Fase (2007) | SFV residenciais. | 300 Wp e 600 Wp. | Domicílios (até 500 habitantes por comunidade). | Iluminação, comunicação, refrigeração. |
| 3ª Fase Etapa 1 (2009) | Microrredes Híbridas (eólica + solar + diesel + baterias). | Até 2 kWh/dia/domicílio; 3,7 kWh/dia (saúde); 3,8-7,7 kWh/dia (escolas); potência máx. 450 VA. | Comunidades isoladas. | Atender múltiplos usos comunitários e domiciliares. |
| 3ª Fase Etapa 2 (2012) | Sistemas eólicos autônomos. | 1,5 kWp. | Residências. | Suprimento domiciliar básico (iluminação, comunicação, refrigeração). |

Fonte: elaborado pelo autor com base em MPPEE (2013), Leduchowicz-Mucio et al. (2022) e López-González et al. (2019).

regulatórios robustos, mecanismos de financiamento ajustados às realidades locais e estratégias participativas que assegurem protagonismo comunitário e respeito à diversidade sociocultural.

De forma geral, os resultados apontam que a universalização requer: (i) legislação específica para tecnologias descentralizadas, elaborada com participação social; (ii) valorização de fontes locais e fortalecimento dos mercados nacionais de Recursos Energéticos Descentralizados (RED); (iii) incentivos financeiros que equilibrem custos de implantação e manutenção em contextos de baixo IDH; (iv) modelos de gestão participativa e capacitação comunitária; e (v) integração das políticas energéticas a objetivos mais amplos de segurança alimentar, inclusão produtiva, saúde e educação.

As lições derivadas dos programas analisados oferecem subsídios relevantes para futuros processos de universalização em contextos de “*last-mile*” ou última milha, tanto na Pan-Amazônia quanto em regiões da África e da Ásia, fortalecendo a perspectiva de acesso universal, perene, justo e de qualidade, conforme estabelecido pelo ODS 7.

Nesse sentido, a análise de diferentes programas e iniciativas de políticas públicas permitiu identificar dimensões-chave que sintetizam as principais lições aprendidas. Os resultados confirmam que a última milha da universalização exige a integração de RED renováveis, como sistemas fotovoltaicos individuais com armazenamento em baterias, minirredes híbridas e soluções comunitárias. Experiências como o PERMER (Argentina), o PNER (Colômbia e Peru), o FERUM (Equador) e o LPT (Brasil) mostram que a combinação entre extensão de rede, minirredes e sistemas *off-grid* assegura maior cobertura territorial.

O uso de metodologias de planejamento geoespacial integrado (IESP/ESMAP) permite compor carteiras *least-cost* que conciliam diferentes soluções tecnológicas com cronogramas, metas de qualidade e planos de financiamento associados. Os indicadores multiníveis (MTF/ESMAP) demonstram que a simples conexão não garante suficiência energética, reforçando a necessidade de padrões mínimos (Nível/TIER 3) para usos produtivos e segurança alimentar.

A seguir, são sistematizados, em oito dimensões estabelecidas por Municio et al. (2022) e Udaeta et al.

(1997, 2012, 2015, 2016), os principais resultados das avaliações das políticas públicas, complementados pela **Tabela 18**, que consolida os achados das análises dentro de cada dimensão.

3.3.1 Dimensões de análise e lições aprendidas Estratégias de decisão

Processos conduzidos por empresas privadas priorizaram rentabilidade, enquanto decisões públicas asseguraram maior equidade. No PERMER, a decisão de tecnologia ficava a cargo da concessionária, regulada pelas províncias, ou da empresa que operacionaliza a iniciativa, como no caso do ESMAP. Já no LPT (Brasil), no PNER (Colômbia) e no SL (Venezuela), decisões centralizadas em ministérios e reguladores favoreceram critérios sociais.

A governança pública mostrou maior capacidade de reduzir desigualdades, sobretudo em áreas de baixa densidade. A experiência internacional indica que a adoção de modelos PAYG, com padrões técnicos certificados e assistência técnica, pode aumentar confiabilidade e acessibilidade econômica, reduzindo desigualdade no processo decisório. Por outro lado, países com programas desenhados especificamente para subsidiar o pagamento da tarifa de energia elétrica para consumidores de baixa renda se mostraram eficazes para atenuar a pobreza energética.

Desenvolvimento de soberania energética

Modelos com forte participação privada estimularam mercados nacionais de renováveis, como no Chile, com incentivos à indústria solar e térmica. Programas públicos, como o LPT e o SL (Venezuela), priorizaram soberania local e, no caso do SL, a autonomia comunitária, ainda que com menor dinamismo de mercado. Ambos os arranjos evidenciam *trade-offs* entre fortalecimento industrial e consolidação de capacidades locais, demonstrando a importância da valorização dos recursos renováveis locais e tecnologias desenvolvidas nacionalmente, fortalecendo mercados internos e incentivando transferência tecnológica em projetos de cooperação. Essa estratégia equilibra o fortalecimento industrial com a consolidação de capacidades comunitárias.

Marcos legais e institucionais

Execuções distribuídas e multiagente, como no PNER colombiano, com FAER, FAZNI e FOES, e no Chile, com FAE e fundos tarifários, fomentaram novos instrumentos de

política, enquanto modelos centralizados e dependentes de renda exclusiva, como o SL (Venezuela) dependente do superávit da exportação do petróleo, limitaram a sustentabilidade de longo prazo, apesar dos ganhos sociais imediatos.

Marcos regulatórios claros, como o Decreto 1623/2015 na Colômbia e os parâmetros técnicos do LPT — definidos em manual de operacionalização —, asseguraram maior previsibilidade. A padronização de protocolos técnicos por contexto, com potência mínima, autonomia e limites de interrupção, mostrou-se eficaz para facilitar aquisição, comissionamento e manutenção.

Modelos de gestão

Protocolos técnicos padronizados e modelos de gestão participativa, acompanhados de suporte institucional, reforçaram autonomia comunitária. O SL (Venezuela) capacitou operadores comunitários para O&M, enquanto o PERMER operou com concessões privadas reguladas por agências provinciais. O LPT estruturou gestão multiagente (MME, ANEEL, ENBPar e concessionárias).

Essas experiências demonstram que modelos de gestão híbrida — comunitária com suporte técnico regulado —, com capacitação governamental e arranjos multiagente que fortaleçam indicadores verificáveis de participação e operação, aumentam a confiabilidade e a apropriação local.

Estrutura econômica e financiamento

Fontes estáveis de financiamento foram determinantes: a CDE no Brasil, o FERUM no Equador, o FISE no Peru e o *Energy Emergency and Stabilisation Fund* no Chile asseguraram sustentabilidade financeira de longo prazo, enquanto programas baseados em recursos financeiros de fundos exclusivos da renda petrolífera (SL na Venezuela) ou subsídios instáveis demonstraram maior vulnerabilidade. Ademais, instrumentos de subsídio tarifário (Tarifa Social no Brasil, FOES na Colômbia) garantiram acessibilidade às famílias de baixa renda.

O uso de fundos dedicados e estáveis, com regras claras de elegibilidade e desembolso por desempenho (CAPEX e O&M), é essencial. Portanto, as estruturas financeiras recomendadas incluem orçamento público, fundos setoriais, cooperação internacional, instrumentos de *de-risking*⁷ e modelos de garantia de pagamento ou isenção da tarifa de energia elétrica conforme a renda das famílias beneficiárias.

Estratégias tecnológicas

A padronização de modelos tecnológicos por contexto socioespacial aumentou a eficiência e equidade: o LPT brasileiro definiu parâmetros mínimos (80 kWh/mês por UC em SIGFI e até 100 kWp em MIGDI); o PNER peruano estabeleceu potência mínima em SFV e priorizou minirredes renováveis em povoados médios; o SL venezuelano aplicou soluções diferenciadas por fase (SFV individuais, SFV comunitários, híbridos), mas sem padronização nacional, o que dificultou manutenção.

Ficou evidente que é fundamental adotar especificações de referência por território, assegurando homogeneidade na operação e no desempenho. Contudo, gargalos persistem, como baixa confiabilidade *off-grid*, custo elevado de minirredes e fragmentação de dados, demandando cadastros georreferenciados e auditorias independentes.

Benefícios socioeconômicos

Enquanto o LPT (Brasil) priorizou principalmente o acesso à energia elétrica domiciliar, o SL (Venezuela) e o PERMER (Argentina) enfatizaram a infraestrutura comunitária, como escolas, unidades de saúde e sistemas de bombeamento d'água.

A suficiência energética mostrou-se essencial para viabilizar transformação socioeconômica, sendo que os indicadores multiníveis (MTF/ESMAP) confirmam que o Nível 3 representa o patamar mínimo necessário para assegurar usos produtivos, segurança alimentar e serviços comunitários.

⁷ Instrumentos de *de-risking* são mecanismos financeiros e institucionais criados para reduzir riscos percebidos ou reais em projetos de investimento, especialmente em setores como energia renovável, infraestrutura e universalização do acesso à eletricidade, criados com o objetivo atrair capital privado para contextos em que o risco é considerado muito alto (por exemplo, projetos em regiões remotas, com baixa densidade populacional ou incertezas regulatórias), cobrindo inadimplência do tomador, falhas técnicas ou de execução e riscos de expropriação, guerra, mudanças legais abruptas e mitigando insegurança jurídica e regulatória. São exemplos: (i) o Banco Mundial/ESMAP com garantias parciais de risco para projetos solares *off-grid* em países africanos; (ii) o BID com fundos de primeira perda em minirredes na América Latina; e (iii) o Brasil com a CDE atuando indiretamente como *de-risking* ao cobrir custos não recuperáveis da universalização.

Além disso, a integração da eletrificação com políticas de saúde, educação, água e agricultura, aliada a instrumentos voltados para usos produtivos de maior impacto em renda, como bombeamento, refrigeração e cadeia do frio, amplia os efeitos positivos do acesso.

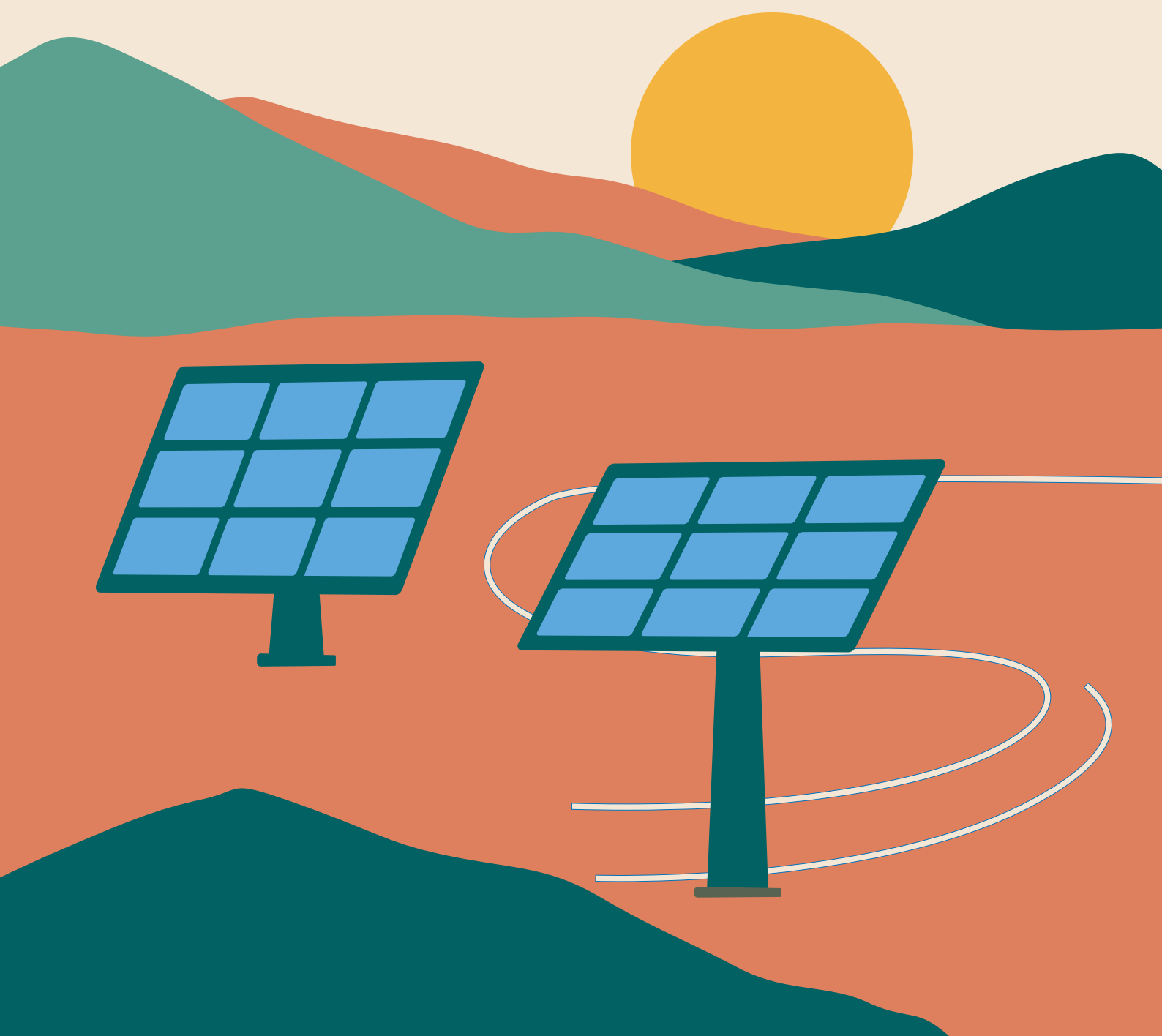
Nesse sentido, a eficiência energética e programas educativos, como o *Programa con Buena Energía no Chile*, reforçam que a universalização da eletricidade deve estar articulada ao desenvolvimento territorial sustentável.

Tabela 18. Sistematização das dimensões analisadas.

| Dimensão | Indicadores | Governança | Financiamento | Tecnologias | Benefícios |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|
| Cobertura rural | REI, MTF (Nível/TIER 3 mínimo); cobertura territorial; % de UC atendidas. | Coordenação ministerial; execução descentralizada (concessionárias, comunidades). | Fundos setoriais, orçamento público, cooperação internacional. | SFV, minirredes híbridas, SFV comunitário; integração rede + <i>off-grid</i> . | Expansão da cobertura elétrica em áreas rurais dispersas. |
| Estratégias de decisão | Critérios sociais vs. rentabilidade; inclusão de populações isoladas. | Processos privados (PERMER) vs. públicos (LPT, PNER). | Decisão pública garante subsídios sociais; privada depende de PPPs. | Escolha tecnológica regulada por concessionárias (PERMER) vs. normas públicas (LPT). | Redução das desigualdades de acesso; inclusão de populações vulneráveis. |
| Soberania energética | Participação de mercado renovável; fortalecimento da autonomia local. | Chile: mercado renovável; LPT/SL: estatal; PNER: fundos multiagentes. | Mercado nacional (Chile); fundos estatais (SL, LPT, PNER). | DER nacionais; tecnologias locais; incentivo à indústria. | Fortalecimento da soberania local e/ou do mercado renovável. |
| Marcos legais e institucionais | Existência de decretos e normas, parâmetros (SIGFI/MIGDI). | Modelos multiagente (Colômbia); centralizado (SL); híbrido (Brasil). | FAER, FAZNI, FOES (Colômbia); FERUM (Equador); CDE (Brasil). | Protocolos técnicos (SIGFI/MIGDI); normas regulatórias. | Maior sustentabilidade de longo prazo; previsibilidade regulatória. |
| Modelos de gestão | Protocolos técnicos; indicadores de participação comunitária; O&M realizado localmente. | Gestão comunitária (SL), concessões privadas (PERMER), multiagente (LPT). | Modelos híbridos: subsídios públicos + apoio comunitário. | Gestão comunitária com capacitação; concessões privadas; gestão pública descentralizada. | Autonomia comunitária; maior confiabilidade e apropriação local. |
| Estrutura econômica e financiamento | Fontes estáveis (CDE, FAER, FERUM, FISE); subsídios tarifários (FOES, Tarifa Social). | Fundos setoriais; agências reguladoras; auditorias externas. | Fontes estáveis: CDE, FERUM, FISE; subsídios a O&M e tarifas sociais. | Sistemas FV individuais, híbridos; integração com armazenamento; soluções coletivas. | Continuidade das ações; acessibilidade para famílias de baixa renda. |
| Estratégias tecnológicas | Padronização tecnológica; potência mínima por UC; tipologia de sistemas (SFV, minirredes, híbridos). | Planejamento central; execução local; regulação técnica nacional. | Capex público, cooperação internacional, apoio de PPPs. | Padronização tecnológica por contexto socioespacial; requisitos mínimos de potência. | Equidade territorial no atendimento; eficiência na expansão. |
| Benefícios socioeconômicos | Indicadores NÍVEL/TIER; acesso a saúde, educação, usos produtivos; infraestrutura comunitária atendida. | Integração intersetorial: saúde, educação, agricultura, água. | Subsídios sociais, fundos intersetoriais, cooperação internacional. | FV domiciliar; soluções para escolas, saúde e bombeamento; eficiência energética doméstica. | Transformação socioeconômica; segurança alimentar; serviços coletivos garantidos. |

4

REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA



4.1 ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

Para a revisão da literatura apresentada neste capítulo, utilizou-se a plataforma Web of Science a fim de se coletar referências de trabalhos realizados em torno da temática de acesso à energia elétrica por meio de projetos de pilotagem ou de estudos de caso, limitados geograficamente pela Pan-Amazônia.

A plataforma *Web of Science* (WOS 2020) reúne artigos de periódicos científicos, livros e relatórios de trabalho em uma base de dados com publicações originadas em diversos países em distintas áreas do conhecimento. A ferramenta proporciona identificar as publicações indexadas mais relevantes de uma área do conhecimento e as tendências científicas atuais.

A seleção das palavras-chave respeitou os critérios mencionados. A **Tabela 19** apresenta a seleção da combinação das palavras-chave utilizada na pesquisa e o número de registros de artigos.

O tratamento das informações dos registros selecionados seguiu de forma a identificar registros duplicados e com informações ausentes, como título, resumo e número DOI. Foram identificados 103 registros duplicados e 28 com informações ausentes. Após filtrar os valores selecionados, restaram 140 registros.

A fase final da triagem objetivou identificar títulos e resumo dos artigos que estivessem aderência ao tema. A identificação de aderência seguiu a escala de classificação que pontua com 0 os registros com pouca

Tabela 19. Consolidação das palavras-chave e registros encontrados.

| Palavras-chave | Resultados |
|--|------------|
| energy access OR electricity access OR renewable energy AND off-grid OR stand-alone system OR remote energy system AND case stud* OR pilot project* AND Amazon | 10 |
| power system OR isolated system OR energy system AND remote communit* OR isolat* area OR isolat* communit* AND case stud* OR pilot project* OR field experiment* OR demonstration project OR real-world application OR implementation OR practical experienc* OR decentralized energy project AND Amazon | 68 |
| energy access OR electricity access OR renewable energy AND case stud* OR pilot project* OR field experiment* OR demonstration project OR real-world application OR implementation OR practical experienc* OR decentralized energy project AND remote communit* OR isolated area OR rural communit* OR isolat* communit* AND Amazon | 37 |
| solar energy OR biomass energy OR micro hydro OR renewable energy AND off-grid OR microgrid OR isolated system AND Case stud* OR pilot project AND Amazon OR Amazon region OR Amazon rainforest | 16 |
| solar energy OR biomass energy OR micro hydro OR renewable energy OR power system OR isolated system OR energy system AND off-grid OR microgrid OR isolated system AND case stud* OR pilot project* OR field experiment* OR demonstration project OR real-world application OR implementation OR practical experienc* OR decentralized energy project AND Amazon OR Amazon region OR Amazon rainforest | 138 |
| Energy access AND Community training AND Amazon | 11 |
| Total | 280 |

ou nenhuma aderência, com 1 os registros com aderência média e com 2 os registros totalmente aderentes ao tema da pesquisa. Assim, 95 registros tiveram pouca ou nenhuma aderência, 28 tiveram aderência média e 25 registros foram classificados como totalmente aderentes. A análise da bibliografia concentrou-se apenas nos registros totalmente aderentes ao tema da pesquisa.

A análise sistemática da literatura selecionada permitiu identificar a distribuição geográfica de publicação, a distribuição temporal, a distinção de abordagens, a renovabilidade e as fontes de energia utilizadas nos estudos de caso, o número de fontes de energia utilizadas nos sistemas, o tipo de armazenamento de energia, a finalidade do uso energético e as principais conclusões e contribuições das publicações científicas ao acesso à energia elétrica na Pan-Amazônia.

Em relação à distribuição geográfica das soluções energéticas propostas, a maior parte se concentrou no Brasil. A **Figura 17**

mostra a distribuição geográfica dos projetos-piloto determinados na revisão da literatura científica.

Pouco mais de 54% das publicações foram conduzidas e testadas na porção brasileira da Amazônia: 24 das 25 publicações selecionadas continham informações geográficas, e 14 foram conduzidas no Brasil. Peru e Equador tiveram quatro publicações identificadas, seguidas de Colômbia, com três, e Bolívia, com apenas uma publicação em seu território.

Dentre 25 publicações científicas, apenas dez disponibilizaram coordenadas geográficas aproximadas dos sistemas energéticos. A maior parte dos sistemas energéticos localizados estão no Brasil: oito sistemas, distribuídos nos estados do Pará (três), Amazonas (dois), Tocantins (dois) e Roraima (um). Os outros dois sistemas estão no Equador, nos departamentos de Zamora e Orellana. A **Figura 18** revela a distribuição temporal do número de registros selecionados.

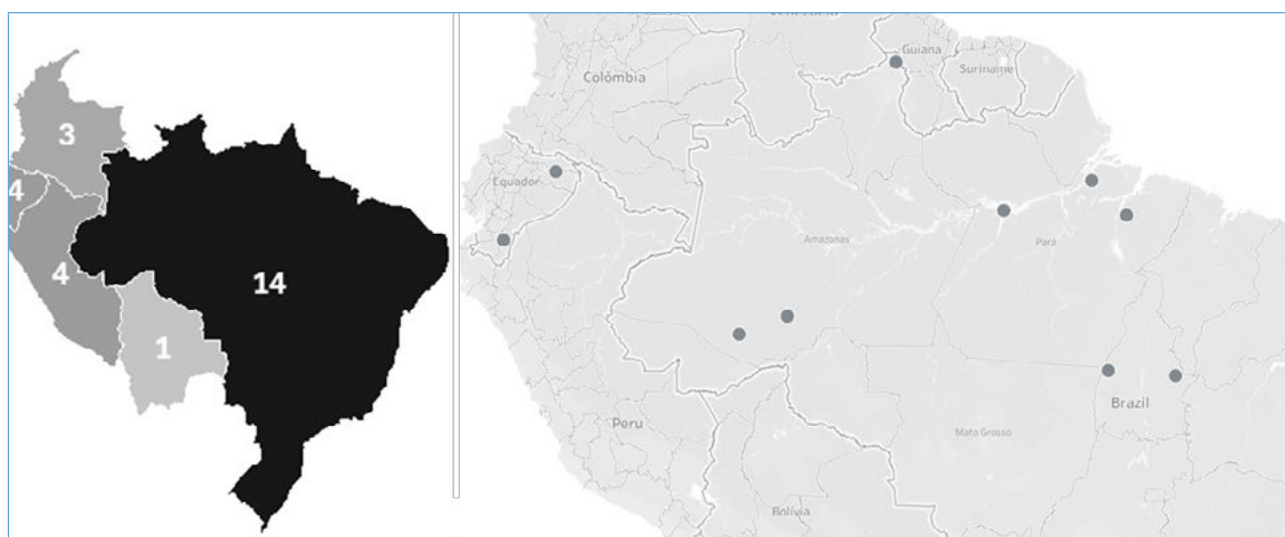


Figura 17. Distribuição geográfica dos projetos-piloto da revisão da literatura científica.

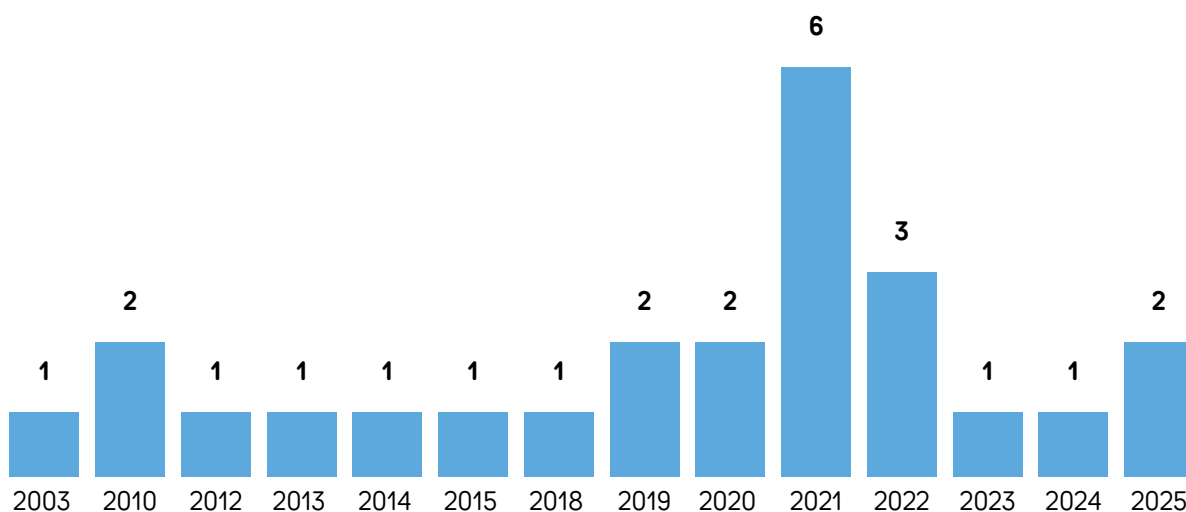


Figura 18. Número de registros por ano da publicação.

Os registros têm variação temporal de 22 anos, entre 2003 e 2025. A maior ocorrência de registros é observada no ano de 2021, com seis registros, seguido pelo ano seguinte, 2022, com três registros. Os anos de 2019, 2020 e 2025 contaram com dois registros cada, assim como o ano de 2010. Nos últimos cinco anos houve mais publicações aderentes ao tema da pesquisa do que no restante dos registros temporais, indicando uma crescente tendência ao estudo de projetos de pilotagem ou estudos de caso com energia renovável na Amazônia. A **Figura 19** revela a ocorrência das diferentes abordagens identificadas nos registros selecionados.

As publicações científicas apresentam uma tendência tecnocrata na avaliação de projetos-piloto ou de estudos de caso envolvendo soluções energéticas para acesso à energia elétrica na Pan-Amazônia. A abordagem unicamente técnica, isto é, que foca estritamente nos aspectos de funcionamento técnico dos sistemas empregados, foi a abordagem mais identificada entre os registros, aparecendo sete vezes. Em seguida, abordagens técnicas combinadas com econômicas, com cinco ocorrências, e técnicas, econômicas, ambientais e sociais (Brandão et al. 2021; Duarte et al. 2010; Espinoza; Jara-Alvear; Flores 2018; Fonseca et al. 2021), bem como as técnicas e

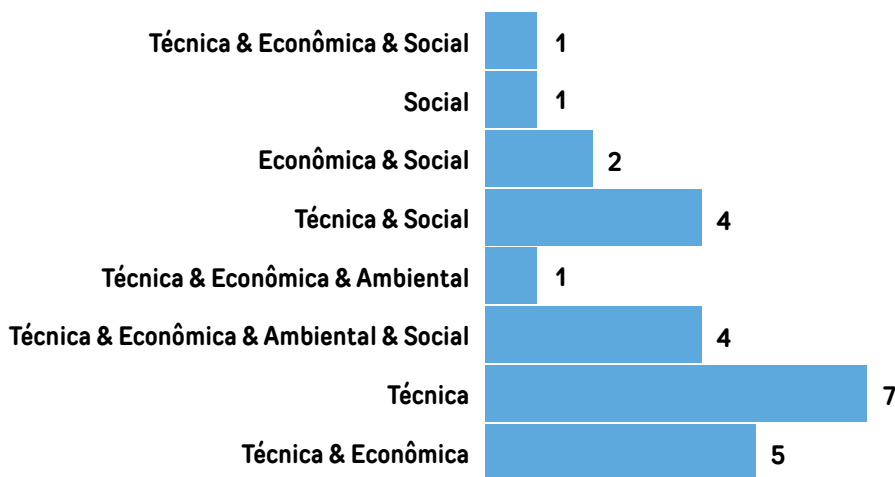


Figura 19. Abordagem de análise dos registros selecionados

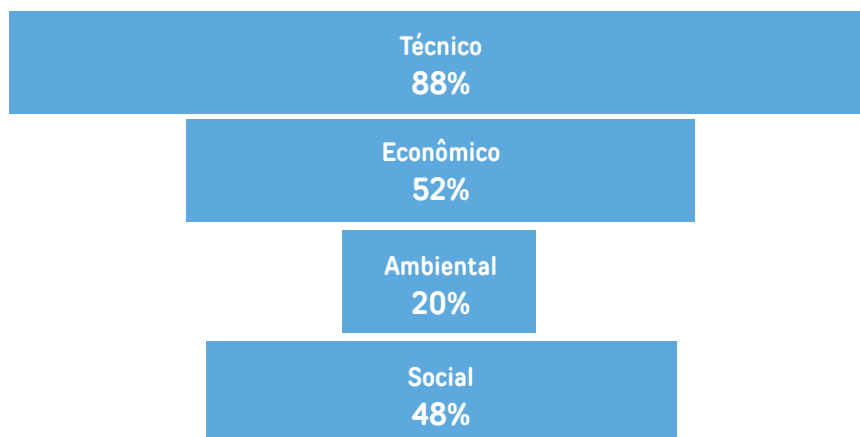


Figura 20. Consolidação da proporção de abordagem dos registros selecionados.

sociais (Del-Río-Carazo et al. 2021; Lembi et al. 2025; Lillo; Ferrer-Martí; Juanpera 2021; Mazzone 2020), ambas com quatro ocorrências, fecham a lista das três combinações que mais ocorreram entre os artigos selecionados. Além da abordagem técnica, foi possível identificar apenas um registro com foco unicamente social entre todas as abordagens avaliadas (Lillo et al. 2015). A **Figura 20** apresenta a proporção de ocorrências das abordagens

A predominância da abordagem técnica, identificada em 88% das vezes, pode ser explicada pela quase onipresença

nos registros. Apenas três publicações não tiveram um foco de avaliação do funcionamento técnico dos sistemas (Lillo et al. 2015; Mazzone 2019; Valer et al. 2014). As abordagens econômica e social se apresentaram de forma semelhante, com 52% e 48%, respectivamente. A abordagem ambiental ocorreu apenas em 20% dos registros, embora todas as publicações tratassem de sistemas energéticos de aproveitamento de fontes renováveis de energia. A **Figura 21** revela a proporção do aproveitamento das fontes de energia utilizadas nos sistemas energéticos.

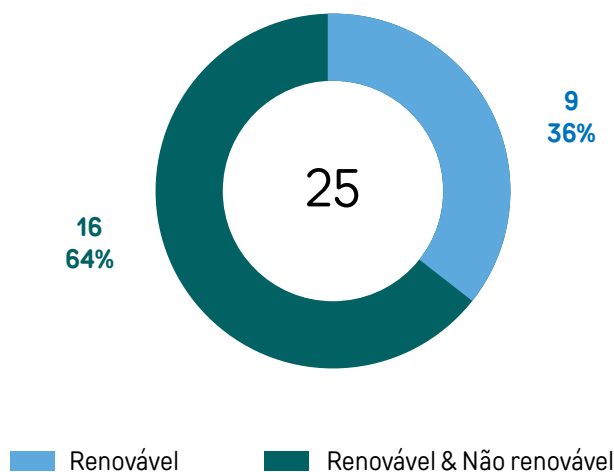


Figura 21. Distribuição dos tipos de fontes, renovável e fóssil, utilizadas nos projetos-piloto.

Todos os sistemas energéticos descritos nas publicações aproveitaram o uso de fontes renováveis de energia. Contudo, mais de 60% dos projetos-piloto ou estudos de caso utilizaram o diesel como combustível fóssil, seja de forma complementar ou como segurança em caso de falhas no sistema. A **Figura 22** detalha a ocorrência do diesel e de outras opções tecnológicas nas publicações observadas.

O diesel foi utilizado em onze das 25 soluções energéticas avaliadas, sendo a terceira fonte mais frequente. A fonte solar fotovoltaica, por sua vez, esteve presente em vinte das 25 publicações, indicando que o acesso à energia elétrica descentralizada na Pan-Amazônia pode ser facilitado pelo aproveitamento da fonte solar de energia, devido ao isolamento que o e bioma impõe a determinadas comunidades e à aptidão de aproveitamento do recurso solar na região amazônica.

Em conformidade com o aproveitamento solar está o uso de tecnologias de armazenamento de energia, que se provou ser fundamental em sistemas autônomos para vinte das 25 soluções energéticas investigadas.

Em menor proporção estão o uso da fonte hidráulica (Clairand et al. 2022; Guignard et al. 2022; Lembi et al. 2025; Lillo et al. 2015; da Luz; Vila; Ferreira 2023), biomassa (Brandão et al. 2021; Duarte et al. 2010; Fonseca et al. 2021; Pinheiro et al. 2012), eólica (Clairand et al. 2022; Lillo et al. 2015; da Luz et al. 2023), hidrogênio (Fonseca et al. 2021; Rezk et al. 2020; Silva; Severino; de Oliveira 2013) e biocombustível (Rodrigues et al. 2021), variando entre uma e cinco ocorrências.

Além das fontes de energia e de suas tecnologias de aproveitamento, foi possível identificar a tecnologia de armazenamento de energia empregada nos sistemas energéticos. A **Figura 23** revela a distribuição das tecnologias de armazenamento de energia.

O uso das baterias de chumbo-ácido foi mais frequente entre as tecnologias identificadas. Oito sistemas energéticos optaram por utilizar chumbo-ácido para armazenar energia em publicações do ano de 2003 até o ano de 2025, enquanto não foi possível identificar a tecnologia em sete ocasiões.

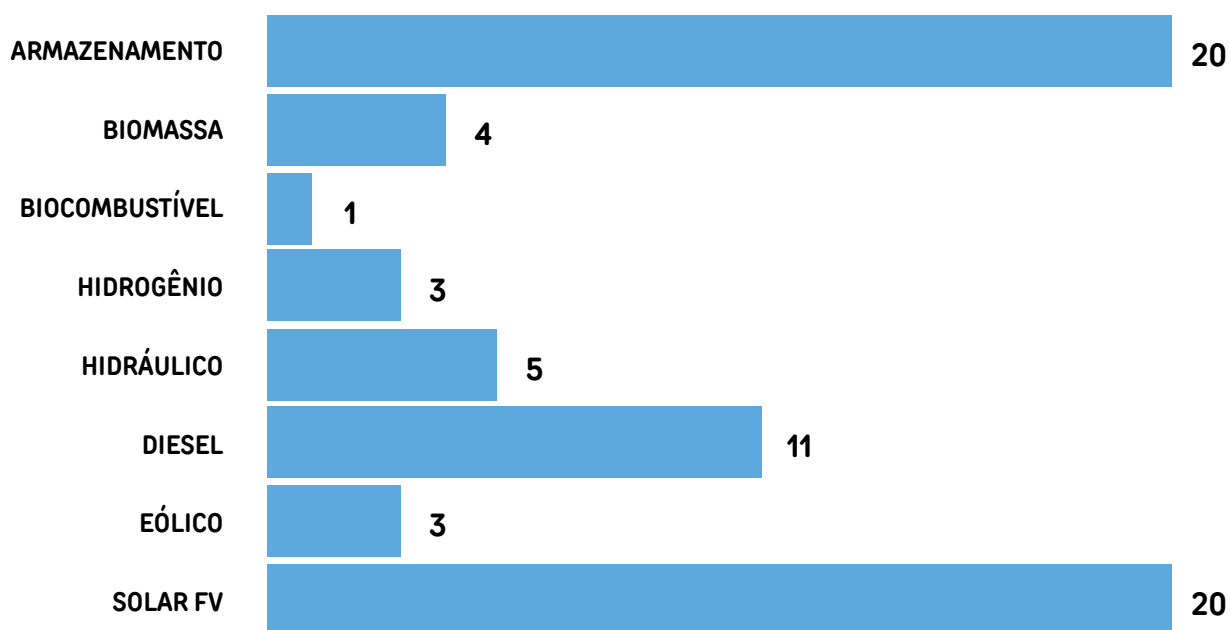


Figura 22. Ocorrências por tipo de solução tecnologia no projetos-piloto selecionados.

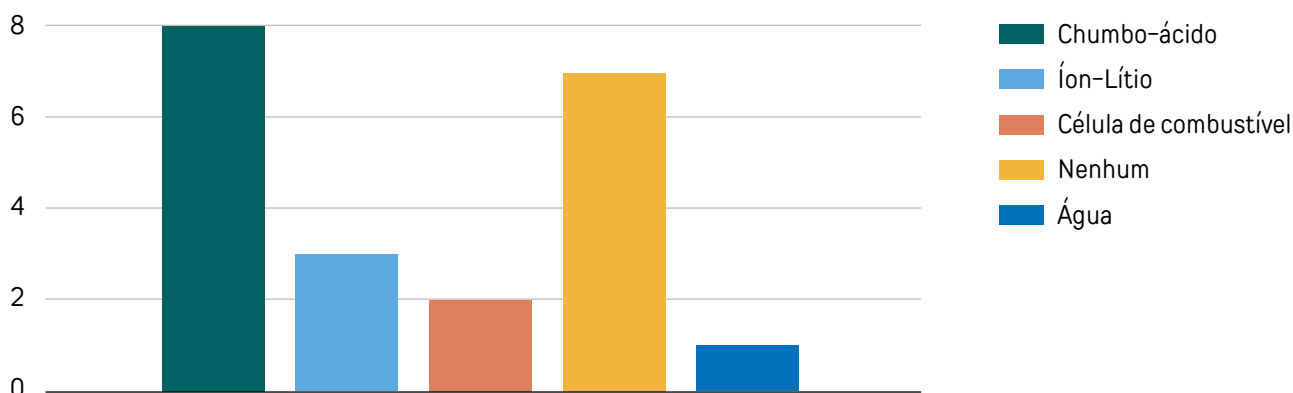


Figura 23. Ocorrências de tipos de tecnologia de armazenamento nos projetos-piloto.

As baterias de íon-lítio foram identificadas em três oportunidades em trabalhos publicados a partir de 2022 (Domenech et al. 2022; da Luz et al. 2023; Rodriguez; Arcos-Aviles; Guinjoan 2024). O armazenamento utilizando fuel cells, que se trata de conversão eletroquímica utilizadas em projetos de aproveitamento energético do hidrogênio, ocorreu em duas publicações (Fonseca et al. 2021; Rezk et al. 2020).

Por fim, uma publicação explorou o uso de armazenamento de água em um reservatório a fim de utilizá-la para movimentar uma turbina e, assim, gerar eletricidade quando

o sistema fotovoltaico não é capaz de converter energia solar em elétrica (Guignard et al. 2022).

A combinação de diferentes tecnologias para aproveitamento das fontes de energia foi observada nos sistemas energéticos avaliados, conforme detalha a **Figura 24**.

A combinação de fontes e tecnologias de aproveitamento de energia se mostrou comum entre as publicações científicas. Apenas dois registros avaliaram sistemas energéticos com apenas uma fonte: biomassa (Rodrigues et al. 2021) e biocombustível (Pinheiro et al. 2012).

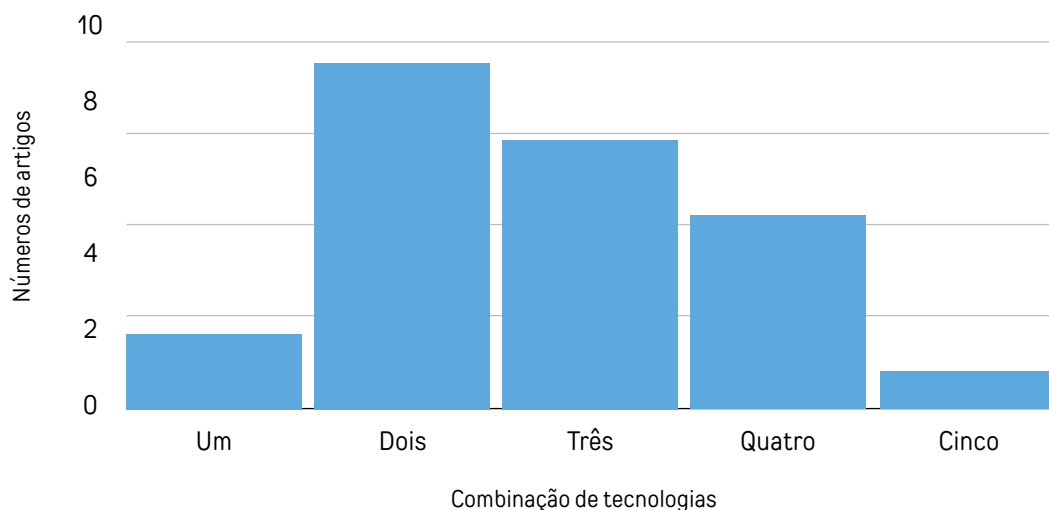


Figura 24. Ocorrência de combinações tecnológicas nos projetos-piloto.

Observou-se a combinação de duas tecnologias na maioria das publicações, com nove ocorrências, seguido de perto pela combinação de três, com sete ocorrências, e quatro, com cinco ocorrências. A combinação de cinco tecnologias em um sistema energético aconteceu uma vez, que considerou um sistema energético que aproveitasse energia solar, hídrica, eólica, do diesel e utilizasse sistema de armazenamento com baterias de íon-lítio (da Luz et al. 2023). Ademais, a combinação do aproveitamento energético exige projetar um sistema de distribuição da eletricidade gerada. A **Figura 25** apresenta a ocorrência das tipologias elétricas encontradas nos registros analisados.

A maior parte dos projetos-piloto ou estudos de caso de acesso à energia elétrica conduzidos na Pan-Amazônia

utilizaram um sistema de distribuição em microrredes. 67% das publicações desenvolveram sistemas que utilizavam as microrredes para a utilização da carga.

Apenas 29%, ou sete publicações, dispuseram de sistemas *off-grid* autônomos, isto é, sistemas que geram eletricidade para satisfazer a unidade consumidora diretamente. Houve apenas uma publicação que comparou impactos do acesso a eletricidade por meio de sistemas *off-grid* e *on-grid*, o que explica a presença do registro *on-grid* na contabilização dos resultados bibliométricos (Valer et al. 2014). Grande parte dos sistemas energéticos foram projetados para fornecer eletrificação às comunidades ou residências onde eles foram inseridos, conforme demonstra a **Figura 26**.

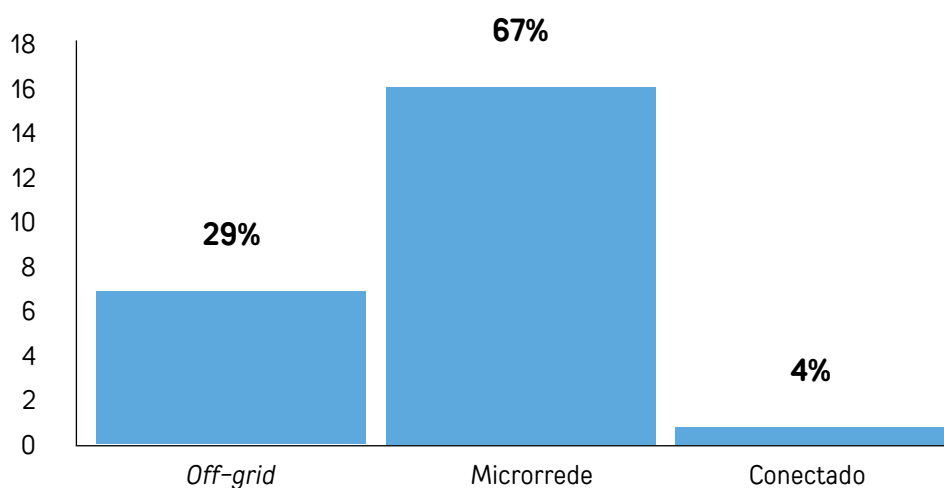


Figura 25. Ocorrências dos tipos de topologias das soluções de atendimento dos projetos-piloto.

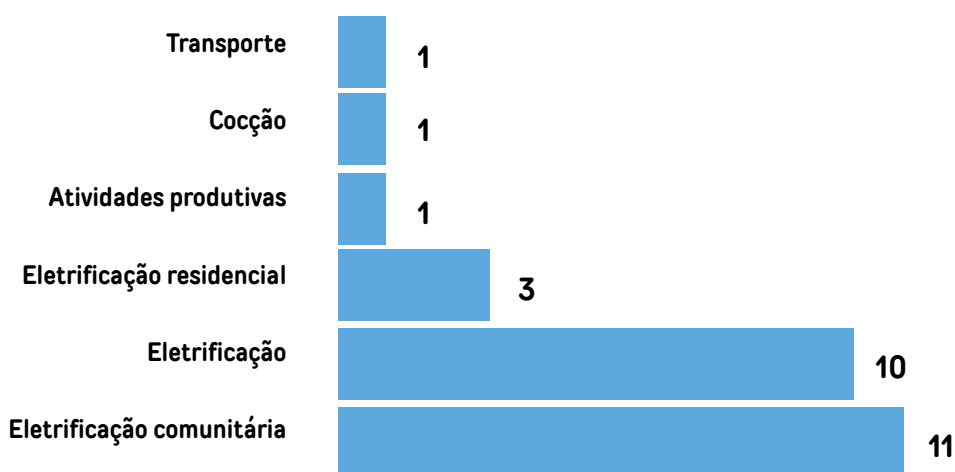


Figura 26. Tipos de unidades consumidoras atendidas pelo projetos-piloto.

A finalidade dos sistemas mais identificada foi a de eletrificação comunitária e eletrificação em geral (sem especificar a unidade consumidora). Onze publicações tiveram a eletrificação comunitária a principal finalidade do sistema energético, que foi seguida pela eletrificação em sentido e uso geral, com dez ocorrências, e pela eletrificação das residenciais, com apenas três registros. Observou-se que os sistemas energéticos também atenderam a finalidades de transporte, cocção e atividades produtivas. Em duas ocasiões os sistemas energéticos atendiam a mais de uma finalidade, o que explica a soma das ocorrências das finalidades é maior que o número de publicações selecionadas.

4.2 ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA: RESULTADOS DA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

A revisão sistemática da literatura mostrou que 88%, ou seja, 22 de 25 publicações aderentes ao tema deste estudo tinham foco em revelar o funcionamento técnico das soluções energéticas propostas. E sete delas tinha este como o único objetivo. A massiva presença da abordagem técnica em publicações científicas sobre projetos de pilotagem ou estudos de caso acerca do acesso à energia elétrica na Pan-Amazônia pode retratar uma tendência ao olhar utilitarista da situação de vulnerabilidade energética das comunidades.

Lillo et al. (2015), que avaliou modelos de gestão de sistemas *off-grid* implementados em comunidades isoladas no Peru, já havia alertado sobre as limitações do impacto das soluções energéticas na vida dos comunitários quando projetos puramente tecnocratas eram desenvolvidos fora do contexto comunitário sem considerar as demandas, necessidades, cultura, barreiras e os costumes das comunidades. Além disso, o autor alertou sobre a falta de envolvimento comunitário nas fases cruciais de desenvolvimento do projeto. Para Pena et al. (2025), não envolver aqueles que recebem a solução energética impede a transferência tecnológica e de conhecimento para ambos os atores dessa relação, além de comprometer a sustentabilidade da iniciativa.

A constatação de limitação de transferência de conhecimento e tecnologia pode ser percebida ao

contabilizar os projetos que envolveram a comunidade na implementação das soluções de forma a fornecer treinamentos e capacitações comunitárias. Dos 25 projetos selecionados, apenas sete incluíram ou citaram envolvimento comunitário de forma a permitir transferência tecnológica e de conhecimento. Dos sete, apenas uma publicação relatou o número de comunitários envolvidos na transferência tecnológica e de conhecimento e fez a distinção de gênero dos envolvidos. Das seis publicações restantes, uma aproveitou a mão de obra da comunidade sem promover treinamento ou capacitação, enquanto as outras cinco publicações relataram treinamento ou capacitação sem contabilização dos envolvidos.

Lembi et al. (2025)⁸ projetou soluções energéticas *off-grid* de aproveitamento solar e hidráulico na Amazônia brasileira com coparticipação das comunidades atendidas. Cerca de 70 comunitários foram envolvidos em todas as fases de implementação dos projetos, dentre os quais três eram mulheres. Segundo o autor, a participação comunitária no desenvolvimento integral da iniciativa é uma ação necessária para tornar a comunidade autossuficiente em relação à solução energética e garantir sustentabilidade dos projetos. O autor relata, também, que o planejamento da tecnologia de aproveitamento da energia hidráulica ocorreu em pontos do rio indicados pela comunidade a partir do conhecimento tradicional. Apesar dos desafios de gerir o processo de engajamento comunitário, foi possível estimular a transferência tecnológica e de conhecimento para se alcançar ganhos em ambos os lados do processo.

Ressalta-se que das sete publicações que relataram algum grau de envolvimento comunitário, cinco eram exclusivamente renováveis, nenhuma tinha abordagem estritamente técnica e três propuseram distribuição da energia com microrredes.

Obviamente, o número restrito de projetos aderentes encontrados e os filtros combinados não permitem realizar qualquer conclusão. No entanto, é sabido que transferência tecnológica e de conhecimento confere noção de propriedade dos sistemas a quem os recebe (Fressoli et al. 2013), e que sistemas comunitários aumentam ainda mais a noção de apropriação tecnológica. Ora, se os treinamentos

⁸ Os autores desta publicação científica são da Michigan State University (MSU) e relatam o mesmo projeto-piloto presente na avaliação de soluções energéticas desenvolvidas por organizações com apoio da Fundação Mott. Portanto, no presente estudo, este projeto aparece tanto na revisão da literatura científica, quanto na avaliação quantitativa e qualitativa de projetos-piloto incentivados pela Fundação Mott.

e o envolvimento comunitário são mais frequentes em sistemas comunitários, a difusão da escolha comunitária parece coerente, uma vez que sistemas comunitários aumentam o grau de confiabilidade e envolvimento da comunidade na gestão do sistema.

Grande parte das publicações revelaram uso de microrredes para a distribuição da energia gerada na comunidade pelas soluções energéticas de estudo de caso. Cerca de 67% das publicações relataram a adoção de microrredes. As razões para isso podem conter uma tendência de otimização dessa distribuição, uma vez que a geração da energia elétrica é centralizada em um ponto da comunidade e a sua distribuição é facilitada por meio de infraestrutura simples. Metade das publicações que mencionaram o sistema de distribuição em microrredes tiveram como finalidade a eletrificação comunitária. Isso reforça a hipótese pela preferência ao uso de microrredes em sistemas remotos.

Rodriguez et al. (2024) propôs um modelo de gestão de energia para otimizar o gerenciamento de microrredes em comunidades isoladas da Amazônia equatoriana. Os resultados mostraram redução anual de 2,4% de energia desperdiçada e de 1,5% de consumo de energia fóssil. Para o autor, sistemas de distribuição interconectados em comunidades isoladas tem funcionamento melhorado em relação àqueles isolados, e, ainda, que microrredes interconectadas são melhores do que microrredes separadas.

Dos dezesseis estudos que incluíram o uso de microrredes para as soluções energéticas em localidades isoladas da Amazônia, doze combinam três ou mais tecnologias de geração e armazenamento de energia, apenas três publicações estudam a combinação de duas tecnologias e nenhuma cita uma única opção tecnológica. Isso reforça a característica de se expandir usos tecnológicos para aproveitar o potencial das fontes de energia em localidades isoladas na Amazônia.

Os benefícios do uso da microrredes em sistemas isolados na Amazônia são destacados por Da Luz et al. (2023) ao considerar a possibilidade de combinar múltiplas tecnologias de geração de energia elétrica para prover confiabilidade e eficiência ao sistema em comparação com sistemas individuais. O estudo testou a combinação

de cinco tecnologias de aproveitamento energético para geração de eletricidade, concluindo que o uso de sistema híbrido com gerador a diesel, sistema fotovoltaico e bateria é a melhor configuração quando não se pode aproveitar recursos hídricos. Para o autor que conduziu um estudo sobre diferentes abordagens de projeto de microrredes na Amazônia, esses sistemas simplificados de distribuição de energia em localidades isoladas são aderentes aos desafios da eletrificação rural.

Pena et al. (2025) projetou sistema fotovoltaico para atender demandas produtivas do beneficiamento do açaí em comunidades ribeirinhas da Amazônia brasileira. O sistema foi capaz de lidar com variações diárias de demanda das atividades da cadeia do açaí e de outras atividades econômicas, além de atender demandas domésticas de energia elétrica. Ainda, o uso de microrredes pode permitir o aumento de capacidade dos sistemas caso haja variação e potencial aumento de demanda de energia elétrica no futuro, sendo incluídas, em alguns casos, atividades econômicas para desenvolvimento socioeconômico das comunidades, desde que os sistemas sejam projetados considerando as necessidades dos consumidores (Mazzone 2020).

Em relação ao crescimento da demanda futura, Mazzone (2019) alerta que o crescimento demográfico, migração e aumento de atividades de geração de renda podem causar pressão nos sistemas energéticos e que o aumento da demanda pode ser mais bem adaptado em comunidades que ainda mantém a utilização de combustível fóssil, apesar de a autora ressaltar os ganhos de se aproveitar energia renovável para geração de eletricidade.

Como apontado anteriormente, a sustentabilidade do sistema é alcançada com maior participação da comunidade em todas as etapas da implementação da solução energética. Além disso, o aumento de atividade de geração de renda pode ser impulsionado pelo acesso à energia elétrica. Contudo, para Duarte et al. (2010), que avaliou cenários de adição de diferentes quantidades de óleos vegetais ao combustível utilizado para gerar energia elétrica em uma comunidade na Amazônia brasileira, é preciso, mais do que engajar, criar modalidades de ocupação na comunidade. A proposta do autor foi estimular o uso de óleo de palmeira como energia primária para reduzir consumo de diesel na geração

de energia elétrica, atividade que exigiu cultivo e criou empregos para a comunidade. Para o autor, o acesso à energia elétrica só impulsiona de fato o desenvolvimento econômico comunitário quando a fonte de energia depende do trabalho comunitário

No entanto, é preciso refletir sobre este estímulo, já que a fonte primária de energia a ser utilizada pelos sistemas vai depender da disponibilidade de recurso em cada região. O uso do óleo da palmeira, por exemplo, não substituiu o uso e dependência do diesel na comunidade avaliada por Duarte et al. Por outro lado, a substituição de combustível fóssil foi observada apenas quando projetou a implementação de tecnologias de armazenamento de energia, como foi o caso do estudo publicado por Viteri et al. (2019), que mostrou que o melhor cenário de combinação tecnológica para aproveitamento energético era o uso de sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia em comunidades da Amazônia colombiana, evitando completamente, assim, o uso de combustível fóssil.

Os principais impactos ambientais, sociais e econômicos encontrados na revisão da literatura estão listados na **Tabela 20**.

A maior parte dos impactos sociais estão relacionados ao acesso à energia elétrica, que, obviamente, está presente em todas as publicações. Contudo, transferência de tecnologia e conhecimento e aumento de uso de eletrodomésticos (Lembi et al. 2025), criação de postos de trabalho, permanentes e temporários (Brandão et al. 2021), iluminação comunitária e extensão de horário de funcionamento escolar (Valer et al. 2014), aumento de empregabilidade com agricultura e em processos produtivos na comunidade (Duarte et al. 2010), consumo de eletricidade acima de padrões mínimos internacionais (Mazzone 2020), aumento de tempo para atividades educativas (Del-Río-Carazo et al. 2021) e melhoria na condição de vida da comunidade (Lillo et al. 2015) também foram observados.

Quanto aos principais impactos econômicos e ambientais observados, a redução do consumo de diesel e outros combustíveis fósseis foi a principal razão para estimá-los, e se destacou na maior parte das publicações. Brandão et al. (2021), que projetou o uso de biomassa como fonte de energia para uma futura planta de sistema isolado na Amazônia brasileira, estimou uma redução anual de mais de 200 mil dólares em comparação com o cenário de utilização do combustível fóssil, o que, por consequência, evitaria consumo de água e emissão de 131 kg CO₂ e de material particulado. Fonseca et al. (2021) detalhou um estudo de caso de uma solução energética com diferentes fontes renováveis e estimou redução de consumo de água e o sequestro de 854 toneladas de CO₂ por ano, além da redução do consumo de combustível fóssil.

Outra publicação que estimou o ganho econômico de forma quantitativa foi realizada por Del-Río-Carazo et al. (2021), calculando economia de mais de 50 mil euros por ano devido a uma iniciativa de eletrificação de 51 comunidades no Peru. Pena et al. (2025), por sua vez, relatou ganhos de melhoria de rendimento e beneficiamento do açaí com a chegada de eletricidade para fins produtivos na comunidade.

Por fim, convém destacar o que não foi possível observar na revisão da literatura a diferenciação de gênero no impacto percebido nas soluções energéticas. Apenas uma publicação contabilizou tal diferenciação. Além disso, pouco se relatou sobre as fontes de financiamento e sustentabilidade econômica dos projetos-piloto, havendo apenas considerações sobre o impacto do envolvimento comunitário e treinamento de beneficiários na sustentabilidade dos projetos. A operação e manutenção foi abordada apenas em simulações de custos dos projetos, não sendo aprofundada a forma de operação dos sistemas, com exceção de publicações que relataram capacitação e treinamento. A inclusão desses tópicos nas investigações de artigos científicos atenuaria a percepção tecnocrata dos trabalhos científicos publicados em revistas internacionais.

Tabela 20. Sistematização dos impactos ambientais, sociais e econômicos da revisão da literatura.

| Referência | País | Fontes e tecnologias | Impacto positivo | | |
|------------------------------|----------|--|---|--|--|
| | | | Econômico | Ambiental | Social |
| Lembi et al. (2025) | Brasil | Solar, diesel, hidráulica, armazenamento | - | Redução do consumo de combustíveis fósseis | Acesso à energia, transferência de tecnologia, transferência de conhecimento, uso de eletrodomésticos |
| Brandão et al. (2021) | | Diesel, biomassa | Economia anual nos custos operacionais de US\$ 261.663 | 131,56 kg de CO ₂ evitados, redução de emissões particuladas e economia de 43.500 L/ano de diesel | Criação de 8 empregos permanentes e 22 temporários |
| Valer et al. (2014) | | Solar, armazenamento | Redução dos gastos com iluminação, aumento de horas produtivas (ex.: pesca noturna), melhoria das atividades produtivas | Redução do consumo de diesel | Acesso a eletrodomésticos, iluminação e educação noturna |
| Duarte et al. (2010) | | Diesel, biomassa | Economia gerada pela redução do uso de diesel | Redução do uso de combustíveis fósseis e das emissões de CO ₂ | Aumento do emprego para 6,5% da comunidade na agricultura e produção |
| da Luz et al. (2023) | | Solar, eólica, diesel, hidráulica, armazenamento | Economia decorrente da redução do uso de diesel | Redução do uso de combustíveis fósseis e das emissões de CO ₂ | Acesso à eletricidade |
| Mazzone (2019) | | Solar, diesel, armazenamento | Redução das despesas mensais | - | Energia suficiente para atender ao consumo mínimo anual estabelecido pela AIE |
| Pena et al. (2025) | | Solar, armazenamento | Melhoria da cadeia produtiva do açaí | - | Aquisição de conhecimento por meio do envolvimento na construção do sistema |
| Fonseca et al. (2021) | Colômbia | Solar, hidrogênio (H), biomassa, armazenamento | Redução anual de custos | 854 kg de CO ₂ /ano sequestrados, redução de emissões de CO ₂ e do uso de água | - |
| Del-Río-Carazo et al. (2021) | Peru | Solar, armazenamento | Economia anual de € 53.365 | - | Acesso à eletricidade, aumento do tempo de estudo e transferência de conhecimento por meio de capacitações |
| Lillo et al. (2015) | | Solar, eólica, hidráulica, armazenamento | - | - | Melhoria das condições de vida da comunidade |

5

*AVALIAÇÃO QUANTITATIVA
E QUALITATIVA DE
PROJETOS-PILOTO
IMPLEMENTADOS
NA PAN-AMAZÔNIA*



Os projetos-piloto avaliados neste capítulo correspondem exclusivamente às iniciativas financiadas pela Fundação Charles Stewart Mott entre 2016 e 2025, no âmbito de sua atuação voltada à ampliação do acesso à energia elétrica em territórios amazônicos remotos. Esse recorte foi adotado para possibilitar o aprendizado a partir de projetos-piloto financiados por filantropia, reconhecendo-se que não abrange o conjunto total de iniciativas filantrópicas no setor. Os projetos analisados constituem uma base empírica consistente, composta por centenas de intervenções implementadas em diferentes países da Pan-Amazônia, contemplando diversidade de contextos socioterritoriais, arranjos tecnológicos, modelos de governança e escalas de atendimento. A seleção fundamenta-se na disponibilidade de dados sistematizados e no acompanhamento longitudinal das iniciativas, permitindo avaliar, de forma integrada, impactos técnicos, econômicos, sociais, ambientais e institucionais. A avaliação quantitativa e qualitativa apresentada busca, assim, extrair lições aprendidas, identificar padrões recorrentes e subsidiar recomendações voltadas à melhoria, à escalabilidade e à replicabilidade de políticas públicas de eletrificação sustentável para comunidades tradicionais e isoladas da Amazônia.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS-PILOTO

Os projetos analisados foram implementados em seis países da Pan-Amazônia, abrangendo 223 comunidades e aproximadamente 90 residências. Foram identificadas sete organizações apoiadas por recursos da Fundação Mott — Projeto Saúde e Alegria (PSA), Kara Solar, WWF, ISA, *Michigan State University* (MSU), *Derecho, Ambiente y Recursos Naturales* (DAR) e *Amazon Conservation Team* (ACT) — que atuaram com diferentes arranjos de governança, escalas de intervenção e objetivos.

A maioria das iniciativas utilizou energia solar fotovoltaica como fonte principal, em alguns casos combinada com sistemas de armazenamento em baterias. Projetos específicos introduziram soluções tecnológicas diferenciadas, como o uso de turbinas hidrocinéticas em transporte fluvial e experiências de geração eólica em pequena escala.

A finalidade das intervenções variou entre o atendimento domiciliar básico, a eletrificação de infraestrutura comunitária (escolas, postos de saúde e centros comunitários) e o apoio a atividades produtivas (refrigeração,

bombeamento de água e processamento agroextrativista). Essa diversidade reflete tanto a heterogeneidade socioterritorial das comunidades beneficiadas quanto a busca por soluções ajustadas às especificidades ambientais e culturais da região amazônica.

5.1.1 Dados prévios dos projetos-piloto

As informações prévias disponibilizadas pelas organizações parceiras foram essenciais para orientar a elaboração dos questionários. Os dados vieram em formatos diversos (planilhas, tabelas em PDF e e-mails) e abrangeram intervenções do Projeto Saúde & Alegria (PSA), Kara Solar, *Michigan State University* (MSU), *Derecho, Ambiente y Recursos Naturales* (DAR) e *World Wild Fund* (WWF). Embora apenas o PSA seja brasileiro, organizações como WWF e Kara Solar atuaram em múltiplos países amazônicos.

Os projetos utilizaram majoritariamente sistemas fotovoltaicos, implantados em comunidades indígenas, ribeirinhas e reservas extrativistas, com finalidades diversas, incluindo eletrificação domiciliar, infraestrutura comunitária e atividades produtivas. A diversidade de territórios, nacionalidades e objetivos reforçou a necessidade de instrumentos de coleta padronizados e comparáveis, capazes de captar a complexidade dos contextos amazônicos:

5.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE PROJETOS-PILOTO

5.2.1 Levantamento, sistematização e estruturação dos indicadores

A formulação da metodologia de avaliação baseou-se em métricas internas da Fundação Mott, construídas a partir de dados prévios de projetos-piloto, e em indicadores provenientes da literatura científica e técnica.

Foram utilizadas referências de estudos nacionais e internacionais sobre impactos ambientais, econômicos e sociais do acesso à energia elétrica, com destaque para Barreto et al. (2020), FIDA (2020), Acevedo et al. (2021), UNDP (2019), UN WOMEN (2022) e CIF (2017). No contexto amazônico, incorporaram-se os indicadores aplicados no projeto Xingu Solar (IEMA 2019), que avaliou a instalação de sistemas fotovoltaicos em comunidades indígenas.

Adicionalmente, metodologias de instituições de fomento e investimento como IADB (2018), ESMAP (2024) e BNDES (2022a, 2022b), além de documentos de adicionais do IEA et al. (2025a; 2025) e The World Bank (2025b, 2025c; 2014), consolidaram a base de boas práticas internacionais.

Esses referenciais consolidam boas práticas internacionais e serviram como base metodológica para a formulação dos questionários quantitativo e qualitativo.

5.2.2 Estrutura de levantamento de indicadores e questionários

A estruturação dos indicadores resultou na elaboração de dois instrumentos complementares: o questionário quantitativo e o questionário qualitativo. Ambos foram formulados com base em estudos científicos, dados de projetos-piloto e referenciais internacionais de avaliação, garantindo equilíbrio entre comparabilidade estatística e captura de experiências sociotécnicas locais.

5.2.2.1 Elaboração do questionário quantitativo — multidimensional

O questionário quantitativo foi estruturado para coletar informações padronizadas e comparáveis sobre projetos-piloto em comunidades amazônicas. Os indicadores foram organizados em seis áreas temáticas:

- 1. Organizacional:** identifica a instituição responsável, detalha os prazos de financiamento e execução, o grau de cobertura financeira e a descrição geral do projeto;
- 2. Geográfico:** localiza o projeto, especificando país, estado, município, território, comunidade e suas coordenadas geográficas;
- 3. Técnica:** caracteriza o sistema energético implantado, incluindo finalidade, tipo de fonte renovável, potência instalada, energia gerada, vida útil, armazenamento e normas de instalação;
- 4. Econômico:** avalia custos e viabilidade, considerando investimento total, despesas de operação e manutenção, retorno financeiro, tarifas, custos evitados com fósseis e custo por beneficiário;
- 5. Ambiental:** analisa impactos ambientais, como substituição e redução de uso de combustíveis fósseis, gestão de resíduos, mudanças no uso do solo, remoção e replantio de vegetação; e
- 6. Social:** mede benefícios sociais, como número de beneficiários, capacitação técnica (incluindo gênero), impactos na renda, acesso ampliado a saúde, educação e comunicação, redução do trabalho manual e mudanças nas atividades produtivas locais.

Essa estrutura garante a coleta de dados comparáveis e abrangentes, permitindo avaliar de forma sistemática os impactos técnicos, econômicos, sociais e ambientais os projetos. O instrumento — questionário quantitativo — completo está disponível no **ANEXO 2**.

5.2.2.2 Elaboração do questionário qualitativo — sociotécnico

O questionário qualitativo — questionário sociotécnico — foi concebido para documentar de forma descritiva as experiências comunitárias de acesso à energia elétrica, permitindo captar percepções locais, práticas de gestão e lições aprendidas. O instrumento está estruturado em dez eixos temáticos:

1. Diagnóstico, motivação e marco institucional
2. Planejamento participativo e coconcepção (co-design)
3. Justiça energética e inclusão social
4. Tecnologia e implementação técnica
5. Operação, manutenção e capacitação
6. Financiamento e sustentabilidade econômica
7. Resultados e impactos
8. Sustentabilidade ambiental
9. Governança e gestão comunitária
10. Aprendizados e recomendações para políticas públicas

As perguntas são abertas, com respostas textuais descritivas a serem preenchidas por equipes técnicas das organizações executoras. Além dos aspectos sociotécnicos, incorporam-se indicadores sensíveis a gênero e inclusão social, abordando acesso das mulheres à energia, participação em liderança, financiamento com perspectiva de gênero e mitigação de violência baseada em gênero. O instrumento — questionário sociotécnico — completo encontra-se no **ANEXO 3**.

5.2.3 Elaboração e aplicação de questionário

Os indicadores foram convertidos em perguntas estruturadas em planilhas eletrônicas, com instruções de preenchimento em diferentes idiomas, de acordo com a nacionalidade das organizações. Cada linha corresponde a uma comunidade atendida, garantindo detalhamento por localidade em termos técnicos, sociais, econômicos e ambientais. Os questionários foram enviados por e-mail institucional a todas as organizações envolvidas nos projetos-piloto apoiados pela Fundação Mott ao longo da última década.

5.2.4 Sistematização e análise dos dados do questionário

Os dados recebidos passaram por validação conjunta com as organizações executoras, assegurando consistência e completude. Em seguida, foram consolidados em uma única base de dados, que serviu de referência para as análises quantitativas e qualitativas. As análises foram realizadas com apoio das ferramentas *Microsoft Excel*, *Tableau* e *Qgis*, possibilitando integração entre estatísticas, representações gráficas e georreferenciamento.

5.3 RESULTADOS POR DIMENSÃO DE ANÁLISE QUANTITATIVA

5.3.1 Características dos projetos-piloto por organização

Michigan State University (MSU)

Implementou projetos-piloto projetados em conjunto com beneficiários, com tecnologia solar fotovoltaica e um caso com turbina hidrocinética, para eletrificação comunitária, bombeamento de água subterrânea, comunicação e conectividade e atividades de geração de renda em comunidades ribeirinhas, quilombolas e em reservas extrativistas, nos municípios paraenses de Oriximiná e Santarém em 2024.

Kara Solar

Implementou projetos-piloto de eletrificação de centros solares, responsáveis por fornecer energia para embarcações com motores elétricos alimentados por sistemas de baterias estacionárias e para equipamentos de comunicação e conectividade, além de capacitar beneficiários entre 2021 e 2023 na Amazônia brasileira, equatoriana, peruana e surinamesa.

World Wild Fund (WWF)

O **WWF-Brasil** implementou projetos em reservas extrativistas, com a instalação de sistemas fotovoltaicos viabilizados por meio da doação de equipamentos do Ministério de Minas e Energia e do apoio logístico do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e da Prefeitura de Lábrea (AM). Entre as iniciativas, destaca-se a implantação da minirrede solar

da Vila Limeira, concebida para atender integralmente a demanda comunitária. O **WWF-Bolívia** realizou a instalação de um sistema de energia a partir da fonte solar, utilizando tecnologias fotovoltaica e térmica, destinado a uma unidade de processamento de açaí. Esse foi o único projeto voltado para uma unidade consumidora conectada ao serviço público de distribuição de energia. O **WWF-Guianas** implantou, em 2023, um sistema fotovoltaico em uma comunidade indígena localizada no Suriname. Já o **WWF-Colômbia** promoveu, em 2024, a substituição de um sistema de geração a gasolina por uma solução fotovoltaica em um hotel situado na Amazônia colombiana.

Instituto Socioambiental (ISA)

Entre 2017 e 2022, instalou dezenas de sistemas fotovoltaicos no Território Indígena do Xingu e na comunidade Raposa do Sol, nos estados brasileiros de Mato Grosso e Roraima, respectivamente, com a finalidade de eletrificar as aldeias e fornecer bombeamento de água, em alguns casos, além de capacitar os moradores para instalar e realizar manutenção de sistemas energéticos

Projeto Saúde Alegria (PSA)

Com apoio da Mott desde 2016, implementa sistemas fotovoltaicos em território indígena e reservas extrativistas para ampliar o acesso à eletricidade, saneamento, saúde, comunicação e conectividade e atividades de geração de renda nos municípios de Santarém, Itaituba e Jacareacanga no estado do Pará.

Amazon Conservation Team (ACT)

Desde 2017, instalou sistemas fotovoltaicos para atender postos de saúde e um centro comunitário indígena para comunicação e conectividade. Também instalou kits de iluminação residencial baseado em um pequeno módulo fotovoltaico, lâmpada e baterias em dezenas de residências em áreas isoladas da Amazônia colombiana e peruana.

Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)

Implementou sistemas fotovoltaicos entre os anos de 2018 e 2024 em infraestruturas públicas de áreas de conservação e em comunidades isoladas do departamento peruano de Loreto para assegurar usos produtivos, geração de renda, vigilância florestal e proteção de recursos naturais.

5.3.2 Análise da dimensão econômica dos projetos-piloto

A maior parte dos projetos-piloto recebeu apoio financeiro por meio de doações da Fundação Mott. Em 64% dos casos, as soluções energéticas foram integralmente custeadas pela fundação, incluindo os projetos do ACT, DAR e PSA. O WWF contou com financiamento parcial da Mott em iniciativas na Bolívia, Colômbia, Suriname e parte dos projetos no Brasil, assim como o ISA. Já a MSU e a Kara Solar complementaram seus projetos com recursos de outras organizações.

A **Figura 27** apresenta os investimentos realizados pelas organizações. O ISA foi o maior investidor, destinando mais de US\$ 2 milhões à eletrificação de 100 comunidades indígenas nos estados de Mato Grosso e Roraima. O PSA aparece em segundo lugar, com US\$ 1,4 milhão aplicados em 46 comunidades do oeste do Pará, com foco em comunicação, educação, eletrificação comunitária, saúde e saneamento. A Kara Solar investiu aproximadamente US\$ 1,4 milhão em projetos de eletrificação de centros solares para recarga de barcos

elétricos e outros usos em nove comunidades no Brasil, Colômbia, Equador e Suriname. O WWF também aportou recursos em projetos de comunicação, eletrificação comunitária, geração de renda, saneamento e turismo. Já MSU e DAR investiram valores inferiores a US\$ 100 mil, enquanto não foram obtidas informações sobre os custos dos projetos do ACT.

A análise das variáveis econômicas, sociais e técnicas mostra relações relevantes entre investimento total, número de beneficiários e energia anual gerada, conforme exemplifica a **Figura 28.a**. Verificou-se uma relação logarítmica crescente, mas de baixa intensidade, entre montante investido e número de beneficiários diretos ($R^2 = 0,3519$). Isso significa que apenas 35% da variação é explicada pelo investimento. O resultado, porém, é estatisticamente significativo (p -valor = 0,0001), afastando a hipótese de acaso. A dispersão dos pontos, representados por círculos cujo tamanho indica energia gerada e cor representa o tipo de território, sugere que variáveis como finalidade e contexto territorial também influenciam o número de beneficiários diretos.

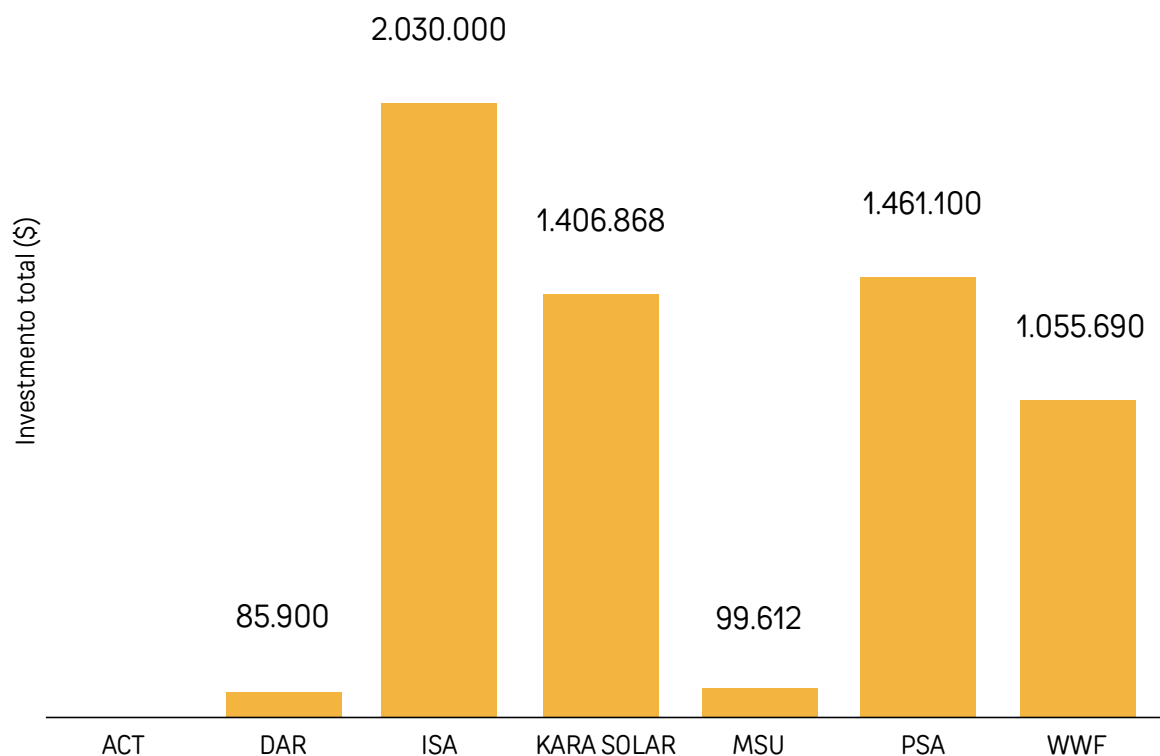


Figura 27. Investimento total por organização.

A segunda distribuição (**Figura 28.b**) referente a beneficiários indiretos, apresentou comportamento semelhante ($R^2 \approx 0,35$), mas com coeficiente angular maior (10.338,1 contra 5.854,7 para beneficiários diretos). Isso indica que, a cada incremento no investimento, o número de beneficiários indiretos cresce mais intensamente, sugerindo

maior alcance comunitário, ainda que com menor impacto individual. Os círculos maiores se concentram entre 10 e 1.000 beneficiários indiretos, em projetos com investimentos entre US\$ 50 mil e US\$ 200 mil, sobretudo em territórios indígenas (vermelho) — com 95% dos casos —, unidades de conservação (azul) e reservas extrativistas (verde).

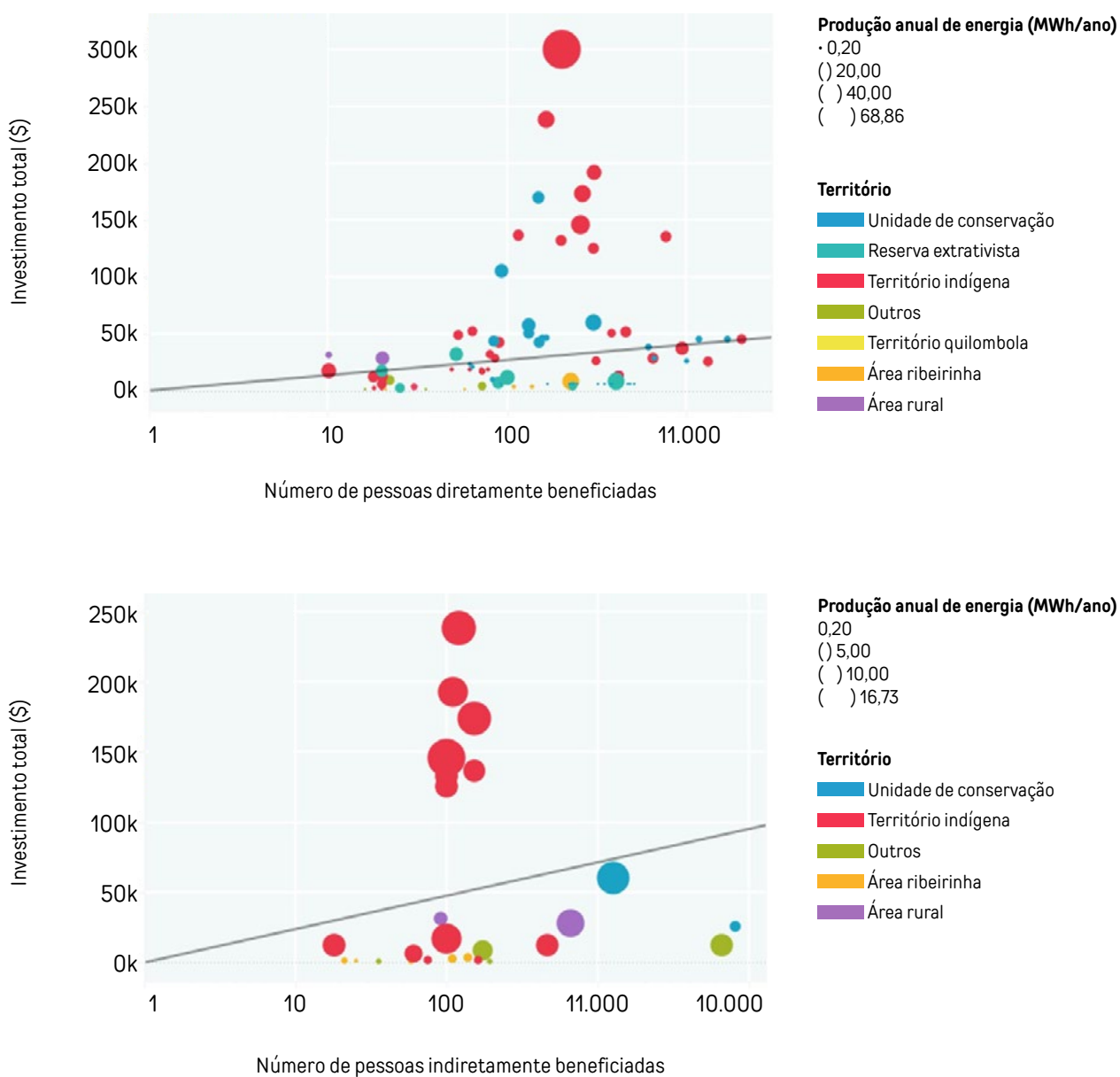


Figura 28. Investimento total por número de pessoas: (a) direta e (b) indiretamente beneficiadas das comunidades.

Além do investimento total, analisou-se o custo por beneficiário. A **Figura 29** detalha o custo por beneficiário. Projetos de comunicação e conectividade apresentaram custos superiores a US\$ 8 mil por pessoa, enquanto os de finalidade sanitária superaram US\$ 3 mil. Somados, esses dois tipos representaram 90% dos custos mais elevados. As demais finalidades — educação, turismo, eletrificação comunitária e geração de renda — registraram custos médios mais baixos, sendo a eletrificação comunitária a mais eficiente em termos de escala de beneficiários.

Por fim, investigou-se o impacto na renda dos beneficiários, conforme apresenta a **Figura 30**. Projetos de eletrificação comunitária registraram o maior efeito, com incremento médio superior a US\$ 361 mensais por família, principalmente em comunidades com atividades de subsistência (roçado, pesca e caça). Projetos de geração de renda e turismo também apresentaram impactos significativos, enquanto as finalidades de comunicação e conectividade e eletrificação residencial mostraram resultados modestos, variando entre US\$ 7 e US\$ 9. Já projetos de educação praticamente não apresentaram impacto direto sobre a renda.

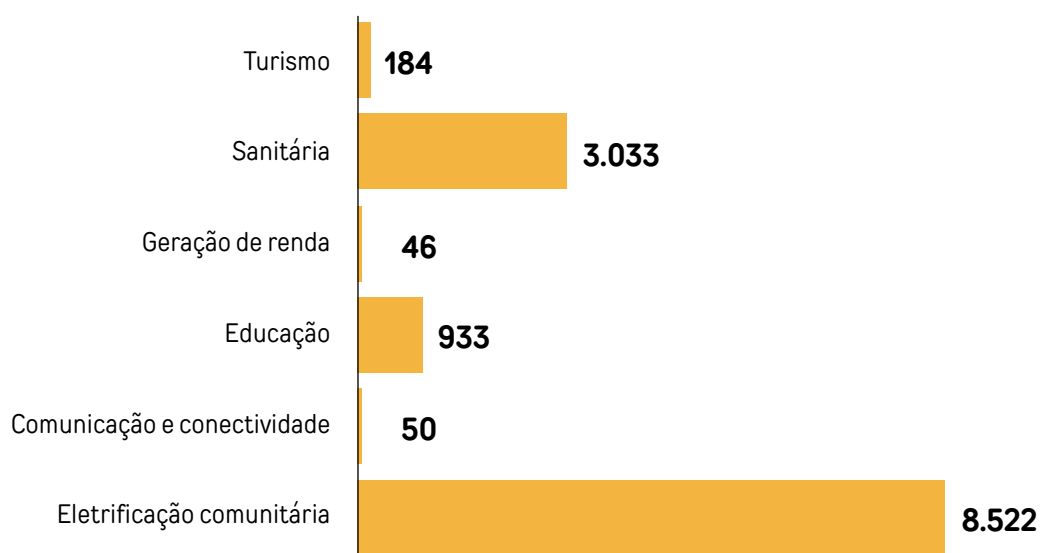


Figura 29. Custo por beneficiário (\$) por finalidade de projeto.

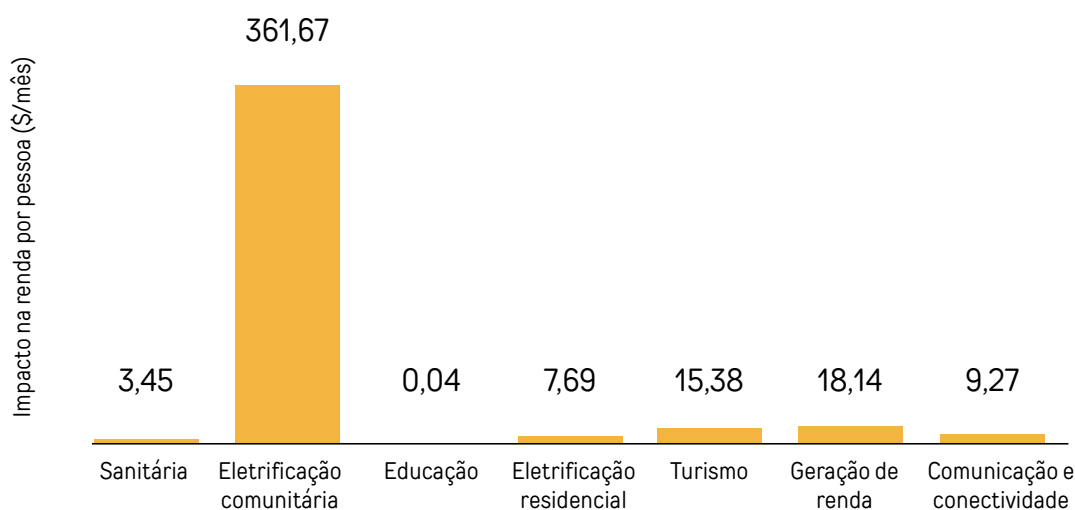


Figura 30. Impacto na renda mensal por pessoa beneficiada (\$/mês).

5.3.3 Análise espacial dos projetos-piloto

A **Figura 31** apresenta a distribuição espacial dos projetos-piloto analisados.

Do total, 191 comunidades foram atendidas no Brasil, 94 na Colômbia, 21 no Peru, quatro no Equador, duas no Suriname e uma na Bolívia. No Brasil, os projetos abrangeram os estados do Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima. Na Colômbia, os atendimentos

ocorreram nos departamentos de Amazonas, Caquetá, Guaviare e Putumayo; no Peru, nos departamentos de Amazonas e Loreto; na Bolívia, em Pando; no Equador, em Morona Santiago e Pastaza; e no Suriname, em Sipaliwini e Marowijne. Em todos os casos, as soluções foram direcionadas a áreas amazônicas remotas e desprovidas de infraestrutura pública, o que justifica a implementação de projetos-piloto baseados em fontes renováveis. A **Figura 32** mostra a quantidade de comunidades atendidas por tipo de território.

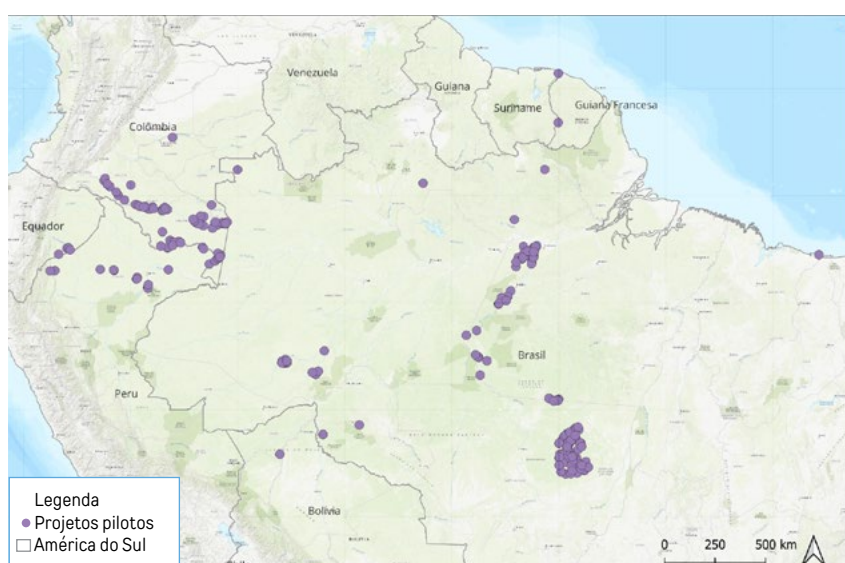


Figura 31. Localização dos projetos-piloto financiados pela Fundação Mott.

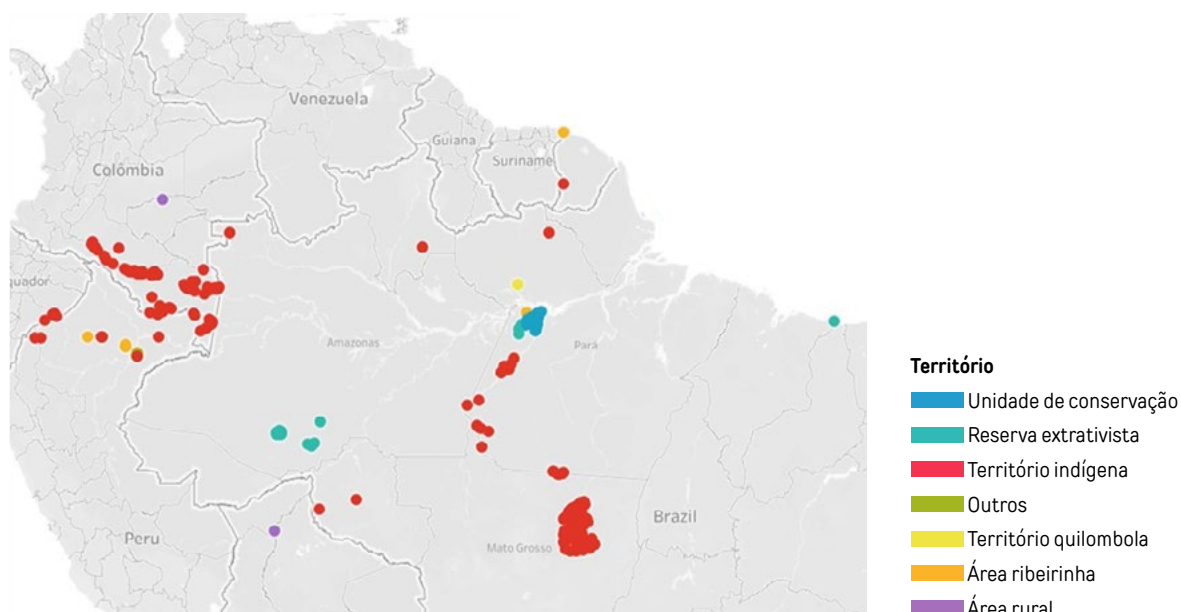


Figura 32. Comunidades e residências atendidas por tipo de território.

A maioria dos projetos concentrou-se em territórios indígenas, que reuniram 141 comunidades e 90 residências. Entre esses, destacam-se 100 comunidades no Território Indígena do Xingu (Brasil), atendidas pelo ISA, e seis comunidades e 90 residências nos territórios indígenas ao longo do rio Caquetá (Colômbia), beneficiadas pelo ACT, conforme demonstra a **Figura 33**.

Os territórios extrativistas representaram 11% dos atendimentos, com 36 comunidades contempladas, sendo sete pela MSU e 29 pelo WWF. As unidades de conservação corresponderam a 10% do total, com 30 comunidades atendidas exclusivamente pelo PSA. Já áreas ribeirinhas,

rurais, quilombolas e outras tipologias representaram 5% das comunidades e residências beneficiadas.

5.3.4 Análise da dimensão técnica dos projetos-piloto

As diferenças regionais demandaram abordagens distintas para a implementação dos projetos-piloto apoiados pela Fundação Mott ao longo de dez anos de atuação em países amazônicos. Foram identificadas múltiplas finalidades de uso da energia, como mostra a **Figura 34**. Em 24 das 223 comunidades e 90 residências houve mais de uma finalidade, o que explica a soma de ocorrências ser superior ao número total de localidades atendidas.

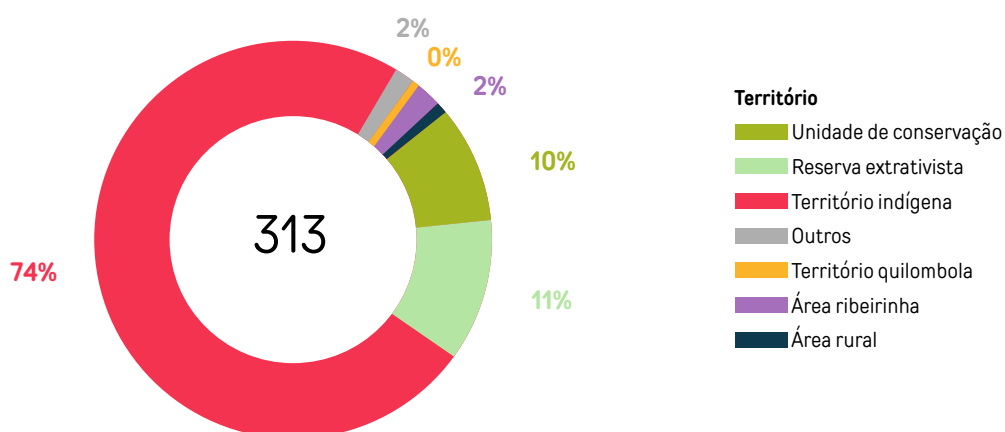


Figura 33. Proporção de atendimento por tipo de território.

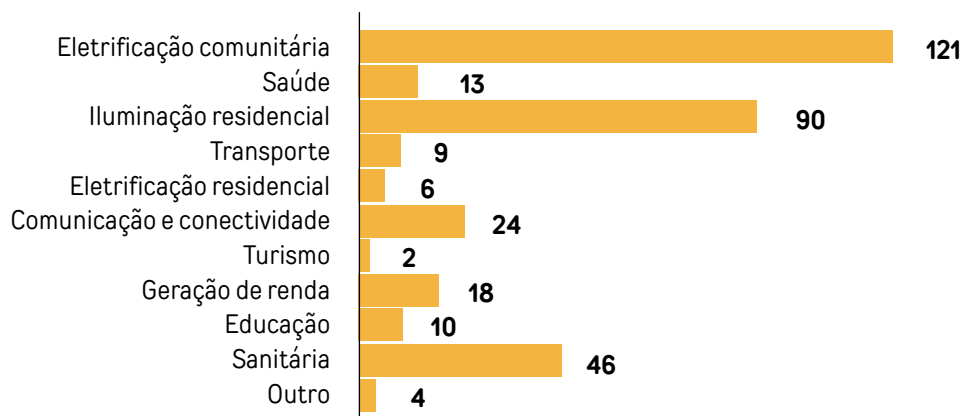


Figura 34. Finalidades dos projetos-piloto.

A eletrificação comunitária foi a finalidade mais frequente, com 121 ocorrências (35%). A iluminação residencial respondeu por 90 ocorrências (26%), correspondendo a 100% das residências analisadas. Essa categoria foi tratada separadamente da eletrificação residencial por corresponder a sistemas de pequena escala, implementados pelo ACT, voltados exclusivamente à iluminação doméstica noturna. A finalidade sanitária, associada a projetos de bombeamento de água, representou 46 registros (13%). As demais finalidades, que somaram 25% do total, envolveram comunicação e conectividade, saúde, transporte, educação, geração de renda, eletrificação residencial, turismo e outros usos não especificados.

Apesar da diversidade de finalidades, a matriz tecnológica foi homogênea: todas as soluções energéticas utilizaram a fonte solar fotovoltaica, conforme demonstra a **Figura 35**. Entre elas, 98 sistemas híbridos incorporaram combustíveis fósseis como complemento. Em 86% das comunidades foram instalados sistemas de armazenamento de energia, divididos quase igualmente

entre baterias de íon-lítio e de chumbo-ácido. Houve ainda dois casos de diversificação: a instalação de um aerogerador em uma aldeia indígena em Roraima e de uma turbina hidrocíntrica em uma reserva extrativista no Pará.

A comparação entre a potência instalada e a energia anual gerada por finalidade, conforme apresenta a **Figura 36**, evidencia diferentes níveis de demanda. O setor de transporte, atendido exclusivamente pela Kara Solar, foi o mais exigente, com geração superior a 9 MWh/ano e potência instalada de 8 kWp por comunidade. As atividades classificadas como “outros usos” — registradas em quatro comunidades — foram a segunda maior demanda energética. Já as finalidades de eletrificação residencial e saúde apresentaram valores semelhantes, com geração anual de 3,11 e 3,06 MWh e potência instalada de 3,48 e 2,9 kWp, respectivamente. Por outro lado, os sistemas de iluminação residencial exclusiva, implementados pelo ACT, tiveram as menores exigências energéticas, limitando-se a prover luz noturna com sistemas solares simplificados.

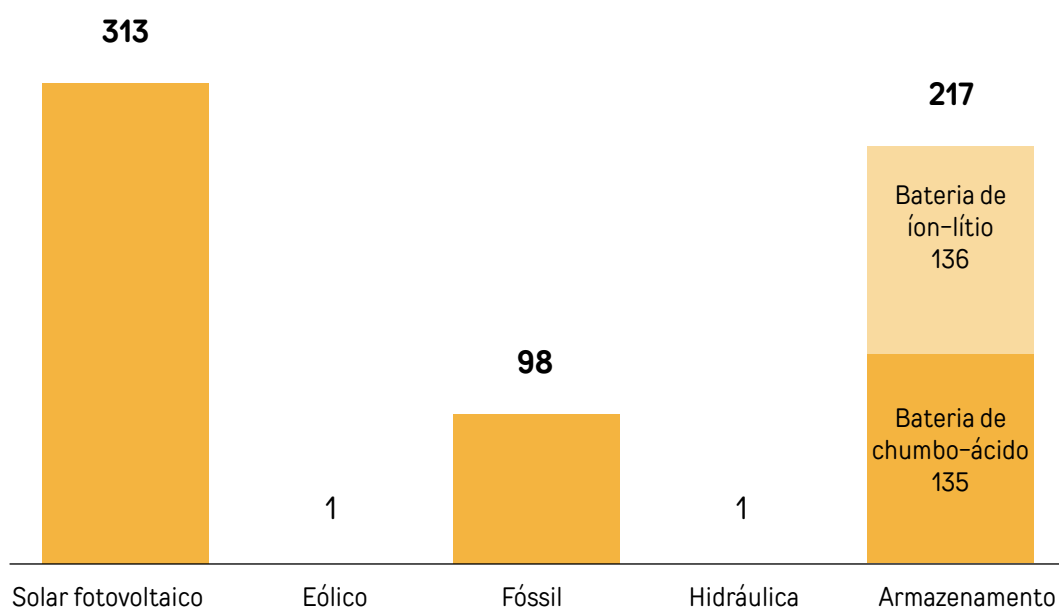


Figura 35. Participação de fontes de energia.

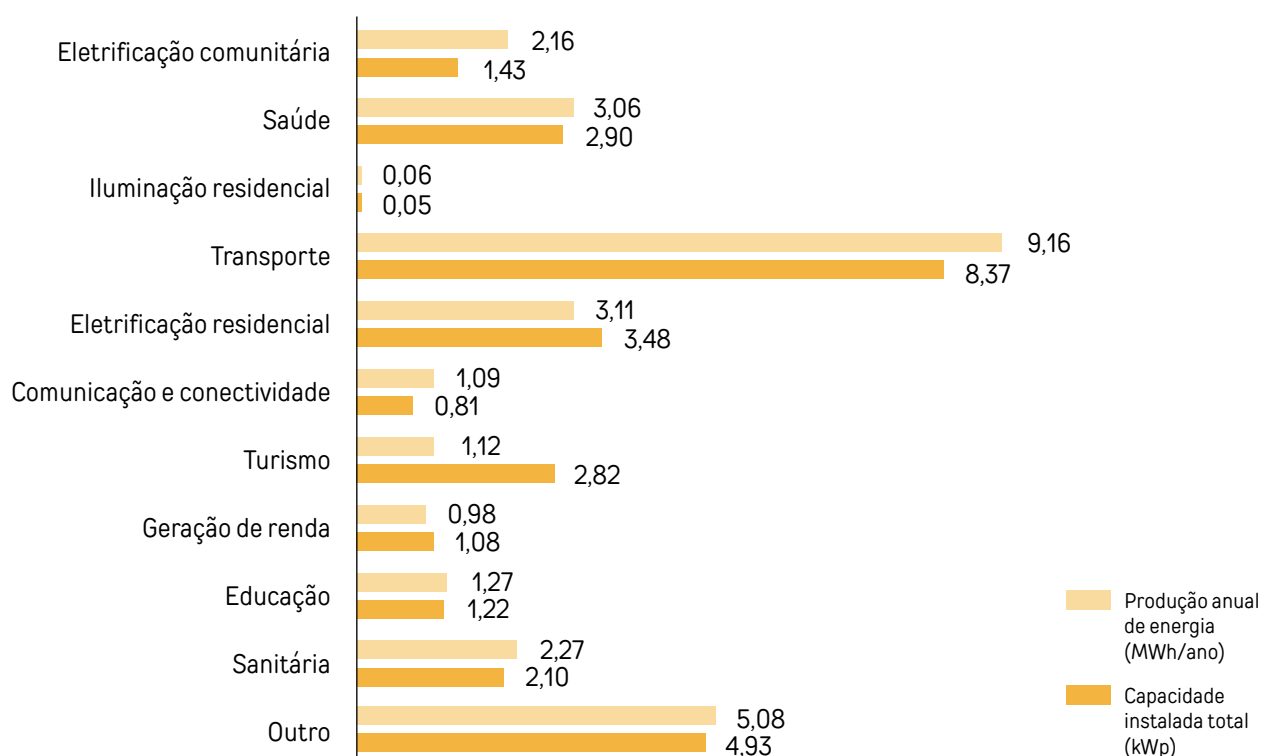


Figura 36. Geração de energia anual e potência instalada por ocorrências de finalidade de projetos.

5.3.5 Análise da dimensão social dos projetos-piloto

Os projetos-piloto apoiados pela Fundação Mott beneficiaram mais de 70 mil pessoas na Amazônia ao longo de dez anos de atuação em acesso a energias renováveis. A **Figura 37** apresenta a distribuição percentual de beneficiários diretos e indiretos por organização.

O total de 43.614 beneficiários diretos corresponde a 60% do universo atendido. Esse número foi alavancado pelos projetos implementados em aldeias indígenas pelo ISA, que alcançaram 20.570 pessoas. O PSA, organização que mais beneficiou pessoas, superou 26 mil atendidos, dos quais 16 mil foram diretos. Somadas, essas duas organizações concentraram 88% dos beneficiários diretos. Em menor escala aparecem a Kara Solar, ACT, DAR, MSU e WWF, que juntos registraram pouco mais de 6 mil beneficiários diretos.

Algumas organizações apresentaram predominância de beneficiários indiretos. O DAR alcançou 8,6 mil pessoas, das quais 94% indiretamente. O ACT registrou 8,2 mil beneficiários totais, sendo 85% indiretos, enquanto o WWF atendeu 3,4 mil pessoas, com 75% indiretos.

A **Tabela 21** mostra o acesso a serviços de comunicação, educação e saúde viabilizados pelos projetos-piloto. Mais de 4 mil pessoas tiveram acesso ampliado a comunicação e conectividade em unidades de conservação, correspondendo a 64% do total desse serviço em comparação com outros territórios. Nos territórios indígenas, mais de 2 mil pessoas obtiveram esse benefício, além de registros em reservas extrativistas e áreas ribeirinhas.

O acesso à educação também foi mais expressivo em unidades de conservação, seguido de perto pelos

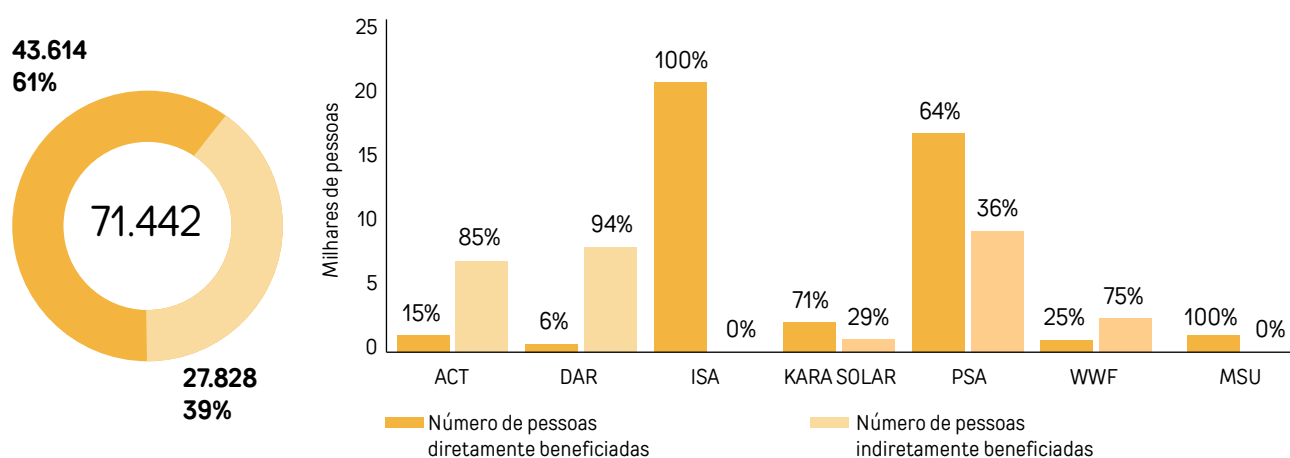


Figura 37. Número de pessoas direta e indiretamente beneficiadas por organização.

| Território | Número de pessoas que acessaram comunicação em razão do projeto | Número de pessoas que acessaram educação em razão do projeto | Número de pessoas que acessaram saúde em razão do projeto |
|------------------------|---|--|---|
| Unidade de Conservação | 4.056 | 370 | 5.111 |
| Reserva Extrativista | 210 | 86 | 260 |
| Território Indígena | 2264 | 300 | 9.293 |
| Território Quilombola | | 13 | |
| Área Ribeirinha | 145 | 36 | 244 |

Tabela 21. Acesso a comunicação e conectividade, educação e serviços de saúde por tipo de território.

territórios indígenas. Em quilombos, treze pessoas tiveram acesso exclusivamente a serviços educacionais. Já os serviços de saúde foram mais representativos entre os indígenas: 62% do total, ou mais de 9 mil beneficiários, sendo este o serviço mais demandado por esse grupo, como mostra a **Figura 38**.

Nas unidades de conservação, mais de 5 mil pessoas acessaram saúde, representando 34% do total e 53% em comparação com os demais serviços. Em reservas extrativistas, o acesso à saúde foi equivalente ao observado em comunicação, enquanto em comunidades ribeirinhas houve maior predominância da saúde sobre outros serviços.

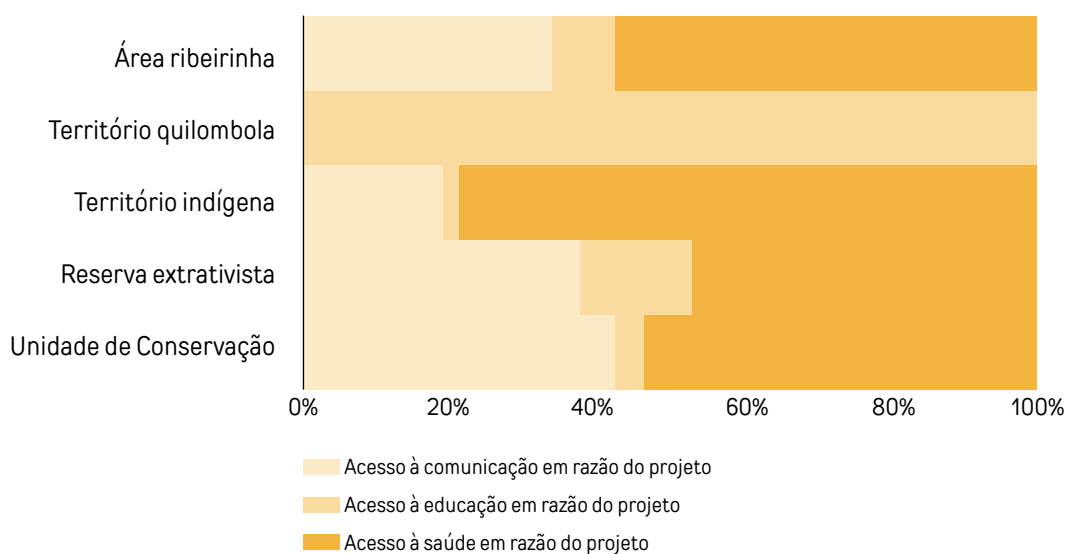


Figura 38. Distribuição percentual do acesso a comunicação e conectividade, educação e serviços de saúde por tipo de território.

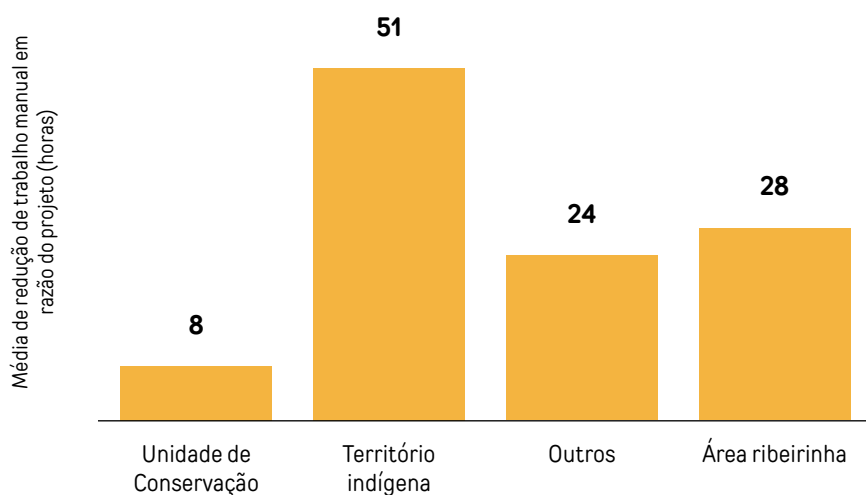


Figura 39. Redução média no trabalho braçal em razão da implementação do projeto-piloto (horas).

Outro impacto relevante foi a redução do trabalho manual em decorrência da eletrificação, conforme apresenta a **Figura 39**. Nos territórios indígenas, a redução superou 50 horas semanais por residente. Entre ribeirinhos, a média foi de 28 horas semanais, seguida pela categoria “outros” com 24 horas. Já em unidades de conservação, a redução foi a menor registrada, e não houve respostas para esta variável em outros tipos de territórios.

O número de mulheres capacitadas para instalar, operar e realizar a manutenção dos sistemas representou 15% dos 583 indivíduos envolvidos nas atividades de formação. A **Figura 40** apresenta a distribuição desse grupo por território.

As Unidades de Conservação registraram o maior número absoluto de mulheres participantes em capacitações para a implementação de soluções energéticas, com 24 mulheres entre um total de 72 pessoas capacitadas. No

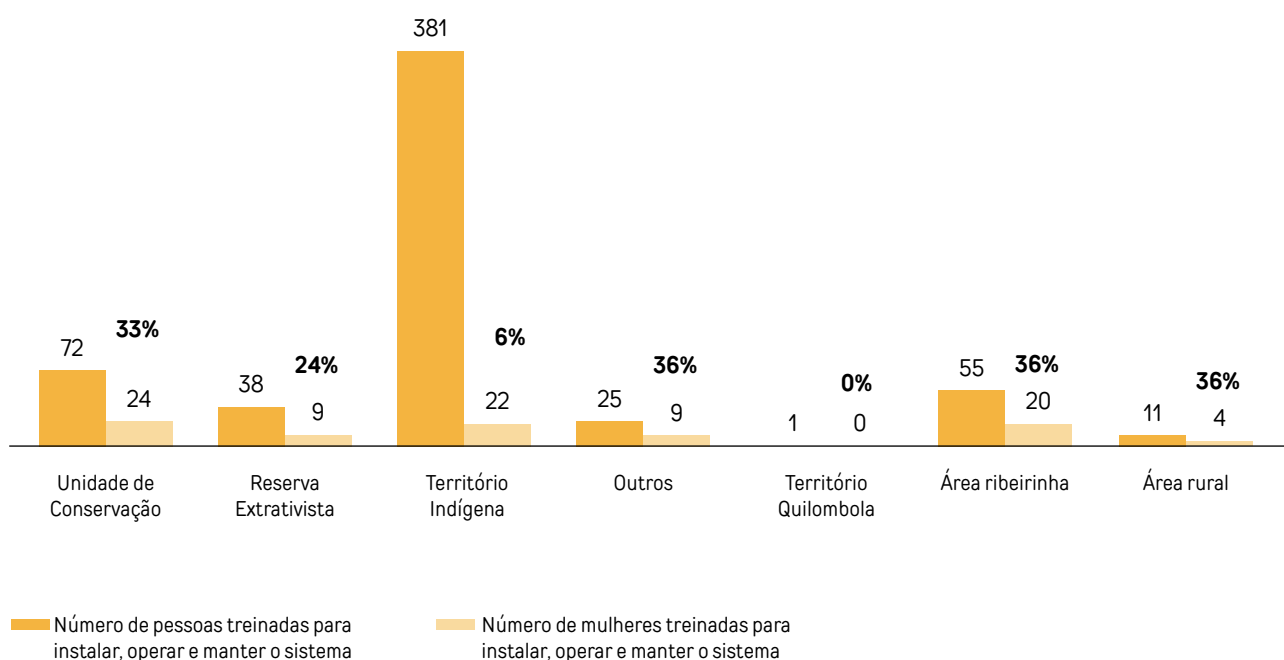


Figura 40. Pessoas treinadas para instalar, operar e manter os sistemas

entanto, as áreas ribeirinhas, as áreas rurais e os territórios classificados como “outros” apresentaram os maiores percentuais de participação feminina, cada um com 36%. Em seguida, aparecem as reservas extrativistas, com 24%, e os territórios indígenas, com apenas 6%. Este último dado é particularmente significativo, considerando que mais de 400 pessoas participaram das atividades de capacitação em territórios indígenas, mas apenas 22 eram mulheres. Não houve registro de dados sobre a capacitação de mulheres para a instalação, operação ou manutenção de sistemas de energia em territórios quilombolas.

Padrão semelhante foi observado na participação na implementação dos projetos. As mulheres representaram 15% do total, equivalente a 114 mulheres entre os 781 indivíduos envolvidos na instalação, operação e manutenção dos sistemas, conforme apresentado na **Tabela 22**.

Os projetos implementados em áreas rurais apresentaram participação feminina significativa nas atividades de instalação, operação e manutenção, com mulheres representando 70% dos 10 indivíduos envolvidos nessas funções, apesar de apenas quatro mulheres terem participado de atividades de capacitação nessas áreas. Nas áreas ribeirinhas, as mulheres corresponderam a 32% dos participantes nas atividades de implementação, seguidas pelos territórios classificados como “outros”, com 26%, pelas Unidades de Conservação, com 22%, e pelas reservas extrativistas, com 17%. Nos territórios indígenas, o mesmo percentual de participação feminina observado nas capacitações (6%) foi registrado nas atividades operacionais, com apenas 6% dos 469 indivíduos envolvidos na implementação dos sistemas sendo mulheres.

Tabela 22 . Pessoas incluídas na instalação operação e manutenção do projeto

| Território | Número de beneficiários incluídos na instalação, operação e manutenção do projeto | Número de mulheres incluídas na instalação, operação e manutenção do projeto | % de mulheres incluídas na instalação, operação e manutenção do projeto. |
|------------------------|---|--|--|
| Unidade de Conservação | 104 | 23 | 22% |
| Reserva Extrativista | 42 | 7 | 17% |
| Território Indígena | 469 | 30 | 6% |
| Outros | 54 | 14 | 26% |
| Território Quilombola | 0 | 0 | 0% |
| Área ribeirinha | 102 | 33 | 32% |
| Área rural | 10 | 7 | 70% |
| Total | 781 | 114 | 15% |

Por fim, o número de mulheres envolvidas em funções de liderança nos projetos-piloto foi superior ao número de mulheres atuando em atividades operacionais. Ao todo, 121 mulheres ocuparam posições de liderança, em comparação com 88 que receberam capacitação técnica e 114 que participaram da instalação, operação e manutenção dos sistemas

5.3.6 Análise da dimensão ambiental dos projetos-piloto

As variáveis da dimensão ambiental foram selecionadas para avaliar a substituição e o uso evitado de combustíveis fósseis, a implementação de mecanismos de gestão de resíduos sólidos e a alteração do uso do solo. Observou-se baixa aderência de respostas nas variáveis não relacionadas ao uso de combustíveis e resíduos, restringindo a análise a esses dois eixos principais.

A **Figura 41** apresenta a substituição do uso de combustíveis

fósseis em função da implementação dos projetos-piloto. Em 99,7% das comunidades houve redução no consumo de diesel; em 32% dos casos ocorreu substituição integral e, em mais de dois terços, a redução foi parcial.

A **Figura 42** apresenta o volume de combustível fóssil evitado por finalidade. As soluções da Kara Solar, voltadas ao transporte fluvial e a eletrificação de centros de recarga para comunicação e conectividade, responderam por mais de 200 mil litros de combustível fóssil evitados, o equivalente a mais de 200 caixas d'água residenciais de mil litros. Esses projetos representaram 90% do total de uso evitado, enquanto os demais corresponderam a pouco mais de 30 mil litros.⁹

A redução do uso de combustíveis fósseis tem correlação direta com a emissão evitada de CO₂. Utilizando o fator de emissão de 2,6 kgCO₂/l (IPCC 2006), estimou-se o volume de emissões evitadas em função da energia produzida,

⁹ A metodologia adotada pela Kara Solar para estimar o consumo evitado de combustível fóssil incorpora, além do uso direto, o consumo associado à sua logística de transporte até áreas remotas. Essa abordagem é particularmente importante no contexto amazônico, onde o abastecimento pode demandar volumes de combustível equivalentes aos da própria atividade final.

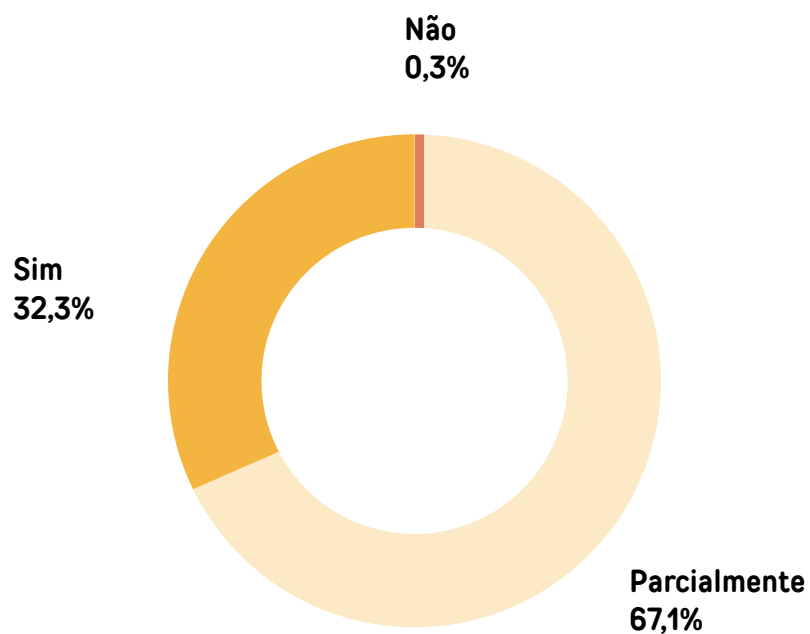


Figura 41. Proporção de substituição do uso de energia fóssil..

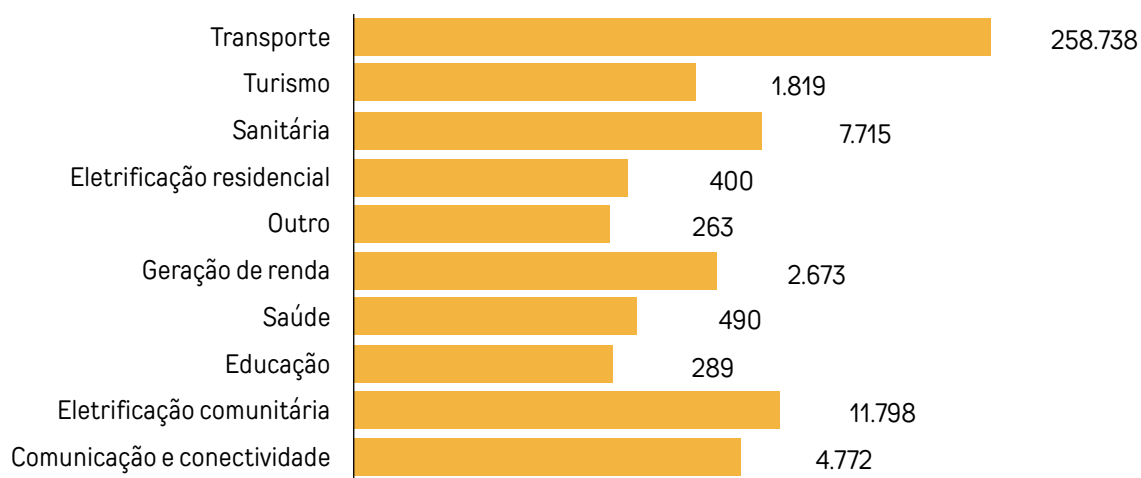


Figura 42. Consumo evitado de combustível fóssil por finalidade em base logarítmica (litros).

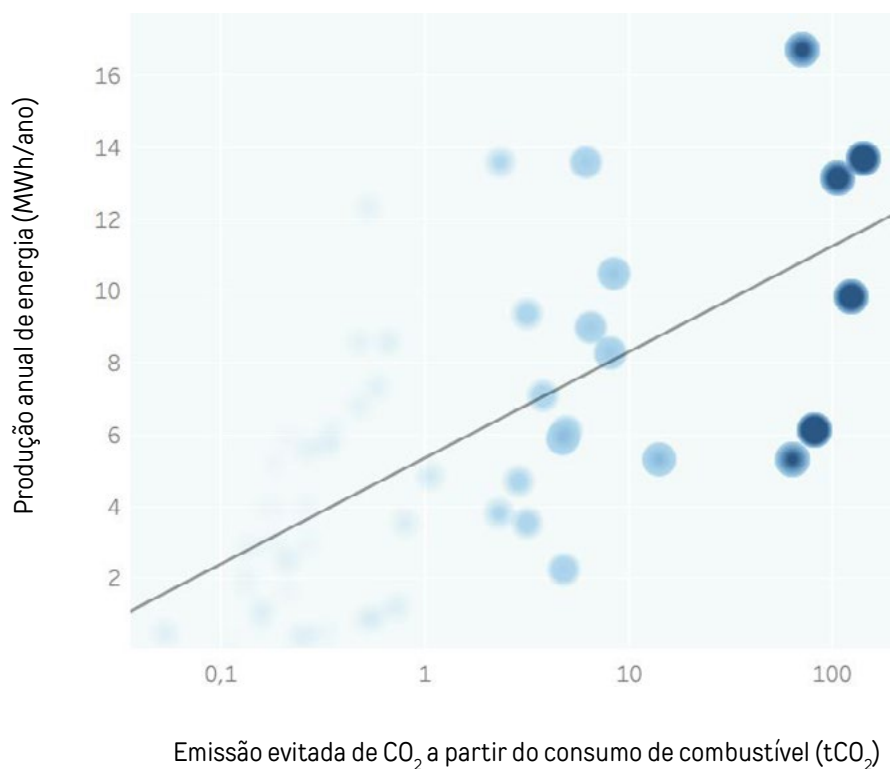


Figura 43. Geração de energia (MWh/ano) por emissão evitada (tCO₂) em base logarítmica.

conforme demonstra a **Figura 43**. A análise estatística revelou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,4412, indicando que 44% da variação da emissão evitada de CO₂ é explicada pela geração de energia. A relação é moderadamente forte e estatisticamente significativa ($p = 0,0001$), afastando a hipótese de casualidade.

Os pontos mais intensos do gráfico, concentrados à direita, correspondem a projetos de transporte, nos quais a intensidade da cor reflete maiores volumes de emissão evitada. Em alguns casos, esses projetos não foram os que mais geraram energia, mas apresentaram maior substituição de combustíveis fósseis, ocorrendo porque o transporte renovável, ainda que não demande grandes quantidades de energia elétrica, exige substituição integral do combustível fóssil para viabilizar sua operação.

Dessa forma, os resultados demonstram que as atividades de transporte são estratégicas para ampliar a participação

das fontes renováveis na Amazônia, representando o eixo de maior potencial para reduzir emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa por meio de projetos-piloto.

5.4 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO SOCIOTÉCNICO

A seguir são apresentadas as principais informações obtidas por meio da aplicação do questionário sociotécnico. A sequência de tabelas representa os resumos das respostas para cada eixo do questionário, que é seguida de uma breve avaliação das informações coletadas.

5.4.1 Diagnóstico, motivação e marco institucional

As questões que visam diagnosticar a motivação e o marco institucional da implementação de projetos-piloto na Pan-Amazônia estão apoiados em sete perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

Antes da implantação dos projetos, o acesso à energia era precário e intermitente. Quase todas as comunidades viviam em zonas não interligadas, dependendo de pequenos geradores a diesel ou gasolina que forneciam eletricidade por apenas algumas horas à noite. Em muitos casos, o uso de velas e querosene era a única opção, resultando em gastos mensais elevados e problemas respiratórios. Serviços essenciais, como escolas e postos de saúde, ficavam comprometidos: alimentos não eram refrigerados, vacinas não eram armazenadas adequadamente e as reuniões comunitárias eram limitadas pela ausência de iluminação e pelo alto custo do combustível.

Os projetos surgiram para responder a necessidades sociais, econômicas e ambientais interligadas. No campo social, buscavam garantir eletricidade contínua e segura para educação, saúde e segurança comunitária, além de aliviar a carga doméstica das mulheres e os riscos de cozinhar com lenha ou querosene. No aspecto econômico, pretendiam reduzir os altos custos com combustíveis fósseis, possibilitar atividades produtivas, como processamento de açaí, refrigeração de pescado e turismo, e diversificar as fontes de renda familiar. Do ponto de vista ambiental, destaca-se a necessidade de reduzir emissões de gases de efeito estufa e dependência de lenha, inclusive para cocção.

Todas as organizações enfatizaram a importância da participação comunitária desde o diagnóstico até a implantação. Foram realizados levantamentos de campo, reuniões e assembleias com lideranças locais, autoridades tradicionais e moradores, garantindo que o desenho dos sistemas refletisse as necessidades específicas, como bombeamento de água, refrigeração e iluminação pública. Esse envolvimento fortaleceu o sentimento de pertencimento e a responsabilidade das comunidades na operação e manutenção dos sistemas.

O ambiente legal e institucional mostrou-se heterogêneo. Em países como Colômbia, Peru, Equador e Brasil, há leis que favorecem as energias renováveis em áreas isoladas, como a Constituição do Equador, a Lei de Eletrificação Rural do Peru e as resoluções da ANEEL no Brasil. No entanto, a maioria das regulamentações ainda privilegia grandes projetos conectados à rede, sem diretrizes claras para microrredes e sistemas comunitários. Barreiras adicionais incluem demora na aprovação de geração

distribuída, dificuldades na importação de equipamentos e ausência de mecanismos de financiamento e manutenção de longo prazo, especialmente para substituição de baterias.

A articulação com autoridades públicas variou de acordo com o contexto. No Brasil, houve parcerias com secretarias municipais de saúde, educação e abastecimento de água, que integraram os sistemas solares a escolas, postos de saúde e sistemas de bombeamento. No Peru, governos regionais e distritais ofereceram apoio logístico e treinamento. Já em alguns casos no Equador e na Colômbia, a atuação inicial se deu quase exclusivamente entre ONGs, federações indígenas e as próprias comunidades, com pouca participação governamental.

Quase todos os projetos dispensaram licenciamento ambiental formal, dado o baixo impacto das instalações solares de pequeno porte. O financiamento foi majoritariamente filantrópico. Poucas iniciativas acessaram créditos governamentais ou mercados de carbono, evidenciando uma oportunidade de fortalecer a sustentabilidade financeira por meio de incentivos a emissões evitadas.

As recomendações apresentadas pelas organizações convergem para a criação de fundos específicos para sistemas isolados, tarifas e subsídios adequados para microrredes, mecanismos de manutenção e reposição de baterias, além de programas de capacitação e fortalecimento da governança local. Também sugerem integrar o acesso à energia a políticas de saúde, educação, abastecimento de água e desenvolvimento econômico, reconhecendo a eletricidade como serviço essencial.

Em conjunto, as evidências demonstram que sistemas de energia renovável geridos pelas próprias comunidades são tecnicamente viáveis e socialmente transformadores. A energia solar fotovoltaica mostrou maior adaptabilidade. Os projetos reduziram o consumo de combustíveis fósseis, diminuíram custos familiares, melhoraram serviços de educacionais e de saúde. Além disso, fortaleceram a autonomia e a capacidade de monitoramento e vigilância ao desmatamento e exploração de recursos.

Os aprendizados obtidos sobre diagnóstico, motivação e marco institucional dos diferentes projetos-piloto estão sistematizados na **Tabela 23**.

Tabela 23. Sistematização do aprendizado sobre diagnóstico, motivação e marco institucional dos projetos-piloto.

| País | Organização | Situação do acesso à energia elétrica | Metas e necessidades iniciais | Participação comunitária | Estrutura regulatória | Apoio do poder público | Licenciamento ambiental / procedimento de financiamento | Melhorias recomendadas para projetos comunitários |
|----------|-------------|---|--|--|---|--|--|--|
| Bolivia | WWF | Altas tarifas de eletricidade | Segurança energética, governança local, redução de custos, menor uso de combustíveis fósseis e lenha | Planejamento e monitoramento comunitário | Marco nacional para mudança da matriz energética | Autoridade da Área Protegida | Não | As regulamentações existentes já são favoráveis |
| Brasil | ISA | Parcialmente eletrificado, uso de combustíveis fósseis | Eletrificação domiciliar e comunitária, iluminação pública, saneamento, saúde, comunicação | Avaliação da demanda e desenho do sistema energético | OIT 169 | Parcialmente aplicado a um território | Não | Aplicar Tarifa Social para usos produtivos |
| | PSA | Parcialmente eletrificado, uso de combustíveis fósseis | Eletrificação domiciliar/co-munitária, água potável, educação, produtividade, saúde | Dados comunitários coletados e identificação das principais demandas | Regulamentação SIGFI | Município de Santarém | Não | Simplificar regras para sistemas comunitários nos programas de universalização |
| | MSU | Baseado em diesel, ~3 horas/dia de eletricidade | Reduzir o isolamento, diminuir custos com diesel, reduzir a poluição do ar | Co-desenho e participação comunitária total (100%) | NBR 5410, 16690, 5419, 16274; NR-10, NR-35 | Município de Santarém | Não | Criar incentivos para concessionárias e consumidores implantarem sistemas comunitários de energia |
| | WWF | Totalmente dependente de combustíveis fósseis para energia, transporte, água e educação | Alimentação, educação, água potável, uso doméstico, segurança | Lideranças envolvidas no planejamento; moradores (por gênero/idade) na implementação | Resoluções ANEEL 482/2012, 687/2015 | ICMBio; Município de Lábrea | Não | Fortalecer o Programa Nacional de Eficiência Energética da ANEEL para sistemas comunitários remotos |
| Colômbia | ACT | Fora da rede, iluminação precária | Iluminação pública, atividades produtivas, educação, saúde | Participação em assembleias comunitárias | Constituição; OIT 169; Lei 1715/2014; política de energia rural | Hospital ESE San Rafael de Leticia; EPS Indígena Mallamas; Secretaria Departamental de Saúde | Não | Criar acesso a financiamento para ZNI, diretrizes para manutenção/substituição de baterias e formalizar a gestão comunitária |
| | WWF | Fornecimento limitado baseado em gasolina | Turismo | Aprovação e discussão comunitária | - | Não | Não | Melhorar incentivos fiscais para projetos de energia comunitária |
| Equador | Kara Solar | Eletricidade instável | Transporte e redução da dependência de combustíveis fósseis | Avaliação participativa das necessidades | Constituição de 2008; Lei Orgânica de Eletricidade; Regulamento de Geração Distribuída | Governo municipal/provincial | Exigência de desembaraço aduaneiro e conformidade financeira | Criar leis específicas e financiamento estatal para energia limpa e subsidiada em áreas remotas |
| Peru | ACT | Fora da rede, iluminação precária | Iluminação pública, atividades produtivas, educação, saúde | Participação em assembleias comunitárias | Constituição (Art. 89); OIT 169; Lei de Consulta Prévia; Lei de Eletrificação Rural | Município Provincial; Paróquia de Caballococha | Não | Garantir acesso a financiamento público para ZNI, diretrizes de manutenção/substituição de baterias e formalizar a gestão comunitária |
| | DAR | Microrrede isolada, 3-4 horas/dia | Eletricidade como direito básico; segurança, saúde, educação; cocção limpa | Consulta comunitária e mapeamento da demanda | Lei Marco de Mudança Climática; Política Energética Nacional 2010-2040; Ordenança Regional 018-2017-GRL-CR; DL 1002 | Município Distrital; Governo Regional de Loreto | Não | Adaptar leis para sistemas isolados; criar tarifa especial para microrredes renováveis; fundo para substituição de sistemas de armazenamento |
| Suriname | WWF | Dependente de diesel, pequeno sistema fotovoltaico | Acesso à energia renovável, monitoramento da biodiversidade, ecoturismo, água segura | Comunidade consultada | Lei de Eletricidade de 2016 | Autoridade de Energia; Ministério dos Recursos Naturais | - | - |

5.4.2 Planejamento participativo e coconcepção (co-design)

A coleta de informações sobre o planejamento foi dividida em sete perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

As experiências de eletrificação comunitária em diferentes regiões da Pan-Amazônia revelam um padrão **consistente: a participação ativa das comunidades é um fator determinante para o sucesso e a sustentabilidade de projetos de energia renovável em áreas remotas.**

A análise dos relatos mostra que o envolvimento comunitário não apenas ocorreu, mas foi estruturado de maneira a fortalecer a autonomia local, valorizar saberes tradicionais e garantir que as soluções energéticas atendessem às prioridades coletivas.

Em praticamente todos os casos, o processo começou com um diagnóstico participativo. Reuniões, assembleias, entrevistas e questionários foram usados para levantar as necessidades energéticas e entender a realidade de cada local. Essas etapas permitiram identificar prioridades como iluminação de residências e espaços públicos, comunicação por meio de internet ou telefonia, saúde, educação e transporte. A participação da comunidade ajudou a definir quais espaços seriam beneficiados, quais equipamentos seriam mais úteis e como os sistemas deveriam ser distribuídos para atender da melhor forma as famílias e áreas coletivas.

Além do diagnóstico, foi comum a realização de oficinas, treinamentos e mapeamentos participativos, nos quais os próprios moradores puderam aprender sobre o funcionamento dos sistemas, compreender suas limitações e participar da construção das soluções. Em muitos casos, essas atividades resultaram em acordos formais para uso e manutenção dos equipamentos, além de fortalecer capacidades locais em energias renováveis. Em algumas localidades, encontros culturais e tradicionais foram integrados ao processo, servindo como espaços para troca de saberes, construção de consenso e reforço da coesão social.

Um aspecto central identificado em todos os projetos foi a valorização do conhecimento local, embora não tenha sido presente em todos os projetos. A escolha de locais para

instalação de turbinas, painéis solares ou redes elétricas levou em conta o saber tradicional sobre a geografia, os ciclos de cheia e seca dos rios, e as melhores épocas para transporte de materiais. Moradores indicaram espécies de madeira adequadas para suportes e postes, sugeriram locais seguros para bombas de água e definiram rotas para linhas de distribuição. Em sistemas de transporte fluvial com energia solar, o design das embarcações se inspirou em modelos tradicionais, adaptando motores e técnicas de navegação de acordo com a experiência local. Essa integração entre tecnologia moderna e práticas ancestrais assegurou maior eficiência, reduziu custos e aumentou a aceitação das soluções.

As prioridades definidas pelas comunidades foram claramente refletidas nos projetos técnicos. Iluminação doméstica e pública, comunicação, abastecimento de água, refrigeração de medicamentos e alimentos, além de apoio a atividades produtivas, foram demandas recorrentes. Em algumas localidades, a instalação de sistemas solares possibilitou o funcionamento de escolas e postos de saúde, bem como o armazenamento de produtos agrícolas e pesqueiros em câmaras frias. Em outras, a criação de sistemas de transporte movidos a energia solar reduziu significativamente os custos com combustível fóssil, ampliando o acesso a serviços de saúde e a mercados para escoamento da produção.

O processo de decisão coletiva foi outro elemento comum e essencial. Em reuniões e assembleias, os moradores definiram regras de uso, tarifas de manutenção e mecanismos de gestão dos sistemas. Muitas comunidades criaram fundos para a reposição de baterias, calculando contribuições mensais por família com base no custo do equipamento e na expectativa de vida útil. Embora nem sempre todas as famílias conseguissem contribuir regularmente, a prática fortaleceu a governança e aumentou a consciência sobre a importância da sustentabilidade financeira. Em alguns casos, foram criados comitês ou associações responsáveis pela gestão da energia, reforçando a autonomia comunitária.

A autonomia para propor ajustes e expansões também foi relatada em diferentes contextos. As comunidades podem solicitar mudanças de local, ampliações de capacidade ou inclusão de novos equipamentos, desde que haja viabilidade técnica e recursos disponíveis. Durante a

implementação, sugestões de adaptação eram discutidas com equipes técnicas e, em muitos casos, incorporadas de imediato. Após a instalação, a responsabilidade pela operação e manutenção passou integralmente para as comunidades, que decidiram de forma independente sobre futuras modificações.

Outro ponto relevante foi a integração com atividades produtivas e serviços essenciais. Sistemas de bombeamento de água a energia solar foram amplamente utilizados, reduzindo o esforço manual, ampliando a produção agrícola e fortalecendo cadeias produtivas, como a do açaí e da farinha de mandioca. A energia elétrica também permitiu o funcionamento de oficinas, marcenarias e pequenas indústrias caseiras, ampliando oportunidades de geração de renda. A iluminação pública contribuiu para a segurança comunitária e para a ampliação das atividades noturnas, como estudo, pesca e reuniões coletivas.

Apesar dos avanços, a sustentabilidade de longo prazo dos sistemas ainda apresenta desafios. A reposição de baterias e a manutenção periódica exigem recursos financeiros que nem sempre estão prontamente disponíveis. Embora algumas comunidades tenham estruturado fundos ou recebido apoio de parceiros institucionais, em outros casos a reposição depende de novos projetos, doações ou arrecadações pontuais.

Em áreas de unidades de conservação, o acesso a crédito e seguros é limitado, já que os moradores não possuem a titularidade formal da terra, o que dificulta a obtenção de financiamentos tradicionais.

Os benefícios sociais das iniciativas foram expressivos. A chegada da eletricidade reduziu o tempo dedicado a atividades braçais, melhorou as condições de saúde e educação e fortaleceu a coesão social. Houve ganho de tempo para atividades educativas, maior conforto doméstico e redução de gastos com combustíveis fósseis, como o diesel. Em várias comunidades, a economia com combustíveis permitiu redirecionar recursos para alimentação, educação e melhorias na infraestrutura local.

Do ponto de vista ambiental, as soluções de energia renovável reduziram o uso de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa. Em muitos casos, a

substituição do diesel foi parcial, mas significativa; em outros, chegou a ser completa. Sistemas de transporte a energia solar evitaram a queima de milhares de litros de combustível, diminuindo a poluição dos rios e do ar, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

A análise dessas experiências demonstra que a combinação de tecnologia apropriada, participação social e respeito ao conhecimento tradicional é fundamental para o sucesso de projetos de eletrificação em regiões isoladas. O envolvimento comunitário desde o diagnóstico até a gestão diária garante que as soluções energéticas não apenas forneçam eletricidade, mas também fortaleçam a autonomia, gerem renda, melhorem a qualidade de vida e incentivem a preservação ambiental. Esses **projetos também mostram que o aprendizado coletivo é cumulativo e inspirador. Em alguns casos, a instalação de sistemas-piloto levou a réplicas em comunidades vizinhas, apoiadas por governos ou outras organizações.** O compartilhamento de experiências, seja por meio de oficinas ou de simples demonstrações, gerou um efeito multiplicador, ampliando o impacto das iniciativas originais. Os aprendizados obtidos com o planejamento participativo e coconcepção dos projetos-piloto estão sistematizados na **Tabela 24**.

5.4.3 Justiça energética e inclusão social

A coleta de informações sobre a justiça energética e a inclusão social nos projetos-piloto foi dividida em cinco perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

A análise das iniciativas de eletrificação sob a ótica da redução de desigualdades no acesso à energia, mostrou que as intervenções buscaram garantir que o fornecimento de energia limpa, segura e contínua fosse tratado como um direito básico, não restrito a áreas urbanas. Em alguns casos, reconheceu-se que eliminar completamente essas desigualdades ainda é um desafio, mas as ações implementadas representam avanços significativos rumo à justiça energética. As propostas valorizaram o uso de fontes renováveis, principalmente a solar, como alternativa a combustíveis fósseis, reforçando a ideia de que a energia deve ser um bem coletivo acessível para comunidades rurais, indígenas, ribeirinhas e de fronteira.

Tabela 24. Sistematização dos aprendizados com o planejamento participativo e coconcepção dos projetos-piloto.

| País | Organização | Participação no planejamento e design | Oficinas e mapeamentos e resultados | Ferramentas e metodologias de coconcepção | Integração de saberes locais | Priorização de demandas locais | Decisão sobre tarifas, gestão e manutenção | Autonomia para propor mudanças e ampliações |
|----------|-------------|--|--|---|---|---|---|---|
| Bolivia | WWF | Projeto apresentado e aceito pela comunidade; apoio à implementação | Difusão da experiência gerou expansão por outras instituições | Entrevistas, encontros, questionários, observação de uso de energia | Uniu conhecimento local, interesse de autoridade e de universitários | Apoio a empreendimento produtivo | Acordos em reuniões comunitárias para implementação e manutenção | Comunidade proprietária/gestora tem liberdade para mudanças |
| Brasil | ISA | Indicação de demanda; reuniões, assembleias, seminários | Registros em relatórios, mapas e atas com prioridades comunitárias | Mapas, questionários, dinâmicas em grupos | Local de instalação definido por saberes locais | Atendimentos comunitários: escola, posto de saúde, internet, rádio, cozinha comunitária | Gestão e manutenção decididas em conjunto; programa de capacitação técnica; debate sobre taxa de manutenção | Comunidades podem propor alterações considerando limitações técnicas e orçamentárias |
| | PSA | Reuniões e diagnósticos sociais e técnicos desde a concepção; capacitação técnica | Oficinas e diagnósticos sociais e técnicos | Oficinas comunitárias, consulta prévia, identificação de demanda, termo de doação | Suportes de madeira para painel solar, uso de mão de obra local, liderança comunitária para operação | Iluminação, saúde, educação, abastecimento de água, geração de renda | Assembleias definem regras e modelos de gestão para sistemas coletivos | Comunidades/famílias podem alterar sistemas após a doação |
| | MSU | Reuniões, workshops, questionários e treinamentos | Oficinas e dinâmicas participativas; lista de prioridades energéticas | Questionários, workshops, observação participante, treinamentos | Comunidades definem locais, materiais (madeira), rotas e épocas de instalação; gestão financeira | Internet, iluminação pública, bombeamento de água, redução do uso de diesel | Fundo para troca de baterias com contribuição mensal por família | Total autonomia, embora o custo adicional para expansões seja um desafio |
| | WWF | Encontros presenciais para todas as fases do projeto; comunidades definiram usos e locais; treinamento IOM | Oficinas, encontros presenciais e treinamentos | Mapas, cartilhas, apresentações, atividades práticas de montagem de equipamentos | Técnicas locais para confecção de estruturas de madeira para equipamentos do sistema: alternativa ao uso de metal, cimento e tijolo | Bombeamento de água, iluminação, refrigeração, internet, marcenaria, irrigação, lazer | Em Vila Limeira: assembleia definiu tarifas e manutenção; demais, cotizações pontuais | Comunidades podem propor, mas custo e falta de crédito dificultam |
| Colômbia | ACT | Reuniões e assembleias definiram critérios, espaços estratégicos e uso dos sistemas | Capacitação, acordos de uso, verificação em campo | Diagnóstico participativo | Saberes aplicados em uso e gestão dos sistemas | Iluminação doméstica, comunicação, saúde, governança | Acordos comunitários para uso, segurança, manutenção e reposição de baterias | Comunidades podem propor mudanças, ampliações apenas com apoio técnico |
| | WWF | Participação em visita de diagnóstico, priorização, instalação e capacitação | Oficinas e visitas ajudaram a dimensionar sistemas e alinhar expectativas | Identificação de necessidades prévias, entrevistas semiestruturadas, oficinas de expectativas energéticas | No | Turismo | - | Podem propor alterações durante o design; autonomia após instalação |
| Equador | Kara Solar | Consulta prévia e diálogo; decisão conjunta com equipe técnica | Oficinas e mapeamentos participativos geraram apropriação do projeto | Mapas participativos, diagnósticos, questionários, encontros matinais "wayusa" | Design de canoas e motores adaptados ao modelo Achuar de navegação tradicional | Transporte, iluminação, comunicação, saúde | Acordos com comunidades para gestão e manutenção | Comunidades podem propor alterações durante instalação, mas mecanismos para mudar após instalação está em definição |
| Peru | ACT | Reuniões e assembleias definiram critérios, espaços estratégicos e uso dos sistemas | Reuniões de capacitação com demonstrações práticas | Diagnóstico participativo | Saberes aplicados em uso e gestão dos sistemas | Iluminação doméstica, comunicação, saúde, governança | Acordos comunitários para uso, segurança, manutenção e reposição de baterias | Comunidades podem propor mudanças, ampliações apenas com apoio técnico |
| | DAR | Diagnóstico, entrevistas, consultas, desenho da solução e acordos de gestão | Oficinas e reuniões possibilitaram construir prioridades e acordos de governança | Diagnósticos participativos, entrevistas, pesquisas de consumo | Práticas tradicionais de cocção, localização para implantação de painéis FV, práticas produtivas, segurança | Iluminação, comunicação, saúde, educação, produção | Comunidades discutem tarifas simbólicas; criação de comitês energéticos | Podem sugerir ampliações e ajustes em coordenação |
| Suriname | WWF | Reuniões comunitárias e questionários domiciliares | Oficinas comunitárias | Questionários | Baseou-se em experiência prévia da comunidade | Iluminação e comunicação em edifício multifuncional | Tarifa proposta por autoridade tradicional (STIDUNAL) | Sistema doado à organização comunitária com autonomia total |

As populações atendidas foram selecionadas considerando critérios de vulnerabilidade e isolamento. Destacam-se povos indígenas, comunidades ribeirinhas, extrativistas, camponesas e afrodescendentes, além de grupos que dependem fortemente dos rios para transporte e subsistência. Em vários territórios, a escolha das localidades levou em conta a relação de confiança já estabelecida, a dificuldade de acesso a serviços públicos essenciais e a importância estratégica de espaços comunitários, como postos de saúde, centros organizativos e escolas. A priorização também abrangeu associações de produtores rurais, reforçando a preocupação com a inclusão de diferentes segmentos sociais que tradicionalmente ficam à margem de programas de eletrificação.

As respostas evidenciam que muitas comunidades haviam recebido anteriormente equipamentos de baixa qualidade, sem acompanhamento técnico ou com forte dependência de geradores a diesel. Para enfrentar essas deficiências, os novos projetos investiram em sistemas fotovoltaicos mais confiáveis e adaptados ao contexto local, além de desenvolver treinamentos e materiais educativos para operação e manutenção. Em alguns casos, equipes revisaram instalações anteriores e planejaram a reativação de sistemas desativados, enquanto outros destacaram que não houve experiências prévias a corrigir. Também foram incorporadas estratégias para garantir sustentabilidade financeira, como acesso a fundos públicos e mecanismos de escalonamento para associações produtivas, fortalecendo a autonomia das comunidades beneficiadas.

A gestão comunitária dos sistemas de energia renovável resultou em fortalecimento da identidade local e da capacidade organizativa. O fornecimento estável de eletricidade possibilitou a ampliação de atividades produtivas, como artesanato, e viabilizou o uso de espaços de convivência, reuniões e serviços de saúde e educação em horários mais amplos. Em algumas regiões, a tecnologia solar impulsionou práticas culturais, como cerimônias tradicionais, e inspirou jovens a se engajarem em iniciativas ligadas à inovação e à conservação ambiental. O conhecimento adquirido em treinamentos técnicos contribuiu para aumentar a autonomia das

comunidades, permitindo que a manutenção e a gestão dos sistemas fossem feitas de forma coletiva e com participação de mulheres e jovens.

Os efeitos sobre a distribuição de poder local foram variados e, na maioria dos casos, discretos. Em algumas comunidades, indivíduos responsáveis pela operação dos sistemas de energia assumiram funções de liderança ou ganharam maior visibilidade social, enquanto em outras as estruturas de governança permaneceram inalteradas. A eletrificação contribuiu para dinamizar espaços coletivos e ampliar a participação de diferentes grupos nas decisões comunitárias, mas não provocou reconfigurações significativas nas hierarquias existentes. Em determinados territórios, observou-se fortalecimento econômico, com oportunidades de negócio e redução de custos de operação, o que aumentou o interesse de atores locais, embora sem alterar substancialmente a autoridade tradicional já consolidada. Os aprendizados sobre justiça energética e inclusão social estão sistematizados na **Tabela 25**.

5.4.4 Tecnologia e implementação técnica

A coleta de informações sobre a tecnologia e topologia de geração e armazenamento de energia elétrica e implementação técnica dos sistemas energéticos foi estruturada em cinco perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

A experiência das organizações apresenta uma gama de escolhas tecnológicas, com predominância da energia solar fotovoltaica em razão de sua viabilidade em regiões remotas, facilidade de transporte e baixo custo de manutenção. A irradiação solar consistente em áreas amazônicas e rurais, somada à simplicidade de operação e segurança, favoreceu a adoção dessa fonte de geração. Em alguns casos, a energia solar foi combinada a sistemas híbridos com diesel para garantir fornecimento em períodos de baixa insolação, ou testada em conjunto com tecnologias como turbinas hidrocinéticas, com o objetivo de ampliar a autonomia energética e reduzir dependência de combustíveis fósseis. Estudos prévios de potencial energético e análises de custo-benefício sustentaram essas decisões, considerando também a adaptação às condições ambientais e logísticas específicas de cada localidade.

Tabela 25. Sistematização de aprendizados sobre justiça energética e inclusão social de projetos-piloto.

| País | Organização | Correção de desigualdades históricas | Grupos priorizados | Correção de falhas anteriores | Fortalecimento de identidade, organização e autonomia | Mudanças na distribuição de poder |
|----------|-------------|---|---|---|---|---|
| Bolivia | WWF | Implementou projetos de energia que resultou em participação comunitária e apropriação das soluções energéticas | Organizações de produtores de frutos amazônicos (homens e mulheres) | Não houve necessidade | Fortaleceu identidade, participação e organização comunitária | Empoderamento econômico para atores que não o tinham |
| Brasil | ISA | Viabilizou atendimento a demandas energéticas em terras indígenas excluídas | Comunidades indígenas | Sim, incorporou aprendizados e melhorias em processos | Reforçou gestão comunitária e valorização da capacitação, sobretudo de mulheres e jovens | Sim, embora difícil mensurar |
| | PSA | Levou energia solar a áreas historicamente sem rede elétrica | Indígenas, extrativistas e ribeirinhos | Aprimorou soluções que se iniciaram em 1999 pela organização, com formação para manutenção e maior autonomia | Reforçou organização comunitária e autogestão | Sem evidência de mudanças ligadas diretamente ao projeto |
| | MSU | Reduziu custos da desigualdade, mas não elimina diferença estrutural | Populações ribeirinhas | Poucas experiências prévias | Fortaleceu organização e autonomia pelo controle do sistema | Casos pontuais de nova liderança; maioria sem mudança significativa |
| | WWF | Energia para unidades de conservação em áreas de exclusão elétrica | Associações de extrativistas ribeirinhos | Seguiu salvaguardas socioambientais para garantir direitos | Fortaleceu identidade e organização em sistemas comunitários | Não |
| Colômbia | ACT | Focando comunidades em Zonas Não Interconectadas para garantir acesso limpo e seguro | Povos indígenas e comunidades rurais isoladas (Colômbia e Peru) | Reativou sistemas solares antigos; reconquistou confiança local; criou cartilhas de manutenção | Maior capacidade de organização e gestão coletiva de recursos; solução energética permitiu atividades coletivas de gestão | Melhor organização e engajamento comunitário, sem grandes mudanças de poder |
| | WWF | Levou energia a Zonas Não Interconectadas | Comunidades rurais e afrodescendentes | - | Energia renovável passou a integrar identidade e serviços ecoturísticos | Não |
| Equador | Kara Solar | Combate exclusão histórica com energia limpa e transporte solar | Comunidades Achuar e ribeirinhas amazônicas | Corrigiu falhas de projetos solares anteriores com capacitação e manutenção local; construiu confiança local | Fortaleceu identidade cultural, autonomia e gestão comunitária; inspirou jovens | Ampliar acesso e inclusão a energia e ao transporte ajudou a distribuir poder na vida de comunidades Achuar |
| Peru | ACT | Focando comunidades em Zonas Não Interconectadas para garantir acesso limpo e seguro | Povos indígenas e comunidades rurais isoladas (Colômbia e Peru) | Reativou sistemas solares antigos; reconquistou confiança local; criou cartilhas de manutenção | Maior capacidade de organização e gestão coletiva de recursos; solução energética permitiu atividades coletivas de gestão | Melhor organização e engajamento comunitário, sem grandes mudanças de poder |
| | DAR | Combateu desigualdade energética em comunidades nativas e rurais de Loreto | Comunidades indígenas, rurais e ribeirinhas | Priorizou energia renovável no lugar de fóssil, adaptou projeto à realidade local e implementou mecanismos de sustentabilidade financeira | Fortaleceu organização, autonomia e identidade cultural usando conhecimento local nos projetos | Acesso a energia permitiu empoderamento de líderes locais, aumentou participação comunitária e criou novos cargos comunitários com divisão de responsabilidades |
| Suriname | WWF | Sim | Comunidade indígena costeira | Sim | Sim, com maior capacidade organizacional | Não |

A adaptação dos sistemas às condições locais foi um aspecto central do processo de implementação. Diversos projetos levaram em conta fatores como clima tropical, sazonalidade das chuvas, risco de inundações, disponibilidade de mão de obra e dificuldades de acesso. Em alguns casos, a instalação foi planejada para períodos secos, quando a navegação fluvial ou o transporte terrestre eram mais seguros. As estruturas dos sistemas, como suportes de painéis e gabinetes de proteção de inversores, foram reforçadas ou ajustadas para resistir à umidade e às altas temperaturas. A logística de transporte, por vezes complexa, exigiu rotas fluviais bem coordenadas, uso de embarcações adaptadas e planejamento detalhado para o deslocamento de equipamentos pesados até comunidades de difícil acesso. Em várias situações, equipes locais foram treinadas para execução das obras, integrando eletricitistas, pedreiros e ajudantes da própria comunidade ou de localidades próximas.

A participação das comunidades na seleção e compreensão das tecnologias foi significativa. Em alguns projetos, a escolha pela energia solar ou sistemas híbridos foi resultado de assembleias, reuniões e comparações entre alternativas, nas quais foram discutidos custos, sustentabilidade e facilidade de operação. Houve casos em que, embora a decisão técnica final tenha sido conduzida por especialistas, os moradores foram consultados quanto às prioridades de uso e ao posicionamento das instalações. Em quase todas as iniciativas, a formação comunitária foi útil para ensinar sobre operação, manutenção e cuidados com equipamentos, produção de cartilhas de orientação em linguagem acessível e até programas estruturados para formar "eletricistas solares" locais. Esse esforço de treinamento buscou garantir a apropriação tecnológica e a autonomia para a gestão e manutenção dos sistemas.

Os desafios técnicos enfrentados foram diversos e demandaram soluções criativas. A logística de transporte foi uma dificuldade recorrente, principalmente em áreas com rios de difícil navegação ou estradas intransitáveis durante o período chuvoso. Para superar esses obstáculos, algumas equipes organizaram transporte fluvial comunitário ou fretaram embarcações equipadas com antenas de internet para comunicação em tempo real. Em determinados contextos, a falta de ferramentas adequadas

nas primeiras instalações foi contornada com a aquisição de equipamentos em duplicidade para permitir trabalho simultâneo de diferentes equipes. A ausência de dados ambientais precisos, como radiação solar ou velocidade das correntes de rios, motivou o desenvolvimento de sistemas de monitoramento remoto para avaliar o desempenho e ajustar as operações. A escassez de mão de obra técnica também exigiu capacitações específicas, inclusive com turmas destinadas a mulheres, a fim de fortalecer a capacidade local de manutenção. Questões relacionadas a armazenamento de energia, como a limitada vida útil de baterias de chumbo-ácido, foram resolvidas com a substituição por baterias de lítio, mais duráveis e eficientes.

Quanto à possibilidade de ampliação ou integração com outras tecnologias, as respostas indicam cenários distintos. Em vários casos, os sistemas foram projetados para atender demandas básicas de iluminação e comunicação, sem previsão de expansão significativa. Entretanto, alguns projetos possuem infraestrutura que permitiria incorporar novas fontes, caso estudos técnicos e recursos financeiros sejam viáveis. Há menções ao potencial de geração com biomassa, uso de esterco bovino para produção de gás e integração com sistemas governamentais de maior porte, embora em muitos locais essas alternativas sejam limitadas por desafios logísticos ou de apropriação comunitária. Em outras situações, os sistemas híbridos existentes, como redes solares associadas a geradores a diesel, já oferecem flexibilidade para ampliações moderadas ou ajustes de capacidade. Os aprendizados com a implementação técnica das diferentes tecnologias de geração e armazenamento de energia e topologias de sistemas energéticos estão sistematizados na **Tabela 26**.

5.4.5 Operação, manutenção e capacitação

A coleta de informações sobre a operação e manutenção (O&M) e capacitação técnica de agentes comunitários de energia (ACE) foi estruturada em quatro perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

As experiências de operação, manutenção e capacitação dos sistemas de energia renovável apresentam padrões que refletem a diversidade de contextos comunitários e arranjos institucionais na Amazônia. De modo geral, a responsabilidade cotidiana pela operação e manutenção

Tabela 26. Sistematização do aprendizado com as tecnologias e implementação técnica de sistemas energéticos dos projetos-piloto.

| País | Organização | Razão da escolha da tecnologia | Adaptação a condições locais | Participação e compreensão da comunidade | Dificuldades técnicas e soluções | Possibilidade de ampliação |
|----------|-------------|---|---|---|--|--|
| Bolivia | WWF | - | - | - | - | - |
| Brasil | ISA | Estudos indicaram potencial para sistemas híbridos (solar, eólico, diesel e biomassa) em Roraima; opção por solar/diesel pela viabilidade e custos em Mato Grosso | Instalação planejada conforme períodos de seca e chuvas; treinamento técnico e mão de obra local | Comunidades participaram em assembleias, definiram fontes e tiveram capacitação técnica | Dificuldades logísticas e evolução rápida dos padrões tecnológicos; resolvido com programa de formação de eletricitistas e aquisição de equipamentos atualizados | Potencial para biomassa, turbinas de fio d'água ou gás de esterco bovino, embora algumas opções não sejam prioritárias |
| | PSA | Solar fotovoltaica pela viabilidade logística e manutenção simples; opção de integração com diesel em bombeamento de água | Projetos ajustados ao clima, logística e contexto social; mão de obra local ainda limitada | Comunidades participam de todas as etapas, do diagnóstico à gestão pós-instalação | Dificuldades na compra de equipamentos e mão de obra técnica; resolvidas com fornecedores externos, curso "Eletricistas do Sol" e planejamento para períodos de seca | Possível, mediante avaliação de viabilidade e recursos disponíveis |
| | MSU | Solar, híbrido solar-diesel e hidrocíntrica para testar viabilidade na Amazônia | Instalações adaptadas ao contexto: baterias e controles junto ao gerador; turbina em flutuante com rotor modificado | Comunidades escolheram microsistemas e participaram de treinamentos | Falta de ferramentas, internet e dados ambientais; solucionado com compra de equipamentos, antena de internet em barco e desenvolvimento de monitoramento | Possível, mas requer estudos adicionais; exemplo de turbina e sistema híbrido em redes independentes |
| | WWF | Solar modular, fácil instalação; minirrede híbrida solar/diesel em Vila Limeira para garantir fornecimento em mau tempo | Sistemas adaptados às realidades locais | Comunidades participaram e compreenderam o funcionamento | Poucas dificuldades; experiência prévia ajudou a prever problemas | Não, exceto o sistema híbrido de Vila Limeira |
| Colômbia | ACT | Solar fotovoltaica pela viabilidade em áreas remotas, baixa manutenção e fornecimento facilitado de energia | Sistemas escolhidos conforme clima, logística e possibilidade de manutenção local | Comunidades participaram na decisão e receberam treinamento e cartilhas interculturais | Transporte de equipamentos para áreas de difícil acesso e substituição de baterias | Não se pode ampliar em residenciais; ampliação em postos de saúde/escolas é possível, mas não considerada até agora |
| | WWF | Energia solar após análise de custo-benefício | Equipamentos padrão; adaptação na instalação e proteção de inversores; mão de obra comunitária na instalação | Não participaram da escolha; receberam capacitação operacional | Nenhuma dificuldade relevante | Sim |
| Equador | Kara Solar | Sistemas solares confiáveis, seguros e adequados ao transporte fluvial no Equador | Projetos adaptados ao clima tropical, radiação solar e profundidade dos rios | Processos codificados; treinamento em operação e manutenção | Desafios de logística fluvial, transporte e clima; superados com parcerias locais, planejamento e manutenção contínua | Potencial para microturbinas fluviais, mas mudança no clima afeta previsão de correntes fluviais |
| Peru | ACT | Solar fotovoltaica pela viabilidade em áreas remotas, baixa manutenção e fornecimento facilitado de energia | Sistemas escolhidos conforme clima, logística e possibilidade de manutenção local | Comunidades participaram na decisão e receberam treinamento e cartilhas interculturais | Transporte de equipamentos para áreas de difícil acesso e substituição de baterias | Não se pode ampliar em residenciais; ampliação em postos de saúde/escolas é possível, mas não considerada até agora |
| | DAR | Solar fotovoltaica escolhida por radiação constante, logística fluvial favorável, marco legal e sustentabilidade | Projetos planejados para clima amazônico, risco de inundação e logística; priorização de compras locais | Seleção participativa com comparação solar vs. diesel; capacitação em manutenção e uso | Transporte fluvial caro e baterias de curta vida; resolvido com logística comunitária e adoção de baterias de lítio | Estuda hibridização e potencial de turbinas fluviais, ainda em fase inicial |
| Suriname | WWF | Comunidade já familiarizada com energia solar e projeto governamental em andamento | Sim, adaptado ao clima e logística local | Sim, participação e compreensão | Nenhuma | Possibilidade de expansão ou integração ao projeto governamental |

é assumida principalmente pelas próprias comunidades, com variações no nível de apoio externo e na forma de organização interna. Em muitos casos, cada família é responsável por sistemas domiciliares, enquanto equipamentos coletivos, como postos de saúde e centros comunitários, ficam sob a gestão de pessoas ou grupos designados localmente. Em algumas iniciativas, organizações comunitárias ou técnicas formadas especificamente para este fim conduzem a operação, contando com suporte eventual de entidades parceiras. Há também casos em que associações locais ou guardiões escolhidos cuidam do sistema, podendo recorrer a técnicos da cidade ou a instituições de apoio quando necessário.

A capacitação técnica é um elemento recorrente, planejado para fortalecer a autonomia comunitária. Diversas iniciativas promoveram treinamentos teóricos e práticos, desde formações básicas sobre o uso dos sistemas e limpeza de painéis até programas estruturados de nível intermediário e avançado. Alguns projetos desenvolveram oficinas permanentes e cursos especializados, capacitando eletricitistas e técnicos locais, inclusive com incentivo à participação de mulheres e jovens. As metodologias combinam aulas presenciais, cartilhas ilustradas e acompanhamento contínuo, e em certos casos incluem parcerias com universidades, institutos de ensino técnico e empresas privadas para garantir certificação e maior qualidade dos treinamentos.

Quanto ao desempenho, a maioria dos sistemas opera de forma estável, fornecendo energia de acordo com os objetivos definidos. As falhas relatadas concentram-se em problemas de desgaste natural, como a vida útil das baterias, e em fatores ambientais, como umidade, corrosão de conexões e acúmulo de sedimentos em bombas de água. Também foram citadas situações de sobrecarga decorrentes de uso não planejado, como a conexão de equipamentos que excedem a capacidade do sistema, além de dificuldades logísticas ligadas ao transporte de peças e à distância de centros de assistência. Em geral, as soluções incluem substituição de baterias, ajustes de componentes e desenvolvimento de mecanismos de monitoramento remoto para detecção precoce de falhas.

O nível de autonomia técnica das comunidades varia conforme a complexidade dos sistemas. Em localidades

onde predominam instalações individuais ou de menor porte, a capacitação recebida permite que moradores realizem manutenções preventivas e pequenos reparos, como limpeza de painéis, verificação de cabos e trocas simples de componentes. Já em sistemas mais sofisticados, como minirredes ou estruturas híbridas, a necessidade de suporte especializado ainda é significativa, exigindo a presença de técnicos externos para intervenções complexas ou para a substituição de equipamentos de maior custo e sensibilidade.

De forma geral, os projetos demonstram que a combinação entre treinamento prático, acompanhamento técnico e participação comunitária é essencial para a sustentabilidade de sistemas de energia renovável em áreas isoladas. A atuação conjunta de moradores capacitados, líderes locais e parceiros externos, quando bem coordenada, garante o funcionamento regular e a adaptação das soluções às realidades culturais, ambientais e logísticas da região amazônica.

Os aprendizados com a operação e manutenção (O&M) e capacitação técnica de agentes comunitários de energia (ACE) estão sistematizados na **Tabela 27**.

5.4.6 Financiamento e sustentabilidade econômica

A coleta de informações sobre os modelos de financiamento e sustentabilidade econômica dos sistemas energéticos implementados nas diferentes comunidades amazônicas foi estruturada em cinco perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

Quanto ao financiamento e sustentabilidade econômica, os projetos de eletrificação analisados revelam uma diversidade de arranjos e níveis de maturidade financeira. Em grande parte, os recursos iniciais vieram de doações filantrópicas ou de cooperação internacional, frequentemente com complementos de contrapartidas locais e apoios logísticos. Fundos privados, como os da Fundação Mott, foram recorrentes, enquanto algumas iniciativas também contaram com financiamento público, parcerias com empresas, apoio de universidades ou de instituições governamentais. Em alguns casos, como no de determinadas comunidades brasileiras, houve adicionalmente a doação de equipamentos provenientes

Tabela 27. Sistematização dos aprendizados com operação, manutenção e capacitação de equipe comunitária para operação dos projetos-piloto.

| País | Organização | Responsável atual pela operação e manutenção | Capacitação técnica local | Funcionamento e falhas | Capacidade técnica autônoma |
|----------|-------------|---|---|--|--|
| Bolívia | WWF | - | - | - | - |
| Brasil | ISA | Comunidades ou técnicos locais indicados; apoio eventual do ISA; polos estratégicos operados por profissionais de saúde ou ATIX | Programas de formação com institutos federais, universidades e empresas, formando dezenas de eletricitas (incluindo mulheres) | Sistemas individuais mantidos por técnicos locais; minirredes demandam apoio do ISA; falhas ligadas a vida útil, descargas elétricas e uso intenso | Autonomia para manutenção de sistemas individuais; minirredes requerem suporte externo |
| | PSA | Ao menos duas pessoas de referência em cada comunidade | Capacitação inicial durante a instalação e oficinas “Eletricistas do Sol” (teoria e prática) | Sistemas estáveis; falhas pontuais ligadas a limpeza, conexões ou sobrecarga; reparos feitos por comunitários treinados | Autonomia para manutenções preventivas; dependência de técnicos externos para falhas complexas |
| | MSU | Pessoa ou grupo eleito em cada comunidade; casos de liderança autocrática causaram problemas | Sim, com treinamentos e acompanhamento remoto | Funcionamento geral estável; falha em sistema de bombeamento por bomba superdimensionada e mau uso em outra comunidade; resolvido com nova captação e orientação | Membros treinados para detecção de problemas; monitoramento remoto em desenvolvimento |
| | WWF | “Guardião” designado em cada comunidade; substituição possível por eletricitas treinados | Treinamento inicial teórico e prático; participantes passaram a instalar sistemas sozinhos | Funcionamento regular; falhas em baterias e bombas por sedimentos, solucionadas com trocas | Capacidade autônoma para manutenção e substituição de equipamentos |
| Colômbia | ACT | Sistemas domiciliares: famílias; sistemas coletivos: organizações indígenas e coordenação do hospital | Jornadas práticas em cada comunidade para uso e manutenção, com cartilhas ilustradas adaptadas ao contexto cultural | Funcionamento regular; falhas em baterias, controladores e peças, resolvidas com reposição e assistência técnica | Autonomia básica para manutenção simples; dependência externa para reparos complexos |
| | WWF | Responsável do centro ecoturístico (Guaviare); demais projetos não se definiu | Treinamento após definição dos sistemas e com manuais | Sistema funcionando; sobrecarga por instalação de novo equipamento, sem recursos para reparo imediato | Conhecimento básico para manutenção; reparos dependem de técnicos especializados |
| Equador | Kara Solar | Técnicos Achuar das próprias comunidades, com apoio externo | Treinamento em níveis básico, intermediário e avançado, com sessões práticas e suporte contínuo | Operação confiável; paradas ocasionais em barcos solares por fragilidade de motores, resolvidas com manutenção local e substituição de peças | Comunidades capacitadas para operar, manter e reparar rotineiramente os sistemas |
| Peru | ACT | Sistemas domiciliares: famílias; sistemas coletivos: organizações indígenas e coordenação do hospital | Jornadas práticas em cada comunidade para uso e manutenção, com cartilhas ilustradas adaptadas ao contexto cultural | Funcionamento regular; falhas em baterias, controladores e peças, resolvidas com reposição e assistência técnica | Autonomia básica para manutenção simples; dependência externa para reparos complexos |
| | DAR | Comunidades e líderes capacitados, com apoio de aliados e da equipe DAR | Oficinas práticas na comunidade, com coordenação local e material adaptado culturalmente | Sistemas em geral regulares; falhas em baterias, corrosão e sobrecarga; soluções com baterias de lítio, proteção das conexões e orientação de uso | Capacidade parcial para manutenção básica; dependência externa para reparos complexos ou troca de baterias |
| Suriname | WWF | Organização comunitária | Treinamento de membros (incluindo três mulheres e três homens) em manutenção e resolução de problemas | Funcionamento estável; falha em projetor, resolvida pelo disparo do dispositivo de segurança | Capacidade para manutenção simples e pequenos reparos |

de programas federais já encerrados ou contribuições de órgãos públicos para transporte e infraestrutura.

A sustentabilidade econômica de longo prazo apresenta diferentes perspectivas. Diversos projetos consideram seu modelo viável, sobretudo porque os sistemas instalados possuem custos de operação relativamente baixos e podem ser geridos localmente. Entretanto, a necessidade de reposição de componentes com vida útil limitada, como baterias e controladores, impõe desafios à autonomia financeira. Alguns grupos trabalham com a criação de fundos comunitários voltados a essas reposições, enquanto outros reconhecem a importância de manter apoio externo ou parcerias com políticas públicas para garantir manutenção e assistência técnica contínuas. Há ainda iniciativas que planejam migrar para modelos de geração de receita, como programas de leasing e tarifas moderadas, a fim de reduzir gradualmente a dependência de doações.

O estabelecimento de tarifas ou contribuições comunitárias também varia amplamente. Em sistemas de uso coletivo, é comum a definição de taxas em assembleias locais, com arrecadação e gestão por comitês ou associações da própria comunidade. Esses recursos são direcionados para manutenção preventiva, reposição de equipamentos e, em alguns casos, para a remuneração de operadores locais. Em contextos residenciais ou de pequena escala, muitas experiências optaram por não cobrar pelo uso da energia, adotando apenas contribuições voluntárias ou acordos informais. Em comunidades que estabeleceram tarifas, os valores foram calculados de forma a serem inferiores aos custos anteriormente pagos pelo uso de combustíveis fósseis, o que facilita a adesão e incentiva a disciplina financeira.

A gestão da inadimplência e dos custos de manutenção é tratada de forma adaptada a cada realidade. Em comunidades onde há cobrança regular, estratégias de diálogo e renegociação de parcelas são comuns, enquanto outras recorrem a ajustes no valor das contribuições para compensar a falta de pagamento de alguns moradores. Em vários casos, associações locais administram diretamente os fundos e monitoram o consumo, garantindo transparência e evitando constrangimentos

públicos. Essa governança comunitária reforça a corresponsabilidade e a sustentabilidade dos sistemas, embora ainda haja dependência de apoio externo em situações que exigem reparos complexos ou substituição de componentes caros.

Algumas iniciativas começaram a explorar ou já implementam modelos de organização mais estruturados, como comunidades energéticas, associações registradas ou cooperativas. Essas experiências fortalecem a gestão local, permitindo maior participação coletiva e favorecendo a expansão do acesso à energia. Em outras localidades, o debate sobre a criação de fundos ou modelos cooperativos ainda está em curso, com a perspectiva de consolidar práticas que assegurem a continuidade e a eficiência dos sistemas implantados, alinhando a autogestão comunitária a mecanismos de financiamento de longo prazo.

Os aprendizados com os modelos de financiamento e sustentabilidade econômica dos projetos-piloto implementados nas comunidades estão sistematizados na **Tabela 28**.

5.4.7 Resultados e impactos

A coleta de informações sobre os resultados e impactos da implementação dos projetos-piloto na vida e estrutura das comunidades amazônicas foi estruturada em cinco perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

Os projetos de eletrificação analisados demonstraram impactos amplos em serviços públicos essenciais e na vida cotidiana das comunidades atendidas. Em termos de serviços, observou-se melhora significativa na saúde, com energia para funcionamento de equipamentos médicos básicos, conservação de medicamentos e operação de postos de saúde em horários estendidos. Na educação, a iluminação em residências e escolas ampliou as horas de estudo, possibilitou o uso de computadores e impressoras e viabilizou atividades pedagógicas noturnas. A comunicação também foi beneficiada de maneira expressiva, por meio do carregamento de celulares, instalação de internet via satélite e maior uso de rádios comunitários. Em alguns casos, o saneamento foi

Tabela 28. Sistematização dos aprendizados de financiamento e sustentabilidade econômica dos projetos-piloto.

| País | Organização | Fontes de financiamento | Sustentabilidade do modelo | Tarifas e contribuições locais | Gestão de inadimplência e custos de manutenção | Modelos cooperativos ou comunitários |
|----------|-------------|---|---|--|---|--|
| Bolivia | WWF | - | - | - | - | - |
| Brasil | ISA | Doações internacionais, parcerias com empresas, universidades e fundos públicos (Fundo Amazônia, Fundo Clima) | Sustentável quando integrado a políticas públicas; em autogestão exige parcerias locais | Não há tarifas, mas debate sobre criação de fundo para baterias | - | - |
| | PSA | Recursos públicos, privados e doações | Autogestão comunitária viável para sistemas coletivos | Tarifas apenas em sistemas coletivos, definidas por comitês de gestão | Regras internas para inadimplência; parte da renda produtiva cobre manutenção | Modelo de autogestão, não cooperativa |
| | MSU | National Science Foundation (EUA) e Fundação Mott | Sustentável se houver fundo comunitário para reposição de baterias e outros componentes | Fundo mensal por família para trocar baterias; valores entre R\$72 e R\$78 | Tratado em assembleias; liderança redefine cotas em caso de inadimplência | Não |
| | WWF | Fundação Mott, PRODEEM (equipamentos), apoio ICMBio, Prefeitura de Lábrea e UEA | Vila Limeira: sustentável; escolas dependem de apoio público | Vila Limeira: tarifa de R\$1/kWh, gerida pela associação | Fundo comunitário cobre manutenção; diálogo em casos de inadimplência | Vila Limeira opera como comunidade energética |
| Colômbia | ACT | Fundação Mott e contrapartida da ACT | Viável a médio prazo; depende de reposição de peças e assistência técnica | Contribuições voluntárias ou acordos internos definidos em algumas comunidades | Sem cobrança formal, não há gestão estruturada de inadimplência | Não adotou cooperativas/ consórcios |
| | WWF | Fundação Mott | Comunidade criou fundo para reposição com economia de combustível | Não há tarifas | Custos de manutenção cobertos com economia de combustível | Comunidades atuam como associações registradas |
| Equador | Kara Solar | Filantropia privada, doações, apoio do BID | Depende de apoio filantrópico; planeja transição para modelo sustentável de empréstimo e pequenas taxas | Sem cobrança de energia; algumas comunidades pagam Starlink | Sem cobrança de energia; manutenção coberta pela organização | Associações comunitárias e estudo de modelo cooperativo |
| Peru | ACT | Fundação Mott e contrapartida da ACT | Viável a médio prazo; depende de reposição de peças e assistência técnica | Contribuições voluntárias ou acordos internos definidos em algumas comunidades | Sem cobrança formal, não há gestão estruturada de inadimplência | Não adotou cooperativas/ consórcios |
| | DAR | Doações de cooperação técnica internacional, apoio não monetário de aliados e contribuições comunitárias | Sustentabilidade parcial; reposição de baterias ainda não coberta | Algumas associações criaram tarifas simbólicas definidas em assembleias | Governança comunitária com apoio da DAR; inadimplência ainda em ajuste | Explora modelos comunitários e de economia da água para manutenção |
| Suriname | WWF | Doadores: Mott e rede WWF | Sustentável se permanecer <i>off-grid</i> | Não se aplicam tarifas, apenas sugestões | Não se aplica | Não |

reforçado, especialmente com sistemas de bombeamento de água, e o transporte passou a incluir soluções de mobilidade limpa, como barcos solares.

Os sistemas de energia renovável também abriram espaço para novas atividades econômicas e aumento de renda, ainda que de forma heterogênea. Em diversas localidades, a eletrificação reduziu custos de produção e permitiu a diversificação econômica. Houve avanços no turismo de base comunitária, na produção de artesanato e na agregação de valor a produtos locais, como polpas de frutas e derivados de pescado. A refrigeração possibilitou o processamento e armazenamento de alimentos, reduzindo perdas pós-colheita e pós-pesca, além de viabilizar empreendimentos de panificação com insumos nativos. Em alguns contextos, sistemas de transporte movidos a energia solar melhoraram o acesso a mercados, reforçando cadeias produtivas ligadas à agricultura, à pesca e à bioeconomia. Em outros, a energia serviu principalmente para necessidades domésticas, com impactos econômicos mais indiretos.

Os efeitos sobre a vida de mulheres, jovens e grupos vulneráveis foram consistentes. A disponibilidade de eletricidade reduziu o tempo dedicado a tarefas domésticas, como busca e transporte de água, lavagem de roupas e conservação de alimentos, permitindo maior envolvimento em atividades produtivas e educacionais. Mulheres passaram a ter mais oportunidades de geração de renda, liderança em empreendimentos locais e participação em cursos técnicos, enquanto jovens ampliaram seu tempo de estudo, inclusive em ensino à distância, e engajaram-se em iniciativas produtivas. Em algumas regiões, a formação técnica específica para mulheres buscou reduzir barreiras de gênero em funções ligadas à operação e manutenção dos sistemas.

Quanto à redução de vulnerabilidades econômicas, os projetos contribuíram de diferentes formas. A substituição de velas, querosene, pilhas e geradores a diesel resultou em menor gasto com combustíveis fósseis, estabilizando o orçamento familiar e comunitário. Em localidades com cadeias de frio, as perdas de alimentos e pescado diminuíram, fortalecendo a segurança alimentar e a resiliência econômica. Em alguns casos, a possibilidade de processar e conservar produtos elevou a autonomia econômica das famílias, sobretudo

das mulheres, e reduziu a dependência de atividades extrativas ou de mercados voláteis.

Por fim, o fortalecimento de cadeias produtivas variou conforme o contexto. Projetos ligados à agricultura, pesca, bioeconomia e turismo se beneficiaram do acesso confiável à energia, ampliando a capacidade de produção e a comercialização de produtos. Mesmo em comunidades onde a integração produtiva ainda é incipiente, a eletrificação já proporciona melhores condições para comunicação, armazenamento e gestão, criando bases para futuras iniciativas econômicas mais complexas.

Os aprendizados com os resultados e impactos na vida das pessoas e na estrutura comunitária com a implementação dos sistemas energéticos dos projetos-piloto estão sistematizados na **Tabela 29**.

5.4.8 Sustentabilidade ambiental

A coleta de informações sobre a sustentabilidade ambiental da implantação, operação e descomissionamento dos sistemas energéticos foi estruturada em três perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

Em termos de gestão de resíduos, algumas organizações ainda não precisaram realizar descartes, pois os sistemas fotovoltaicos permanecem dentro de sua vida útil. Entretanto, várias já planejam ou implementam procedimentos específicos. Há casos de orientação comunitária e parcerias com empresas de logística reversa para futuras substituições de baterias, enquanto outras já realizam a coleta e reciclagem de baterias de chumbo-ácido ou a reutilização de painéis danificados em atividades educativas ou decorativas. Algumas instituições também optam por componentes de maior durabilidade, como baterias de lítio, para reduzir a geração de resíduos a curto prazo.

Os impactos ambientais relatados foram predominantemente positivos. A substituição de geradores a diesel, velas e pilhas por energia solar reduziu emissões de gases de efeito estufa, poluição sonora e riscos de contaminação por combustíveis fósseis. Em determinados projetos, a energia renovável também contribuiu para evitar desmatamento ao reduzir a necessidade de transporte motorizado. Os efeitos negativos foram mínimos ou potenciais, como

Tabela 29. Sistematização dos resultados e impactos na vida das pessoas e na estrutura comunitária com a implementação dos projetos-piloto.

| País | Organização | Serviços públicos beneficiados | Novas atividades econômicas / aumento de produção ou renda | Influência na vida de mulheres, jovens ou grupos vulneráveis | Redução de vulnerabilidades econômicas | Fortalecimento de cadeias produtivas |
|----------|-------------|--|--|--|--|---|
| Bolivia | WWF | Processamento de frutas | Redução de custos de produção | Atividades produtivas; participação de mulheres em cursos técnicos de manutenção de sistemas fotovoltaicos | Redução dos custos de eletricidade em áreas remotas para beneficiar produtores | Fortalecimento da cadeia produtiva do açaí e da castanha |
| Brasil | ISA | Saúde, educação, água potável, comunicação | Pequenas atividades como refrigeração de produtos, oficinas de moto e bicicleta, artesanato | Estudo noturno e produção de artesanato por jovens e mulheres | Redução de gastos com pilhas e baterias; maior possibilidade de comércio online | Potencial para maior integração futura; apoio à pesca e agropecuária (iluminação e comunicação) |
| | PSA | Saúde, educação, comunicação e saneamento | Turismo comunitário, irrigação, beneficiamento de frutas; redução de custos de produção | Redução do tempo em tarefas domésticas e maior participação de mulheres e jovens em atividades produtivas; cursos técnicos para mulheres | Ampliação do acesso à energia para usos produtivos, fortalecendo a autonomia econômica | Integração com turismo; fábrica de ração para peixes, beneficiamento de polpas de frutas |
| | MSU | Educação (iluminação e internet nas escolas), saúde (refrigeração de alimentos e água potável), comunicação (Starlink), saneamento (bombeamento de água) | Início de projetos agroflorestais e apoio a comércio local via internet | Redução de trabalho doméstico; uso de máquinas de lavar; crianças com merenda fresca | Diminuição dos custos com eletricidade em áreas remotas | Em fase inicial de integração produtiva |
| | WWF | Iluminação, saúde, educação, comunicação, água, refrigeração, produção extrativista, lazer | Restauração florestal com viveiro de mudas de açaí, maior agilidade na produção de farinha de mandioca, beneficiamento de açaí | Mulheres com mais tempo livre, uso de eletrodomésticos, possibilidade de ensino à distância | Eliminação de custos de combustível para bombeamento de água e produção | Fortalecimento das cadeias da mandioca e do açaí |
| Colômbia | ACT | Saúde (equipamentos básicos, conservação de medicamentos), comunicação (carga de celulares, rádios), educação indireta (iluminação domiciliar) | Produção artesanal em horários noturnos | Mais tempo para geração de renda e apoio à educação dos filhos; jovens com melhores condições de estudo | Redução de gastos com velas, querosene e pilhas, mas sem mudanças estruturais de pobreza | Não houve integração relevante com agricultura, pesca ou turismo; impacto doméstico apenas |
| | WWF | Iluminação, educação, entretenimento, refrigeração | Não criou novas atividades, mas reduziu gastos com combustível e ampliou tempo de serviço | Redução de deslocamentos para obter alimentos e bebidas graças à refrigeração | Redução do custo com combustível fóssil | Fortalecimento da atividade turística e redução de poluição sonora |
| Equador | Kara Solar | Transporte fluvial limpo, saúde, educação (transporte de estudantes), comunicação | Turismo, artesanato, melhor acesso a mercados agrícolas e pesqueiros | Redução de tarefas domésticas, mais tempo para artesanato; crianças estudam à noite; apoio a pessoas com deficiência | Menor dependência de combustíveis fósseis e custos de energia; fortalecimento do turismo e artesanato | Integração com agricultura, pesca, bioeconomia e ecoturismo |
| Peru | ACT | Saúde (equipamentos básicos, conservação de medicamentos), comunicação (carga de celulares, rádios), educação indireta (iluminação domiciliar) | Produção artesanal em horários noturnos | Mais tempo para geração de renda e apoio à educação dos filhos; jovens com melhores condições de estudo | Redução de gastos com velas, querosene e pilhas, mas sem mudanças estruturais de pobreza | Não houve integração relevante com agricultura, pesca ou turismo; impacto doméstico apenas |
| | DAR | Saúde, educação, comunicação; apoio a economia local com cadeia de frio | Panificação com insumos nativos, processamento de pescado e carne, bebidas de frutos nativos, artesanato | Redução do tempo doméstico; maior autonomia econômica feminina; jovens com acesso a estudo e trabalho local | Diversificação de renda, redução de perdas pós-colheita/pesca, maior segurança alimentar e resiliência comunitária | Fortalecimento de agricultura (frutas nativas), pesca (processamento), bioeconomia (artesanato e bebidas) |
| Suriname | WWF | Comunicação e educação | - | Três mulheres treinadas em manutenção básica do sistema solar | - | Turismo |

a possibilidade de descarte inadequado de baterias ou aumento de resíduos plásticos associados a novas atividades produtivas.

Quanto ao monitoramento, algumas organizações já calculam ou estimam as emissões de CO₂ evitadas, aplicando metodologias reconhecidas, enquanto outras mantêm registros parciais ou desenvolvem estudos específicos para aprimorar a mensuração. Em geral, observa-se preocupação crescente com a mitigação das emissões e com a criação de processos estruturados de logística reversa, apontando para avanços gradativos na consolidação da sustentabilidade ambiental dos projetos. Os aprendizados com a sustentabilidade ambiental da implantação, operação e descomissionamento dos projetos-piloto estão sistematizados na **Tabela 30**.

5.4.9 Governança e gestão comunitária

A coleta de informações sobre a estrutura de governança e gestão comunitária dos sistemas energéticos implementados das diferentes comunidades foi estruturada em quatro perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

Os modelos de governança e gestão comunitária dos sistemas de energia apresentam diversidade, mas mantêm elementos comuns de participação e corresponsabilidade. Em alguns contextos, a forma de gestão varia conforme o tipo de solução: em sistemas domésticos a responsabilidade é individual, enquanto em instalações coletivas, como postos de saúde ou sedes comunitárias, a administração é conduzida por representantes escolhidos localmente. Em outras localidades, a gestão também alterna entre responsabilidade individual ou comitês, com regras técnicas previamente repassadas e fundos sugeridos para manutenção.

Há experiências que priorizam estruturas coletivas mais formalizadas, adotando autogestão comunitária e capacitação de moradores para operar, monitorar e manter os sistemas, o que garante autonomia e fortalecimento local. Em algumas comunidades, associações formalizadas assumem a gestão integral, enquanto em outras a operação é mais informal. Em certos casos, entidades comunitárias específicas receberam cálculos financeiros detalhados para planejar

reinvestimentos e acompanhar os custos de longo prazo. Em outros, a administração é integrada a associações já existentes, com participação ativa dos moradores.

Decisões sobre questões técnicas ou modificações nos sistemas costumam ser tomadas em reuniões ou assembleias abertas, muitas vezes complementadas por práticas culturais locais de deliberação. Em algumas situações, um eletricista ou técnico designado responde à liderança comunitária e à população, com decisões validadas em encontros coletivos. Em determinados locais, a responsabilidade é incorporada a associações produtivas e comitês de vigilância, ainda em processo de definição de normas claras e adaptadas à realidade cultural.

De modo geral, as regras de uso, manutenção, tarifas e resolução de conflitos são debatidas e acordadas coletivamente, fortalecendo o senso de apropriação e a corresponsabilidade. A maioria das comunidades demonstra sentimento de responsabilidade e autonomia, embora em alguns casos existam limitações relacionadas à complexidade técnica e ao custo de equipamentos. Os aprendizados com a implementação técnica das diferentes tecnologias de geração e armazenamento de energia e topologias de sistemas energéticos estão sistematizados na **Tabela 31**.

5.4.10 Aprendizados e recomendações para políticas públicas

A coleta de informações sobre a tecnologia e topologia de geração e armazenamento de energia elétrica e implementação técnica dos sistemas energéticos foi estruturada em cinco perguntas, que podem ser analisadas no conteúdo do **ANEXO 3**.

O conjunto de experiências analisadas revela um amplo espectro de lições aprendidas em iniciativas de eletrificação com fontes renováveis em comunidades amazônicas e outros contextos remotos. Apesar das diferentes realidades territoriais e institucionais, os relatos convergem em apontar desafios logísticos significativos, a necessidade de estratégias participativas de implementação, a importância da capacitação local e a relevância de ajustes regulatórios e financeiros para a expansão e a sustentabilidade desses projetos. Um dos obstáculos mais recorrentes é a logística complexa.

Tabela 30. Sistematização dos aprendizados com a sustentabilidade ambiental dos projetos-piloto.

| País | Organização | Gestão de resíduos | Impactos ambientais | Monitoramento / Emissões evitadas |
|----------|-------------|--|---|---|
| Bolivia | WWF | Orientação às associações sobre a destinação adequada de resíduos e coordenação com governos locais. Prevê-se a geração de resíduos no longo prazo | Positivo: menor dependência de combustíveis fósseis | Sem monitoramento formal; a redução de emissões é inferida com base na substituição de combustíveis fósseis |
| Brasil | ISA | Resíduos retirados durante obras; parceria com empresa de logística reversa para futura substituição de baterias | Positivos: redução de fumaça e ruído; impacto visual limitado | Estimativas possíveis, mas sem cálculo formal; em um polo houve redução de 75 % no consumo de diesel |
| | PSA | Gestão abordada em instalações e formações; descarte de baterias de chumbo-ácido em pontos autorizados; baterias de lítio com logística reversa em parceria com fabricante; equipamentos danificados doados a laboratório ou armazenados | Positivo: menor emissão de GEE e menor dependência de fósseis; desafio: falta de logística reversa completa para todos os componentes | Sem sistema contínuo; realiza estimativas pontuais e desenvolve estudo com UFOPA |
| | MSU | Ainda sem necessidade de descarte; produção de vídeo educativo para orientar comunidades; primeira troca de baterias prevista | Positivo: redução de emissões com substituição de geradores a diesel; nenhum impacto negativo observado | Cálculo estimado de 44.669,82 kg de CO ₂ evitados até ago/2025 |
| | WWF | Troca de baterias feita por eletricista e enviada para fabricantes; painéis danificados reutilizados ou reciclados; descarte de doações defeituosas para reciclagem, embora coleta municipal seja precária | Positivos: redução de GEE, eliminação de ruído e de descarte de combustível no solo; sem impactos negativos | Não |
| Colômbia | ACT | Sistemas ainda em vida útil; procedimento para descarte de baterias e componentes em elaboração com autoridades e gestores | Positivos: substituição de velas, pilhas, gasolina e diesel; nenhuma ocorrência negativa | Não há monitoramento formal; redução de emissões inferida devido à troca de combustíveis fósseis |
| | WWF | Comunidades orientadas para descarte adequado, mas sem processo formal; resíduos esperados apenas no longo prazo | Positivos: menor emissão de GEE e ruído; risco potencial de mau descarte futuro | Monitoramento on-line em corredor de jaguar, inclui uso de energia renovável |
| Equador | Kara Solar | Coleta de baterias usadas para reciclagem; minimização e armazenamento de outros resíduos; logística em desenvolvimento | Positivos: redução de poluição do ar e da água, menores emissões | Monitora deslocamento de combustíveis, calcula CO ₂ evitado e desmatamento prevenido com construção de vias terrestres |
| Peru | ACT | Sistemas ainda em vida útil; procedimento para descarte de baterias e componentes em elaboração com autoridades e gestores | Positivos: substituição de velas, pilhas, gasolina e diesel; nenhuma ocorrência negativa | Não há monitoramento formal; redução de emissões inferida devido à troca de combustíveis fósseis |
| | DAR | Ainda sem programa de gestão; prefere equipamentos de maior vida útil (baterias de lítio) para reduzir resíduos | Positivos: redução de fósseis e desmatamento; conservação de alimentos; valorização de produtos florestais; potenciais riscos de descarte inadequado de baterias, aumento de plásticos e resíduos sólidos | Mantém base de dados desde 2018 com cálculos de CO evitado segundo padrões IPCC |
| Suriname | WWF | - | - | - |

O transporte de equipamentos para regiões de difícil acesso exige planejamento detalhado, custos elevados e, em muitos casos, soluções criativas para superar barreiras geográficas e climáticas. Comunidades ribeirinhas ou de floresta densa relataram que o deslocamento de materiais depende das condições dos rios e das estradas, o que pode atrasar cronogramas e aumentar despesas. Em alguns locais, o clima adverso impôs restrições de navegação, enquanto em outros a presença de grupos hostis elevou o risco operacional. A distância de fornecedores e a escassez de técnicos locais para manutenção especializada ampliam o desafio, tornando essencial um planejamento logístico que considere as particularidades sazonais e culturais de cada território.

Para lidar com essas limitações, diversas estratégias se mostraram eficazes. A formação de alianças com lideranças comunitárias, associações locais, governos municipais e instituições de pesquisa foi amplamente utilizada para legitimar as ações, facilitar a logística e criar uma rede de suporte contínuo. O trabalho prévio de aproximação e diálogo com as comunidades demonstrou ser decisivo para construir relações de confiança, garantir a participação em todas as etapas e evitar conflitos. Em muitos casos, a seleção de equipamentos de qualidade e a capacitação de moradores para realizar manutenção básica reduziram a dependência de suporte externo e prolongaram a vida útil dos sistemas.

A capacitação comunitária, em por sua vez, emergiu como elemento central. Oficinas práticas, materiais pedagógicos acessíveis e treinamento de agentes de energia comunitários fortaleceram a autonomia técnica e a corresponsabilidade. Em alguns projetos, foi priorizada a participação de mulheres, promovendo equidade de gênero e ampliando a disseminação de conhecimentos. Essa abordagem não apenas assegura a operação cotidiana, mas também reforça a governança local, permitindo que decisões sobre manutenção, tarifas e uso da energia sejam tomadas coletivamente, com maior transparência e comprometimento.

Outra lição importante é a necessidade de integrar as soluções energéticas aos processos sociais e produtivos existentes. A eletrificação de escolas, por exemplo, foi destacada como ponto de partida estratégico, pois amplia

benefícios para toda a comunidade, viabilizando desde a conservação de alimentos em freezers comunitários até o acesso à internet. Em regiões onde a economia local depende de atividades como pesca, agricultura e bioeconomia, a disponibilidade de energia confiável impulsiona cadeias produtivas e reduz perdas, tornando-se motor de desenvolvimento sustentável. Em alguns casos, a eletricidade foi incorporada a cadeias de valor locais, como panificação, processamento de pescado e artesanato, ampliando as oportunidades econômicas.

As iniciativas também evidenciam a relevância da geração descentralizada de energia. Em oposição ao modelo centralizado, que muitas vezes não alcança áreas isoladas, a geração distribuída mostrou-se viável e eficiente quando adaptada ao contexto. Projetos de sistemas híbridos solar-diesel, minirredes comunitárias e soluções autônomas foram citados como alternativas confiáveis, especialmente em localidades distantes das redes nacionais. A autonomia energética, além de garantir o acesso a serviços básicos, reforça a soberania territorial e reduz a necessidade de expansão de estradas ou linhas de transmissão, que podem gerar impactos ambientais e sociais.

Do ponto de vista regulatório e financeiro, as experiências apontam para gargalos que limitam a escalabilidade dessas iniciativas. Muitos projetos operaram paralelamente a programas públicos existentes, sem articulação direta com políticas nacionais de eletrificação. Em alguns casos, houve diálogo com programas de acesso à energia, mas a integração foi parcial ou insuficiente. A ausência de mecanismos de financiamento adequados para pequenos projetos comunitários é outro entrave: a implementação em áreas remotas eleva custos logísticos e demanda modelos de subsídio específicos, muitas vezes inexistentes. A dependência de recursos externos para a manutenção de longo prazo também foi identificada como fragilidade, reforçando a necessidade de políticas públicas que contemplem não apenas a instalação, mas o suporte contínuo.

Entre as recomendações derivadas dessas vivências, destaca-se a criação de políticas que reconheçam e apoiem sistemas de uso coletivo com gestão comunitária. Isso inclui a definição de marcos legais que facilitem a operação de minirredes, microgerações isoladas e

Tabela 31. Sistematização dos aprendizados de governança e gestão comunitária dos projetos-piloto.

| País | Organização | Modelo de gestão adotado | Regras de uso, tarifas, manutenção e resolução de conflitos (participação comunitária) | Decisões diante de problemas ou mudanças | Responsabilidade e autonomia comunitária |
|----------|-------------|--|---|--|--|
| Bolivia | WWF | A responsabilidade cabe às associações de produtores | A assembleia da associação de produtores decide sobre as medidas a serem adotadas e como implementá-las | Uso, manutenção e resolução de conflitos definidos em reuniões de coordenação e formalizados em acordos com a associação de produtores | Gestão por meio de uma associação de produtores |
| Brasil | ISA | Eletricista indicado responde à liderança e à comunidade | Regras pactuadas previamente; conflitos discutidos em reuniões periódicas | Liderança local decide no dia a dia, confirmada pela comunidade em reuniões | Comunidade se sente responsável, mas enfrenta limitações técnicas e de custos |
| | PSA | Autogestão comunitária para sistemas de uso coletivo | Regras debatidas e acordadas em oficinas e reuniões, garantindo compreensão e aceitação | Decisões tomadas em reuniões ou assembleias, com suporte técnico do PSA quando necessário | Alto nível de autonomia e senso de pertencimento, fortalecidos por capacitações contínuas |
| | MSU | Individual ou comitê, dependendo da comunidade | Regras técnicas repassadas; tarifas sugeridas pela equipe e são aceitas ou não pela comunidade | Varia conforme a comunidade; liderança local decide, equipe intervém apenas se solicitada | Comunidades se sentem responsáveis e autônomas |
| | WWF | Associação (ex.: Apavil em Vila Limeira); em outros casos, gestão comunitária informal | Em Vila Limeira, regras definidas coletivamente; nos demais não há dados detalhados | Assembleia da associação define ações quando necessário | Comunidades, especialmente Vila Limeira, demonstram responsabilidade e autonomia |
| Colômbia | ACT | Varia: individual (famílias), organização comunitária (postos de saúde) ou representantes designados | Regras definidas em espaços participativos, com acordos comunitários claros e aceitos | Comunidade tenta resolver com pessoas capacitadas; se necessário, aciona ACT | Comunidades são responsáveis e autônomas; mudanças são feitas conforme capacidade técnica e recursos |
| | WWF | Gestão via associação | Compromissos básicos definidos em acordo comunitário, sem regras formais de conflito | Comunidade decide e informa à organização em caso de anomalias | Comunidades se sentem responsáveis e autônomas |
| Equador | Kara Solar | Gestão comunitária com participação ativa de membros locais e apoio da organização | Regras definidas em assembleias e acordos formais, socializadas e aprovadas pela comunidade | Decisões em assembleias e cerimônias tradicionais, com apoio técnico da equipe | Comunidades se veem como principais gestoras dos sistemas |

arranjos híbridos, bem como normas claras para logística reversa e descarte de equipamentos, especialmente baterias e componentes eletrônicos. Incentivos financeiros, como linhas de crédito específicas, subsídios para comunidades isoladas e mecanismos de pagamento por serviços ambientais, também são considerados essenciais para viabilizar a expansão e a manutenção dos sistemas. Algumas iniciativas sugerem ainda a incorporação de critérios interculturais e territoriais nos programas de eletrificação, de modo a respeitar a diversidade de modos de vida e garantir uma transição energética justa.

A participação em redes de troca de experiências aparece como oportunidade para fortalecer capacidades locais e influenciar políticas. Algumas organizações relataram envolvimento em fóruns regionais e internacionais sobre energia renovável e eletrificação de áreas remotas, o que possibilita o compartilhamento de práticas, o acesso a inovação e a construção de parcerias para financiamento climático. Esses espaços de intercâmbio permitem que comunidades aprendam entre si, ampliem seu repertório técnico e se tornem protagonistas na formulação de soluções energéticas sustentáveis.

Outra constatação relevante é que a viabilidade econômica dos sistemas não pode ser avaliada apenas pelo número de beneficiários. Em muitos casos, a densidade populacional é baixa, mas o impacto social e ambiental é elevado, justificando investimentos públicos e privados. As lições aprendidas mostram que o sucesso não depende exclusivamente da tecnologia, mas da forma como ela é implementada: com participação efetiva, formação continuada, integração a atividades produtivas e acompanhamento pós-instalação.

Diversos projetos reforçam que a comunicação clara é indispensável. É necessário explicar aos beneficiários

o funcionamento dos sistemas, a capacidade de carga e as limitações de uso, evitando expectativas irreais e prevenindo conflitos, como o uso não autorizado que comprometa a eficiência energética. A construção de regras de uso e manutenção, bem como a definição de tarifas quando aplicável, deve ser feita de maneira participativa para garantir entendimento e adesão de todos os usuários.

Em termos de replicabilidade, processos participativos de diagnóstico e decisão, capacitação técnica local, flexibilidade para adaptar soluções às necessidades de cada comunidade e fortalecimento da governança interna são características que se destacam. Experiências de autogestão comunitária demonstram que, quando os moradores são protagonistas, a sustentabilidade técnica e social é maior. O envolvimento direto da comunidade em etapas de instalação, manutenção e monitoramento cria senso de pertencimento e aumenta o compromisso com o bom funcionamento dos sistemas.

Por fim, fica clara a contribuição das iniciativas de soluções energéticas possibilitadas pelo apoio filantrópico às políticas públicas de acesso à energia elétrica na Pan-Amazônia. A experiência mostra que é possível garantir o acesso à eletricidade de forma sustentável e conciliadora com os saberes locais, mesmo que o contexto seja desafiador. A replicação dos ganhos obtidos pelas experiências mencionadas dependerá da integração entre tecnologias apropriadas, participação comunitária, formação contínua e apoio às organizações dos territórios.

Os aprendizados e recomendações para a implementação e perenidade de projetos implementados com o fim de garantir o acesso à energia elétrica sustentável, de qualidade e com consulta e participação comunitária, respeitando os direitos das populações tradicionais estão sistematizados na **Tabela 32**.

Tabela 32. Sistematização dos aprendizados e recomendações para políticas públicas.

| Country | Organization | Principais Desafios | Estratégias Eficazes | Lições para Políticas Públicas | Elementos Replicáveis | Diálogo com Programas Públicos | Ajustes Legais e financeiros necessários | Redes de Intercâmbio |
|----------|--------------|--|--|---|--|--|--|--|
| Bolivia | WWF | Responsabilidade pela manutenção dos sistemas e fortalecimento da gestão organizacional | Parcerias com programas governamentais, universidades e associações de produtores para melhorar a manutenção de equipamentos | Promover a expansão de energias renováveis por meio de iniciativas governamentais, apoiando produtores com supervisão técnica e assistência pós-instalação | Treinamento técnico contínuo, acordos de gestão com beneficiários e governos locais | Diálogo e coordenação entre diferentes níveis de governo | Financiar políticas nacionais para apoiar projetos na Amazônia e envolver instituições multilaterais em sua implementação | Compartilhar experiências em eventos nacionais e trocar lições aprendidas com o WWF Colômbia |
| Brazil | ISA | Altos custos logísticos e de governança, demanda crescente. | Envolvimento comunitário e parcerias com instituições de pesquisa, adaptação ao clima. | Políticas devem contemplar geração para atividades produtivas e renovação de baterias. | Formação técnica, instalação por mutirões, pactos de gestão. | Diálogo com Programa Luz Para Todos. | Ajustes regulatórios para fornecimento de energia a baixo custo para usos produtivos. | Intercâmbio limitado a comunidades próximas. |
| | PSA | Logística em áreas remotas, necessidade de capacitação contínua, gestão de resíduos, sustentabilidade financeira e integração limitada a políticas públicas. | Formação prática de agentes locais, autogestão comunitária, parcerias com universidades, logística planejada, diálogo gradual com órgãos públicos. | Incentivar modelos de autogestão e criar normas para logística reversa de equipamentos; formação comunitária permanente. | Autogestão comunitária, formações contínuas, integração entre saber técnico e local. | Atuação independente, mas influenciou inclusão de energia solar no Programa Cisternas. | Reconhecimento de sistemas coletivos em programas federais; criação de linhas de fomento e subsídios para áreas isoladas. | Rede Energia e Comunidades e encontros de intercâmbio. |
| | MSU | Desafios culturais, logísticos e operacionais; necessidade de adiantamento de equipamentos por fornecedores. | Parcerias comerciais locais confiáveis. | MIGDIs são viáveis se houver senso de propriedade comunitária; quanto mais confiável for o sistema, mais a comunidade se engaja em cuidá-lo; prioridade para eletrificação de escolas. | Co-design de sistemas, MIGDIs em comunidades concentradas, treinamento de moradores (incentivando participação feminina). | Atuação em áreas fora do escopo dos programas de universalização do acesso à energia elétrica. | Incentivos legais para MIGDIs e estímulo ao uso de fontes limpas em vez de fósseis. | Rede Energia e Comunidades e contatos com outros projetos. |
| Brazil | WWF | Adaptação da linguagem técnica, manutenção de comunicações dinâmicas, conflitos de uso de energia. | Desenho detalhado do projeto, diálogo intenso com lideranças e órgãos públicos, fornecedores flexíveis. | Necessidade de abordagem diferenciada para regiões remotas, evitar padronizar soluções energéticas sem considerar contexto local, integração entre executor, planejador e consumidor | Diálogo prévio, comunicação clara sobre uso de energia e instrução de manutenção. | Conexão com Luz para Todos e participação em debates e formulação de leis estaduais. | Estudos sobre uso de minirredes, manutenção da isenção de tarifas para baixa renda. | Conselho Nacional de Populações Extrativistas, Rede Energia e Comunidades. |
| | ACT | Acesso difícil, limitações logísticas e climáticas, poucos fornecedores e técnicos; | Relação prévia, planejamento participativo com lideranças, uso de equipamentos de qualidade, capacitação de moradores para manutenção. | Êxito depende de processos comunitários, acompanhamento técnico e respeito às estruturas locais. PP deve priorizar capacidades locais e equipamentos de qualidade com suporte técnico pós instalação. | Processo participativo, capacitação para manutenção, articulação com processos comunitários. | Não houve diálogo formal. | Normas flexíveis para projetos comunitários de pequena escala e regras claras para gestão de resíduos; apoio financeiro para custos logísticos elevados. | Não participou. |
| Colombia | WWF | Custos maiores que o previsto e aumento do consumo com mais horas de serviço. | Diálogo constante com a comunidade e equipe técnica. | Incentivar projetos pequenos e comunitários energéticos, criando incentivos financeiros diferenciados. | Metodologia de caracterização, monitoramento online, acordos comunitários. | Não houve diálogo formal. | Apoio para estruturação de projetos e financiamento adequado. | Não participa de redes. |
| Ecuador | Kara Solar | Expansão de estradas, falta de financiamento de longo prazo, escassez de capacidade técnica local. | Formação técnica comunitária, alianças estratégicas com governos e associações, uso de vínculos locais para superar barreiras. | Comprova viabilidade e efetividade da geração descentralizada e da autonomia energética das comunidades. | Sem restrições de replicação: o mais importante é ter metodologia adaptada ao contexto local; sistemas solares em transporte fluvial com sistema de recarga. | Diálogo com plano multimodal de portos da Província de Pastaza. | Políticas para financiar tecnologias solares de mobilidade na Amazônia; apoio de instituições multilaterais. | Participação em eventos e redes de energia limpa na Amazônia. |
| Peru | ACT | Em alguns locais, presença de grupos hostis. Acesso difícil, limitações logísticas e climáticas, poucos fornecedores e técnicos | Relação prévia, planejamento participativo com lideranças, uso de equipamentos de qualidade, capacitação de moradores para manutenção. | Êxito depende de processos comunitários, acompanhamento técnico e respeito às estruturas locais. PP deve priorizar capacidades locais e equipamentos de qualidade com suporte técnico pós instalação. | Processo participativo, capacitação para manutenção, articulação com processos comunitários. | Não houve diálogo formal. | Normas flexíveis para projetos comunitários de pequena escala e regras claras para gestão de resíduos; apoio financeiro para custos logísticos elevados. | Não participou. |
| | DAR | Logística em áreas remotas, necessidade de integrar saber técnico e local, fortalecimento organizativo. | Alianças com governos e comitês locais, desenho participativo com ampla inclusão social. | Políticas devem reconhecer modelos comunitários e criar mecanismos financeiros diferenciados para a Amazônia. | Integração a cadeias produtivas, uso de energias renováveis na bioeconomia, metodologia participativa. | Articulação com plano de manejo da Reserva Pucacuro e normas regionais de energia limpa. | Inclusão de renováveis descentralizadas na legislação, criação de fundos e incentivos climáticos. | Redes amazônicas, nacionais e internacionais de energias comunitárias. |
| Suriname | WWF | Clima adverso e acesso remoto; transporte difícil. | Planejamento de transporte evitando épocas de mau tempo. | Projetos devem ser adaptados às necessidades locais para garantir autonomia. | Análise de gargalos e barreiras antes da instalação. | Vinculação ao <i>Suriname Villages Micro-grid Solar Project Phase II</i> . | - | Participação em diálogos nacionais sobre energias renováveis e eletrificação de áreas remotas. |

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



6.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS

A Pan-Amazônia apresenta bolsões persistentes de exclusão elétrica em áreas remotas de baixa densidade populacional, sem infraestrutura e com economias de subsistência, mesmo diante de taxas nacionais de cobertura superiores a 91%.

O acesso à energia deve ser tratado como direito fundamental e condição habilitadora de saúde, educação, segurança alimentar e inclusão produtiva, sobretudo em territórios indígenas, quilombolas, ribeirinhos e extrativistas.

Em escala global, o avanço até 2023 (91,7%) é insuficiente para o ODS 7, com desaceleração do ritmo de expansão e déficit concentrado em áreas rurais remotas e populações de baixa renda.

A universalização requer carteiras híbridas de soluções (solar, eólica, biomassa, armazenamento em baterias) articuladas a diferentes modelos de topologia (extensão de rede, minirredes e sistemas *off-grid*), assegurando pelo menos o Nível/Tier 4 para implantação dos sistemas energéticos para viabilizar usos produtivos e serviços essenciais.

Experiências como PERMER (Argentina), LPT (Brasil), PNER (Colômbia e Peru) e FERUM (Equador) evidenciam que arranjos multiagente e descentralizados, apoiados por marcos regulatórios claros e fundos estáveis (FAER/FAZNI/FOES, FERUM, CDE, FISE), garantem maior sustentabilidade, enquanto modelos centralizados, como o SL na Venezuela, mostraram vulnerabilidades.

A literatura científica mostra predominância de análises técnicas (88%), com baixa integração de dimensões sociais, econômicas, ambientais e de gênero. Predominam sistemas solares FV com armazenamento, muitos ainda complementados por diesel (60%). Relatos destacam redução de custos operacionais, substituição de fósseis (gerando mais de USD 200 mil por ano em economia para a comunidade e até 854 tCO₂/ano evitadas) e ganhos socioeconômicos (expansão do tempo de estudo, uso de eletrodomésticos, fortalecimento de cadeias produtivas),

mas também lacunas em financiamento, O&M, transferência tecnológica e participação comunitária.

A análise quantitativa dos projetos-piloto financiados pela Fundação Mott entre 2016 a 2025 mostrou atendimento de 223 comunidades e 90 residências em seis países, beneficiando mais de 70 mil pessoas (42.372 diretas e 28.248 indiretas). Predominou a tecnologia solar FV (86% com baterias), com finalidades de eletrificação comunitária (35%), iluminação residencial (26%), saneamento/bombeamento (13%) e outras (educação, saúde, comunicação, transporte). Impactos socioeconômicos incluem aumento de renda (até US\$ 361/mês em projetos de eletrificação comunitária), melhoria de serviços públicos e redução de trabalho manual (até 50 horas semanais em territórios indígenas). Do ponto de vista ambiental, 99,7% das comunidades reduziram o uso de diesel, sendo 32% com eliminação total. Projetos de transporte solar responderam por mais de 200 mil litros de combustível evitados.

A avaliação qualitativa evidenciou a importância da participação comunitária integral — do diagnóstico à gestão do sistema — como fator de fortalecimento da governança e de apropriação local. Soluções adaptadas a saberes tradicionais ampliaram eficiência e aceitação. Persistem, no entanto, desafios em O&M (baterias, manutenção especializada, financiamento de longo prazo). A inclusão de gênero segue limitada, apenas 15% dos capacitados eram mulheres, com participação ainda menor em territórios indígenas, embora haja maior envolvimento feminino em áreas ribeirinhas e rurais, principalmente na gestão e governança dos sistemas. Boas práticas incluem logística reversa e monitoramento de emissões evitadas.

As conclusões reforçam o valor estratégico dos projetos-piloto como laboratórios de políticas públicas, demonstrando a viabilidade técnica e social da eletrificação descentralizada, ainda que em escala limitada. Esses aprendizados oferecem subsídios fundamentais para o desenho de políticas inclusivas, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis e ajustadas aos contextos locais.

6.2 RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS

Com base nos resultados e conclusões obtidos nos diferentes eixos analisados, é imprescindível que os marcos e programas de política pública de acesso à energia elétrica incorporem de forma explícita a heterogeneidade territorial e cultural da Pan-Amazônia e demais regiões.

Nesse sentido, para orientar esse processo, são propostos sete eixos de recomendações estratégicas voltados ao aprimoramento das políticas de acesso à energia elétrica. A adoção dessas recomendações é fundamental para que a transição para sistemas renováveis assegure não apenas a expansão do acesso, mas também a promoção da equidade social, a conservação ambiental, a garantia de direitos territoriais e o desenvolvimento sustentável da região.

Eixo 1. Política pública de Estado

- Institucionalizar a universalização como política de Estado, com previsibilidade regulatória, metas plurianuais e integração ao planejamento territorial.
- Estruturar carteiras híbridas *least-cost* (rede, minirredes, *off-grid*), garantindo Nível/Tier 4 como patamar mínimo.
- Consolidar governança multiagente descentralizada, com coordenação nacional, execução local e auditorias independentes.

Eixo 2. Regulação e instrumentos

- Criar marcos específicos para microrredes e sistemas isolados, incluindo padrões técnicos, comissionamento, tarifa social e protocolos de O&M.
- Estabelecer padronização contextual (SIGFI/MIGDI e similares), com catálogos de soluções adaptadas por tipologia territorial.
- Tornar obrigatória a participação dos beneficiários em todas as fases, com consentimento livre, prévio e informado em territórios indígenas e demais territórios tradicionais.

Eixo 3. Financiamento e acessibilidade econômica

- Criar fundos estáveis CAPEX + O&M, com regras de desembolso por desempenho e linhas dedicadas à reposição de baterias.

- Adotar instrumentos de *de-risking* (garantias, *blending*, *concessional finance*) para atrair capital privado sem comprometer a função social da eletrificação.
- Estruturar tarifas sociais diferenciadas para comunidades isoladas e estimular cooperativas energéticas e fundos comunitários.

Eixo 4. Operação, manutenção e capacitação

- Implementar planos de ciclo de vida para sistemas, prevendo expansão, manutenção e reposição.
- Garantir capacitação técnica contínua para moradores locais, com foco em mulheres e jovens, assegurando certificação de técnicos comunitários.
- Priorizar tecnologias de maior confiabilidade e menor custo de ciclo de vida, como baterias de lítio.

Eixo 5. Dados, monitoramento e fiscalização

- Criar cadastros georreferenciados e painéis públicos com indicadores técnicos, sociais, econômicos e ambientais.
- Implementar avaliações *ex-ante*, intermediárias e *ex-post*, com métricas de justiça energética e gênero.
- Garantir auditorias independentes para fortalecer transparência e aprendizado.

Eixo 6. Inclusão social e de gênero

- Definir metas claras de participação feminina em funções técnicas e de liderança.
- Criar programas de formação e bolsas específicas para mulheres e jovens em territórios isolados.
- Adaptar desenho tarifário e de serviços às realidades socioeconômicas de grupos vulneráveis.

Eixo 7. Multilateralismo e filantropia

- Alinhar a cooperação internacional a planos nacionais de energia, priorizando inovação, fortalecimento institucional e monitoramento.
- Direcionar a filantropia como laboratório de políticas públicas, para testar soluções, gerar evidências e apoiar a replicação em escala.

REFERÊNCIAS

- Acevedo, Paloma, Felipe Vera, Patricio Zambrano-Barragán, Mariana A. Poskus, Luis Alonso Pastor, Ginnette Azcona, Guadalupe Babio, Fabio Bazzucchi, Luis M. A. Bettencourt, Anni Beukes, Antra Bhatt, Juan Pablo Duharte, Guillem Fortuny, Arabella Fraser, Marie Moland Gaarder, Maitane Iruretagoyena, Leticia Izquierdo, Achilles Kallergis, Kent Larson, Scott Lloyd, Francis Rathinam, Carlo Ratti, Andrés Sevtsuk, Paul Thissen, and Laura Sara Wainer. 2021. *Informando lo informal: estrategias para generar información en asentamientos precarios*. edited by P. Acevedo, F. Vera, P. Zambrano-Barragán, and M. A. Poskus. Inter-American Development Bank.
- Almeshqab, Fatema, and Taha Selim Ustun. 2019. "Lessons Learned from Rural Electrification Initiatives in Developing Countries: Insights for Technical, Social, Financial and Public Policy Aspects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 102(October 2018):35-53. doi: 10.1016/j.rser.2018.11.035.
- Barreto, Rebeca Mascarenhas Fonseca, Paola Cortez Bianchini, Carlaíse Freitas Gomes, Jéssica Héllen Aguiar D Albuquerque, João Vítor Jurema Segundo, and Maria Isabel Pinheiro de Almeida. 2020. "The Clock of the Daily Routine of Women from the Fundo de Pasto Communities in the Backwoods of Bahia: The Feminine Work's Importance in the Family Income." Pp. 1-6 in *Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia*. Vol. 15. São Cristóvão: Cadernos de Agroecologia.
- Bazilian, Morgan, Patrick Nussbaumer, Christine Eibs-Singer, Abeeku Brew-Hammond, Vijay Modi, Benjamin Sovacool, Venkata Ramana, and Peri-Khan Aqrabi. 2012. "Improving Access to Modern Energy Services: Insights from Case Studies." *The Electricity Journal* 25(1):93-114. doi: 10.1016/j.tej.2012.01.007.
- Bhatia, Mikul, and Nicolina Angelou. 2015. *Beyond Connections Energy: Redefining Energy Access*. 008/15. Washington, D.C.
- BID. 2025. "Programa de Electrificación Ruural y Urbano-Marginal Del Ecuador II." *Proyectos*. Retrieved September 24, 2024 (<https://www.iadb.org/es/proyecto/EC-L1128>).
- BNDES. 2022a. "Instrumentos de Financiamento." *Guia Do Financiamento*. Retrieved September 10, 2022 (https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/instrumentos-de-financiamento!/ut/p/z1/tVPLcqMwEPyWHDhiCQS2vDeKckxsUn5g1jGXFA-BtWUkloTZ_P0K7K3Kk9RWarkx9EzPdDcgAg8gYvGZFrGknMUn9X6lXo8L7Lve1IL-3AzG0FlvDORtQ9MNJ2DfA-AnjwNBNNz_E0QgSpms5BEcEpa).
- BNDES. 2022b. "Pronaf." *Financiamento*. Retrieved July 20, 2022 (<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf>).
- Brandão, Pedro Christo, Agostinho Lopes de Souza, Patrick Rousset, Felipe Nogueira Bello Simas, and Bruno Araujo Furtado de Mendonça. 2021. "Forest Biomass as a Viable Pathway for Sustainable Energy Supply in Isolated Villages of Amazonia." *Environmental Development* 37:100609. doi: 10.1016/j.envdev.2020.100609.
- BRASIL. 2020. "Decreto N° 10.221, de 5 de Fevereiro de 2020." 3.
- CEPAL. 2025. "Portal de Datos y Publicaciones Estadísticas." *CEPALSTAT*. Retrieved June 20, 2025 (<https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?theme=1&lang=es>).
- Clairand, Jean-Michel, Xavier Serrano-Guerrero, Andrés González-Zumba, and Guillermo Escrivá-Escrivá. 2022. "TechnoEconomic Assessment of Renewable Energybased Microgrids in the Amazon Remote Communities in Ecuador." *Energy Technology* 10(2). doi: 10.1002/ente.202100746.

REFERÊNCIAS

- Daka, Karen Rajaona, and Jérôme Ballet. 2011. "Children's Education and Home Electrification: A Case Study in Northwestern Madagascar." *Energy Policy* 39(5):2866–74. doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.060.
- Del-Río-Carazo, Laura, Santiago Iglesias-Pradas, Emiliano Acquila-Natale, and José Gabriel Martín-Fernández. 2021. "Appropriate Technology for Access to Universal Basic Services: A Case Study on Basic Electricity Service Provision to Remote Communities in the Napo River Basin." *Sustainability* 14(1):132. doi: 10.3390/su14010132.
- Domenech, Bruno, Laia Ferrer-Martí, Facundo García, Georgina Hidalgo, Rafael Pastor, and Antonin Ponsich. 2022. "Optimizing PV Microgrid Isolated Electrification Projects—A Case Study in Ecuador." *Mathematics* 10(8):1226. doi: 10.3390/math10081226.
- Duarte, A. R., U. H. Bezerra, M. E. D. Tostes, A. M. Duarte, and G. N. da Rocha. 2010. "A Proposal of Electrical Power Supply to Brazilian Amazon Remote Communities." *BIOMASS & BIOENERGY* 34(9):1314–20. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.04.004.
- ESMAP. 2014. *A New Multi-Tier Approach to Measuring Energy Access*. Washington, D.C.
- ESMAP. 2022a. "ESMAP at a Glance." *Who We Are*. Retrieved June 18, 2025 (https://www.esmap.org/ESMAP_At_A_Glance).
- ESMAP. 2022b. "Providing Modern Off-Grid Solar Solutions to Increase Access to Sustainable Electricity." *Off-Grid Solar/Lighting Global Program | Program Profile*. Retrieved June 20, 2025 (https://www.esmap.org/esmap_Off-Grid_Solar_Lighting_Global_Pogram_Profile).
- ESMAP. 2022c. "Using Geospatial Planning to Improve Access to Electricity Livelihoods." *Integrated Electrification Strategies and Planning | Program Profile*. Retrieved June 20, 2025 (https://www.esmap.org/esmap_Integrated_Electrification_Strategies_Planning_Program_Profile).
- ESMAP. 2025. *Integrated Electrification Strategies and Planning*. Washington DC.
- Espinoza, Juan Leonardo, José Jara-Alvear, and Luis Urdiales Flores. 2018. "Sustainability of Renewable Energy Projects in the Amazonian Region." Pp. 107–39 in *Sustainable Energy Mix in Fragile Environments, Social and Ecological Interactions in the Galapagos Islands*, edited by M.–E. Tyler. Cham: Springer Nature.
- Ferreira, André Luis, Fabio Galdino, Isis Nóbile Diniz, Ricardo Lacerda Baitelo, and Vinícius Oliveira da Silva. 2023. *Fotovoltaicos Na Amazônia Legal: Avaliação e Proposição de Políticas Públicas de Universalização de Energia Elétrica e Logística Reversa*. Maio de 2023. São Paulo. doi: 10.13140/RG.2.2.17064.65287.
- Ferreira, André Luís, and Felipe Barcellos e Silva. 2021. "Universalização Do Acesso Ao Serviço Público de Energia Elétrica No Brasil: Evolução Recente e Desafios Para a Amazônia Legal." *Revista Brasileira de Energia* 27(3):135–54. doi: 10.47168/rbe.v27i3.645.
- FIDA. 2020. *Cadernetas Agroecológicas e as Mulheres Do Semiárido de Mãos Dadas Fortalecendo a Agroecologia: Resultados Do Uso Das Cadernetas Nos Projetos Apoiados Pelo FIDA No Brasil de Agosto de 2019 a Fevereiro de 2020*. Salvador.
- Fonseca, Juan D., Jean-Marc Commenge, Mauricio Camargo, Laurent Falk, and Ivan D. Gil. 2021. "Optimal Design of Energy Systems in Isolated Zones Using Sustainability Indicators. A Case Study in the Colombian Amazon." Pp. 75–82 in *2021 9th International Conference on Systems and Control (ICSC)*. IEEE.

REFERÊNCIAS

- Fressoli, Mariano, Santiago Garrido, Facundo Picabea, Alberto Lalouf, and Valeria Fenoglio. 2013. "Cuando Las Transferencias Tecnológicas Fracasan. Aprendizajes y Limitaciones En La Construcción de Tecnologías Para La Inclusión Social." *Universitas Humanística* 76(julio-diciembre):73-95.
- Furtado, Celso. 1957. *Formação Econômica Do Brasil*. 27th ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Guignard, Nathan, Christian Cristofari, Vincent Debusschere, Lauric Garbuio, and Tina Le Mao. 2022. "Micro Pumped Hydro Energy Storage: Sketching a Sustainable Hybrid Solution for Colombian Off-Grid Communities." *Sustainability* 14(24):16734. doi: 10.3390/su142416734.
- HAMPL, Nora. 2024. "Energy Systems for Brazil's Amazon: Could Renewable Energy Improve Indigenous Livelihoods and Save Forest Ecosystems?" *Energy Research & Social Science* 112(February):103491. doi: 10.1016/j.erss.2024.103491.
- IADB. 2018. *Public Sector Financing: Lending Instruments*. Washington, D. C. doi: 10.18235/0001321.
- IEA. 2022. "Inclusive Recovery Plan — Electricity Subsidies (Energy Emergency and Stabilisation Fund)." *Policies*. Retrieved September 4, 2025 (<https://www.iea.org/policies/16176-inclusive-recovery-plan-electricity-subsidies-energy-emergency-and-stabilisation-fund>).
- IEA. 2023. "Peru's Social Inclusion Fund." *Policies*. Retrieved August 12, 2025 (<https://www.iea.org/policies/17766-perus-social-inclusion-fund>).
- IEA. 2024a. "Energy Access Fund." *Policies*. Retrieved September 3, 2025 (<https://www.iea.org/policies/20134-energy-access-fund>).
- IEA. 2024b. "Interconnected Rural Areas Electrification Support Fund." *Policies*. Retrieved July 18, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19511-interconnected-rural-areas-electrification-support-fund>).
- IEA. 2024c. "Proyecto de Energia Renovable En El Mercado Electrico Rural (PERMER)." *Policies*. Retrieved April 12, 2025 (<https://www.iea.org/policies/4014-proyecto-de-energia-renovable-en-el-mercado-electrico-rural-permer>).
- IEA. 2025a. "Access to Electricity." *SDG7: Data and Projections*. Retrieved June 17, 2025 (<https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>).
- IEA. 2025b. "Development of Energy Foresight and Planning." *Policies*. Retrieved August 29, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19921-development-of-energy-foresight-and-planning>).
- IEA. 2025c. "Ecuador — Network for the Improvement of Electric Power Distribution Systems (National Budget)." *Policies*. Retrieved August 23, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19918-ecuador-network-for-the-improvement-of-electric-power-distribution-systems-national-budget>).
- IEA. 2025d. "Fund for the Electrification of Non-Interconnected Areas." *Policies*. Retrieved July 18, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19508-fund-for-the-electrification-of-non-interconnected-areas>).
- IEA. 2025e. "National Plan for Rural Electrification 2024-2033." *Policies*. Retrieved July 12, 2025 (<https://www.iea.org/policies/25790-national-plan-for-rural-electrification-2024-2033>).
- IEA. 2025f. "Rural and Social Electrification Programme." *Policies*. Retrieved September 4, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19619-rural-and-social-electrification-programme>).

REFERÊNCIAS

- IEA. 2025g. "Social Energy Fund." *Policies*. Retrieved July 19, 2025 (<https://www.iea.org/policies/19509-social-energy-fund>).
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, and WHO. 2025. *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. Washington DC.
- IEI. 2022. *Universalização Do Acesso à Eletricidade No Brasil: Avaliação Dos SIGFIs e MIGDIs*. International Energy Initiative Brasil.
- IEMA. 2019. *Xingu Indigenous Territory Clean Energy Project: How Renewable Energy Can Benefit the Indigenous Territory of Xingu*. São Paulo.
- IEMA. 2020. *Exclusão Elétrica Na Amazônia Legal: Quem Ainda Está Sem Acesso à Energia Elétrica?* São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA).
- IEMA. 2023. *Sistemas Fotovoltaicos Na Amazônia Legal: Avaliação e Proposição de Políticas Públicas de Universalização de Energia Elétrica e Logística Reversa*. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA).
- IPCC. 2006. "Chapter 2: Stationary Combustion." P. 47 in *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Paris, France.
- Izana Ribeiro, Rodolfo Gomes, and Eduardo Avila. 2024. *Geração Distribuída de Interesse Social (GDIS)*. Campinas.
- Leduchowicz-Municio, A., B. Domenech, L. Ferrer-Martí, M. E. M. Udaeta, and A. L. V. Gimenes. 2023. "Women, Equality, and Energy Access: Emerging Lessons for Last-Mile Rural Electrification in Brazil." *Energy Research & Social Science* 102(June):103181. doi: 10.1016/j.erss.2023.103181.
- Leduchowicz-Municio, A., A. López-González, B. Domenech, L. Ferrer-Martí, M. E. M. Udaeta, and A. L. V. Gimenes. 2022. "Last-Mile Rural Electrification: Lessons Learned from Universalization Programs in Brazil and Venezuela." *Energy Policy* 167:113080. doi: 10.1016/j.enpol.2022.113080.
- Lembi, Rafael, Maria Claudia Lopez, Karina Ninni Ramos, Igor Cavallini Johansen, Lázaro João Santana da Silva, Manoel Roberval Pimentel Santos, Gabriel Yúri Campos Lacerda, Gisele Souza Neuls, and Emilio Moran. 2025. "Towards Energy Justice and Energy Sovereignty: Participatory Co-Design of off-Grid Systems in the Brazilian Amazon." *Energy Research & Social Science* 119(November 2024):103858. doi: 10.1016/j.erss.2024.103858.
- Lillo, Pau, Laia Ferrer-Martí, Alejandra Boni, and Álvaro Fernández-Baldor. 2015. "Assessing Management Models for Off-Grid Renewable Energy Electrification Projects Using the Human Development Approach: Case Study in Peru." *Energy for Sustainable Development* 25:17-26. doi: 10.1016/j.esd.2014.11.003.
- Lillo, Pau, Laia Ferrer-Martí, and Marc Juanpera. 2021. "Strengthening the Sustainability of Rural Electrification Projects: Renewable Energy, Management Models and Energy Transitions in Peru, Ecuador and Bolivia." *Energy Research & Social Science* 80:102222. doi: 10.1016/j.erss.2021.102222.
- López-González, A., L. Ferrer-Martí, and B. Domenech. 2019. "Sustainable Rural Electrification Planning in Developing Countries: A Proposal for Electrification of Isolated Communities of Venezuela." *Energy Policy* 129(October 2017):327-38. doi: 10.1016/j.enpol.2019.02.041.
- da Luz, Thiago, Clodomiro Vila, and Flavio Ferreira. 2023. "New Benders Decomposition and Rolling Horizon Optimisation Approaches to Design Isolated Microgrids for Amazon Region." *Electric Power Systems Research* 221:109447. doi: 10.1016/j.epsr.2023.109447.

REFERÊNCIAS

- Mazzone, Antonella. 2019. "Decentralised Energy Systems and Sustainable Livelihoods, What Are the Links? Evidence from Two Isolated Villages of the Brazilian Amazon." *Energy and Buildings* 186:138–46. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.01.027.
- Mazzone, Antonella. 2020. "Energy Transition in Isolated Communities of the Brazilian Amazon." Pp. 319–30 in *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions*. Elsevier.
- MEM. 2015. "Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM)." *E Nuevo Ecuador*. Retrieved September 29, 2025 (<https://www.recursoyenergia.gob.ec/fondo-de-electrificacion-rural-y-urbano-marginal-ferum/>).
- MEM. 2023a. *Electrificación Rural y Urbano Marginal Ferum Integrado: Ficha Informativa de Proyecto 2023*. Bogotá.
- MEM. 2023b. *Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER)*. Lima.
- Minergía. 2018. *Plan Nacional de Electrificación Rural PNER 2018–2031*. Bogotá.
- Minergía. 2023. *Plan Nacional de Electrificación Rural. Actualización 2023*. Bogotá.
- Minergía. 2025a. "Fondo De Apoyo Financiero Para La Energización De Las Zonas Rurales Interconectadas — FAER." *Fondos Especiales*. Retrieved August 10, 2025 (<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/fondos-especiales/fondo-de-apoyo-financiero-para-la-energizacion-de-las-zonas-rurales-interconectadas-faer/>).
- Minergía. 2025b. "Sección 2 — Fondo de Apoyo Financiero Para La Energización de Las Zonas No Interconectadas — FAZNI." *Normativa*. Retrieved August 10, 2025 (<https://www.minenergia.gov.co/es/repositorio-normativo/normativa/fazni/>).
- Ministerio de Energía. 2021. *Acceso Equitativo a La Energía Sostenible: Políticas Públicas Para Combatir La Pobreza Energética En Chile*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Energía. 2024. "Fondo de Acceso a La Energía (FAE)." *Chile Atiende*. Retrieved September 4, 2025 (<https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/36666-fondo-de-acceso-a-la-energia-fae>).
- MME. 2023. "Programas Luz Para Todos e Mais Luz Para a Amazônia."
- MME. 2024. "Programa Nacional de Universalização Do Acesso e Uso Da Energia Elétrica: Manual de Operacionalização Do Programa Luz Para Todos." 45.
- MPPEE. 2013. *Plan de Desarrollo Del Sistema Eléctrico Nacional de Venezuela 2012–2019 (PDSEN)*.
- Murray, Una. 2019. *Gender Responsive Indicators: Gender and NDC Planning for Implementation*. edited by N. Tuncok, K. Davis, and V. Chao. New York: United Nations Development Programme (UNDP).
- Nelson, Sibyl, and Anne T. Kuriakose. 2017. *Gender and Renewable Energy: Entry Points for Women's Livelihoods and Employment*. Washington, D. C.
- ONU. 2023. "Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 — Energia Limpa e Acessível."
- Orlando, Maria Beatriz, Vanessa Lopes Janik, Pranav Vaidya, Nicolina Angelou, Ieva Zumbyte, and Norma Adams. 2018. *Getting to Gender Equality in Energy Infrastructure. Lessons from Electricity Generation, Transmission, and Distribution Projects*. 012/18. Washington, D.C.

REFERÊNCIAS

- Pena, Allan, Pedro Guedes, Francisco Malheiros, Felipe Monteiro, Werbeston Oliveira, Márcio Oliveira, Gilmar Paixão, Moisés Sousa, Geraldo Maranhão, Alcides Júnior, André Oliveira, Davi François, Mary Parmentier, Marcelino Guedes, and Alaan Brito. 2025. "A Solar Photovoltaic System Applied to Açai Production and the Development of Riverside Communities in the Amazon." *Sustainability* 17(6):2447. doi: 10.3390/su17062447.
- PERMER. 2015. *Proyecto de Energías Renovables En Mercados Rurales*. Buenos Aires.
- Pinheiro, Giorgiana, Gonçalo Rendeiro, João Pinho, and Emanuel Macedo. 2012. "Sustainable Management Model for Rural Electrification: Case Study Based on Biomass Solid Waste Considering the Brazilian Regulation Policy." *Renewable Energy* 37(1):379–86. doi: 10.1016/j.renene.2011.07.004.
- REC. 2025a. *Contribuição Da Rede Energia & Comunidades Ao Encontro de Monitoramento Do Programa Luz Para Todos No Xingu*. São Paulo.
- REC. 2025b. *Contribuição Da Rede Energia e Comunidades Ao Encontro de Monitoramento Do Programa Luz Para Todos Em Comunidades Quilombolas de Abaetetuba (PA)*. São Paulo.
- Rede Energia & Comunidades, IEMA, ISA, IEI-Brasil, ID Global, IDEC, and WWF-Brasil. 2025. *Contribuição Da Rede Energia & Comunidades Ao Encontro de Monitoramento Do Programa Luz Para Todos No Xingu*. Querência.
- Rezk, H., M. Al-Dhaifallah, Y. B. Hassan, and H. A. Ziedan. 2020. "Optimization and Energy Management of Hybrid Photovoltaic-Diesel-Battery System to Pump and Desalinate Water at Isolated Regions." *IEEE ACCESS* 8:102512–29. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2998720.
- Rodrigues, J. P., P. A. Z. Suarez, G. F. Ghesti, O. K. Iha, I. B. Reis, and R. R. Lavich. 2021. "Case Study: Plant Design to Obtain a Diesel-like Fuel from Soybean Oil Cracking for Decentralised Energy Generation to Brazilian Isolated Communities." *International Journal of Sustainable Engineering* 14(6):1800–1808. doi: 10.1080/19397038.2021.1966122.
- Rodriguez, Mauricio, Diego Arcos-Aviles, and Francesc Guinjoan. 2024. "Simple Fuzzy Logic-Based Energy Management for Power Exchange in Isolated Multi-Microgrid Systems: A Case Study in a Remote Community in the Amazon Region of Ecuador." *Applied Energy* 357:122522. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.122522.
- Silva, S., M. Severino, and M. de Oliveira. 2013. "A Stand-Alone Hybrid Photovoltaic, Fuel Cell and Battery System: A Case Study of Tocantins, Brazil." *Renewable Energy* 57:384–89. doi: 10.1016/j.renene.2013.02.004.
- Silva, Vinícius Oliveira da. 2022. "Como Inserir Recursos Energéticos Importados No Planejamento Energético Nacional? Modelo de Determinação de Recursos Energéticos Para a Integração Energética Transnacional." Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Silva, Vinicius Oliveira da, Stefania Gomes Relva, Miguel Edgar Molares Udaeta, André Luiz Veiga Gimenes, and Drielli Peyerl. 2021. "Challenges and Uncertainties of Sustainable Development in Electrical Planning: A Brazilian Approach." *ENERLAC. Revista de Energía de Latinoamérica y El Caribe* 5(1):50–75.
- Silva, Vinícius Oliveira da, Fabio Galdino dos Santos, Isis Nóbile Diniz, Ricardo Lacerda Baitelo, and André Luis Ferreira. 2024. "Photovoltaic Systems, Costs, and Electrical and Electronic Waste in the Legal Amazon: An Evaluation of the Luz Para Todos Program." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 203(November 2023):114721. doi: 10.1016/j.rser.2024.114721.

REFERÊNCIAS

- Spalding–Fecher, Randall. 2005. “Health Benefits of Electrification in Developing Countries: A Quantitative Assessment in South Africa.” *Energy for Sustainable Development* 9(1):53–62. doi: 10.1016/S0973–0826(08)60482–2.
- The World Bank. 2025a. “Classification of Fragile and Conflict–Affected Situations.” *Fragility, Conflict and Violence*. Retrieved August 21, 2024 (<https://www.worldbank.org/en/topic/fragilityconflictviolence/brief/harmonized-list-of-fragile-situations>).
- The World Bank. 2025b. “Financing.” *Products and Services*. Retrieved July 20, 2025 (<https://www.worldbank.org/en/what-we-do/products-and-services/financing-instruments>).
- The World Bank. 2025c. “The World Bank Data.” *Indicators*. Retrieved July 12, 2025 (<https://data.worldbank.org/country/brazil?view=chart>).
- Udaeta, Miguel Edgar Morales. 1997. “Planejamento Integrado de Recursos Energéticos — PIR — Para o Setor Elétrico (Pensando o Desenvolvimento Sustentável).” Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Udaeta, Miguel Edgar Morales. 2012. “Novos Instrumentos de Planejamento Energético e o Desenvolvimento Sustentável — Planejamento Integrado de Recursos Energéticos Na USP.” Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Udaeta, Miguel Edgar Morales, Luiz Claudio Ribeiro Galvão, Pascoal Henrique da Costa Rigolin, and Jonathas Luiz de Oliveira Bernal. 2016. “Full Assessment Energy–Sources for Inclusive Energy–Resources Planning.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66:190–206. doi: 10.1016/j.rser.2016.07.008.
- Udaeta, Miguel Edgar Morales, Flavio Minoru Maruyama, Andre Luiz Veiga Gimenes, and Luiz Claudio Ribeiro Galvao. 2015. “Integrated Energy Resources Planning for the Electricity Sector: Targeting Sustainable Development.” *IEEE Technology and Society Magazine* 34(1):31–38. doi: 10.1109/MTS.2015.2396112.
- UN Women. 2022. *Gender Analysis in Technical Areas: Energy Infrastructure*. New York.
- UNFCCC. 2020. “The Paris Agreement and NDCs.” *Nationally Determined Contributions (NDCs)*. Retrieved ([https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs#:~:text=NDCs embody efforts by each,that it intends to achieve.](https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs#:~:text=NDCs%20embody%20efforts%20by%20each,that%20it%20intends%20to%20achieve.)).
- Valer, L. Roberto, André Mocelin, Roberto Zilles, Edila Moura, and A. Claudeise S. Nascimento. 2014. “Assessment of Socioeconomic Impacts of Access to Electricity in Brazilian Amazon: Case Study in Two Communities in Mamirauá Reserve.” *Energy for Sustainable Development* 20:58–65. doi: 10.1016/j.esd.2014.03.002.
- Viteri, Juan Pablo, Felipe Henao, Judith Cherni, and Isaac Dyer. 2019. “Optimizing the Insertion of Renewable Energy in the Off–Grid Regions of Colombia.” *Journal of Cleaner Production* 235:535–48. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.327.
- WB. 2014. *Brazil — World Bank Country Survey 2013*. Washington.
- WOS. 2020. “Web of Science.” Retrieved (https://apps.webofknowledge.com/WOS_AdvancedSearch_input.do?product=WOS&SID=7EYMmfKbkyXSoaBPBkG&search_mode=AdvancedSearch).
- WWF. 2022. *Energia Solar Em Comunidades Isoladas: Estudo de Caso de Minirrede Híbrida Em RESEX No Sul Do Amazonas*. Brasília: WWF–Brasil.
- WWF. 2024. “Inside the Amazon.” *About the Amazon*. Retrieved March 13, 2024 (https://wwf.panda.org/discover/knowledge_hub/where_we_work/amazon/about_the_amazon/).

ANEXO 1

Tabela 33. Matriz multinível completa para medir o acesso ao fornecimento de energia elétrica.

| Atributos | | Nível 0 | Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Nível 4 | Nível 5 |
|------------------------------|--|-----------------------------------|--|---|---|---|--|
| 1. Capacidade de pico | Classificação da capacidade de potência (em W ou Wh/dia) | Sem energia | Mín. 3 W | Mín. 50 W | Mín. 200 W | Mín. 800 W | Mín. 2 kW |
| | | | Mín. 12 Wh | Mín. 200 Wh | Mín. 1,0 kWh | Mín. 3,4 kWh | Mín. 8,2 kWh |
| | Ou serviços | | Iluminação de 1.000 lúmen-hora/dia (lmh/dia) | Iluminação, ventilação, televisão e carregamento de celulares disponíveis | | | |
| 2. Disponibilidade (duração) | Horas por dia | <4h | Mín. 4 h | Mín. 4 h | Mín. 8 h | Mín. 16 h | Mín. 23 h |
| | Horas por noite | | Mín. 1 h | Mín. 2 h | Mín. 3 h | Mín. 4 h | Mín. 4 h |
| 3. Confiabilidade | | Interrupções não programadas | | | | Máx. 14 interrupções por semana | Máx. 3 interrupções por semana com duração total inferior a 2h |
| 4. Qualidade | | Baixa qualidade | | | | problemas de tensão não afetam o uso dos eletrodomésticos desejados | |
| 5. Acessibilidade econômica | | Não acessível economicamente | | | Custo de um pacote padrão de consumo de 365 kWh/ano inferior a 5% da renda familiar | | |
| 6. Legalidade | | Não legal / em situação irregular | | | | Conta é paga à concessionária, ao vendedor de cartão pré-pago ou a representante autorizado | |
| 7. Saúde e segurança | | Não conveniente | | | | Ausência de acidentes passados e percepção de baixo risco futuro | |


Fonte: adaptado de ESMAP (2014) e Bhatia e Angelou (2015).


ANEXO 2


A coleta de dados quantitativos dos projetos-piloto de acesso à energia elétrica desenvolvidos na w Pan-Amazônia por organizações da sociedade civil foi estruturada em seis eixos: ambiental, econômico, geográfico, organizacional, social e técnico. A estrutura foi adaptada para o uso de planilhas eletrônicas e organizada conforme ilustra a **Figura 44**.


ORIENTAÇÕES GERAIS
As planilhas estão divididas em seis áreas principais:


Organizacional



Geográfico


Técnico



Econômico


Social



Ambiental




Você encontrará uma estrutura que permite inserir dados em linhas correspondentes a campos específicos. Sugere-se que o preenchimento seja feito por comunidade. Se a organização implantou projetos pilotos em 5 comunidades, sugere-se que as tabelas tenham 5 linhas. Identifique cada comunidade por um número sequencial (e.g começando por 1), no campo de nome ID.



Há validação de dados nas células. Limite-se a inserir informações adequadas ao tipo de dado requerido. Por exemplo, no seguinte campo Potência instalada (kWp), só é permitido inserir valores numéricos, que representam a potência instalada dos sistemas em uma comunidade.



Em caso de dúvidas, envie um email para fabio@energiaeambiente.org.br

Figura 44. Página de orientações do questionário quantitativo

A seguir, as perguntas utilizadas em cada dimensão são apresentadas em estruturas de tópicos.

Ambiental

- Houve substituição de fonte fóssil de energia?
- Que tipo de combustível fóssil ainda é utilizado?
- Uso evitado de combustíveis fósseis (litros)?
- Houve implantação de mecanismo de gestão de resíduos sólidos gerados pela intervenção?
- Houve orientação aos beneficiários sobre o manejo de resíduos sólidos?
- Área de uso do solo alterada para a implantação da intervenção (m²)?
- Houve remoção de vegetação nativa?
- Se sim, houve replantio?
- Área replantada (m²)?

Econômico

- Investimento total (\$)?
- Despesas de operação e manutenção (\$)?
- Tempo de retorno do investimento (anos)?
- Custo Nivelado de Energia (\$/MWh)?
- Custo de transporte dos sistemas (\$)?

- Custo com a contratação de mão de obra (\$)?
- Existe cobrança pelo uso da energia elétrica instalada?
- Quem recebe o pagamento da tarifa?
- Valor da tarifa de energia residencial/comunitária (\$/mês)?
- Estimativa de custo evitado com alternativas fósseis (\$)?
- Custo por beneficiário (\$)?

Geográfico

- Nome da comunidade/povoado/aldeia?
- Nome do território?
- Tipo de território?
- Município?
- Estado/província?
- País?
- Longitude?
- Organizacional
- Nome da organização?

ANEXO 2

- Data de início do financiamento?
- Data de término do financiamento?
- Ano execução do projeto-piloto?
- Duração da execução do projeto-piloto (em meses)?
- Projeto financiado integralmente pela Mott Foundation?
- Descrição breve do projeto.

Social

- Número de pessoas diretamente beneficiadas?
- Número de pessoas indiretamente beneficiadas?
- Quantidade de pessoas capacitadas para instalar, operar e fazer a manutenção dos sistemas?
- Quantidade de mulheres capacitadas para instalar, operar e fazer a manutenção do projeto?
- Quantidade de beneficiários incluídos na instalação, operação e manutenção do projeto do projeto?
- Quantidade de mulheres incluídas na instalação, operação e manutenção do projeto?
- Quantidade de mulheres com função de responsabilidade sobre o projeto?
- Impacto da intervenção na renda dos beneficiários (\$/mês)?
- Número de pessoas que acessaram educação devido ao projeto?

- Número de pessoas que acessaram serviços de saúde devido ao projeto?
- Número de pessoas que acessaram serviços de comunicação devido ao projeto?
- Tempo médio de redução de trabalho manual devido ao projeto (horas)?
- Qual é a atividade principal de geração de renda na comunidade?
- Descrevas as atividades produtivas de subsistência desenvolvidas na comunidade.
- Descreva os aparelhos movidos à energia elétrica adquiridos após o projeto.

Técnico

- Finalidade do projeto?
- Mais de uma finalidade? Descreva.
- Fonte de energia?
- Mais de uma fonte? Descreva.
- Tipo de sistema?
- Potência instalada total (kWp)?
- Energia produzida anualmente (MWh/ano)?
- Vida útil média do sistema (anos)?
- Utiliza sistema de armazenamento de energia?
- Tipo de sistema de armazenamento?
- Se seguiu normas técnicas de instalação, descreva.

ANEXO 3

APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO SOCIOTÉCNICO – VERSÃO EM PORTUGUÊS

Este questionário tem como objetivo reunir informações detalhadas e sistematizadas sobre experiências de acesso à energia elétrica em comunidades rurais, tradicionais e isoladas da Amazônia Legal. Ele é **direcionado a organizações que implementaram projetos-piloto ou iniciativas permanentes** utilizando soluções baseadas em fontes renováveis de energia.

A estrutura do questionário está organizada em **dez eixos temáticos**, a fim de capturar os diversos aspectos técnico-operacionais, sociais, ambientais e institucionais que compõem a complexidade da implantação de sistemas energéticos em territórios amazônicos

1. **Diagnóstico, motivação e marco institucional**
2. **Planejamento participativo e coconcepção (co-design)**
3. **Justiça energética e inclusão social**
4. **Tecnologia e implementação técnica**
5. **Operação, manutenção e capacitação**
6. **Financiamento e sustentabilidade econômica**
7. **Resultados e impactos**
8. **Sustentabilidade ambiental**
9. **Governança e gestão comunitária**
10. **Aprendizados e recomendações para políticas públicas**

As perguntas são abertas e o preenchimento é textual pode ser feito por equipe técnica das organizações executoras e prevê respostas abertas e descritivas, com foco na documentação de boas práticas, lições aprendidas, dificuldades enfrentadas, soluções encontradas e recomendações futuras.

Nota: Ao final deste questionário completo, está incluído um questionário simplificado voltado a atores-chave, com foco na coleta de sugestões de governança, capacitação local, opções tecnológicas e aperfeiçoamento das políticas públicas de acesso à energia em áreas remotas. É facultativo o preenchimento do questionário simplificado.

1. Diagnóstico, Motivação e Marco Institucional

- 1.1 Qual era a situação das comunidades antes dos projetos quanto ao acesso à energia?
- 1.2 Quais necessidades sociais, econômicas ou ambientais motivaram as iniciativas?
- 1.3 Quem participou dos diagnósticos iniciais? As comunidades foram consultadas?
- 1.4 Quais leis, normas ou regras influenciaram os projetos (positiva ou negativamente)?
- 1.5 Houve apoio ou articulação com órgãos públicos? Quais?
- 1.6 Houve processos de licenciamento e financiamento? Se sim, quais entraves foram enfrentados?
- 1.7 A regulação atual do país favorece projetos comunitários? O que deveria mudar?

2. Planejamento Participativo e Coconcepção (Co-design)

- 2.1 As comunidades participaram do planejamento e do desenho dos sistemas? Como?
- 2.2 Foram realizados mapeamentos, oficinas ou dinâmicas participativas? Quais resultados trouxeram?
- 2.3 Que ferramentas de coconcepção foram utilizadas (mapas, questionários etc.)?
- 2.4 Os saberes locais foram incorporados aos projetos técnicos? Ilustrar alguns exemplos de como esses saberes foram considerados e incorporados.
- 2.5 As prioridades locais foram incorporadas aos projetos técnicos (iluminação, comunicação, saúde, educação, transporte etc.)? Ilustrar alguns exemplos de como essas prioridades foram atendidas.
- 2.6 As decisões sobre tarifas, gestão e manutenção foram tomadas de forma participativa?
- 2.7 As comunidades têm autonomia para sugerir mudanças ou ampliar os sistemas?

3. Justiça Energética e Inclusão Social

- 3.1 Os projetos buscaram corrigir desigualdades históricas de acesso à energia?
- 3.2 Quais grupos sociais foram priorizados (ex.: indígenas, quilombolas, ribeirinhos)?
- 3.3 As iniciativas contribuíram para reparar falhas de experiências anteriores?
- 3.4 Os projetos fortaleceram a identidade, organização ou autonomia das comunidades envolvidas?
- 3.5 Houve mudanças na distribuição de poder local após o acesso à energia?

ANEXO 3

4. Tecnologia e Implementação Técnica

- 4.1 Por que as tecnologias utilizadas (solar, eólica, hídrica, híbrida) foram escolhidas?
- 4.2 Os sistemas foram adaptados aos contextos locais (clima, logística, mão de obra)?
- 4.3 As comunidades participaram da escolha ou compreenderam o funcionamento das tecnologias?
- 4.4 Que dificuldades técnicas foram enfrentadas e como foram resolvidas?
- 4.5 Há possibilidade de ampliação dos sistemas com outras tecnologias (biomassa, turbina fluvial etc.)?

5. Operação, Manutenção e Capacitação

- 5.1 Quem é responsável atualmente pela operação e manutenção dos sistemas?
- 5.2 Houve capacitação técnica local? Como foi realizada?
- 5.3 Os sistemas têm funcionado de forma regular? Quais falhas ocorreram e como foram solucionadas?
- 5.4 As comunidades têm capacidade técnica autônoma para manter os sistemas?

6. Financiamento e Sustentabilidade Econômica

- 6.1 Quais fontes de financiamento foram utilizadas (público, privado, doações, tarifas)?
- 6.2 O modelo econômico adotado é sustentável a longo prazo?
- 6.3 Existem tarifas locais ou contribuições comunitárias? Como são definidas? Como são pagas? Como são gerenciadas?
- 6.4 Como são tratadas a inadimplência (quando houver cobrança) e os custos de manutenção (como são pagos)?
- 6.5 As experiências utilizaram modelos como cooperativas, consórcios ou comunidades energéticas?

7. Resultados e Impactos

- 7.1 Quais serviços públicos foram beneficiados (saúde, educação, comunicação, saneamento, transporte, outros)?
- 7.2 Os sistemas contribuíram para a criação de novas atividades econômicas? Houve aumento de produção, renda ou valor agregado? Em que setores?
- 7.3 A energia influenciou o cotidiano de mulheres, jovens ou grupos vulneráveis? Houve redução do tempo dedicado a tarefas manuais e domésticas?

- 7.4 Os projetos contribuíram para reduzir as vulnerabilidades econômicas?
- 7.5 Os projetos fortaleceram cadeias produtivas locais? Houve integração com agricultura, pesca, bioeconomia ou turismo?

8. Sustentabilidade Ambiental

- 8.1 Os projetos adotaram práticas de gestão de resíduos (baterias, painéis, embalagens)?
- 8.2 Qual o processo e destino final desses resíduos?
- 8.3 Houve impactos ambientais significativos (positivos ou negativos)?
- 8.4 Existem mecanismos de monitoramento ambiental ou de emissões evitadas?

9. Governança e Gestão Comunitária

- 9.1 Qual é o modelo de gestão adotado para os sistemas (individual, comitê, associação, cooperativa)?
- 9.2 As regras de uso, tarifas, manutenção e resolução de conflitos foram definidas com participação comunitária? Elas são claras?
- 9.3 Como são tomadas as decisões em caso de problemas ou necessidade de mudanças? As comunidades se sentem responsáveis e com autonomia sobre os sistemas?

10. Aprendizados e Recomendações para Políticas Públicas

- 10.1 Quais foram os principais desafios enfrentados na implementação dos projetos?
- 10.2 Que estratégias foram eficazes para superar limitações técnicas, logísticas ou institucionais?
- 10.3 Que lições os projetos oferecem para a formulação de políticas públicas de energia?
- 10.4 Quais elementos das experiências podem ser replicados em outras comunidades?
- 10.5 Os projetos dialogaram com programas públicos existentes no país ou na região? Caso existam políticas públicas nacionais ou subnacionais relacionadas ao acesso à energia, informe o nome e, se possível, o link de acesso.
- 10.6 Que ajustes legais ou financeiros seriam necessários para ampliar esse tipo de iniciativa? As organizações envolvidas participam de redes de troca de experiências com outras iniciativas?



Rua Artur de Azevedo, 1212, 9º andar, sala 91,
Pinheiros, São Paulo (SP), CEP 05404-003 | Telefone: +55 (11) 3476-2850
energiaeambiente@energiaeambiente.org.br
energiaeambiente.org.br