2025

Projeto

ESTUDOS E PESQUISAS APLICADAS DE AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SERPRO

Produto 2

Anexo 2 – *Regional Curitiba (CTA)*

Brasília, Outubro de 2025

ambiental
PESQUISAS E PROJETOS

PROJETO - ESTUDOS E PESQUISAS APLICADAS DE AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SERPRO

Contrato: CONTRATO ORIGINAL - nº SERPRO-PPT-2025/00010

Anexo 2 – Regional Curitiba (CTA)



Brasília/DF
2025

Sumário

1. Descrição da Unidade 2
2. Soluções Analisadas 4
3. Dimensionamentos 8
   3.1. Sistemas Fotovoltaicos e de Armazenamento de Energia 8
   3.2. Parâmetros urbanísticos e adequações de infraestrutura civíl (extra) 12
4. Análises Econômico-Energéticas 15
   4.1. Premissas 15
   4.2. Resultados 16
5. Análises Econômico-Financeiras Institucionais 19
   5.1. Premissas 19
   5.2. Resultados 21
6. Considerações Finais e Recomendações 25

1. Descrição da Unidade

A unidade Regional Curitiba está localizada na Rua Carlos Pioli, nº 133, no bairro Bom Retiro, nas coordenadas geográficas -25.41136, -49.27289. O terreno possui 16.214 m², com área construída de 4.879,02 m² (30,10%). A edificação, em concreto armado com lajes protendidas, apresenta estado geral satisfatório.

O fornecimento de energia elétrica se dá por ramal aéreo em bom estado de conservação. A subestação local conta com três transformadores a seco, sendo dois de 750 kVA e um de 500 kVA, todos bem sinalizados e em conformidade com o diagrama unifilar fornecido para o estudo. Os QGBTs encontram-se organizados, com circuitos identificados e espaço disponível para expansões futuras. No que se refere à continuidade operacional, a instalação conta com dois geradores no nível térreo, que garantem o suprimento total da unidade, embora sem redundância. Complementarmente, o sistema de nobreak oferece 320 kVA de capacidade e autonomia de 30 minutos à plena carga. A Figura 1 apresenta a vista aérea da unidade do Serpro em Curitiba, destacando as principais edificações e áreas disponíveis para implantação de sistemas fotovoltaicos.

Figura 1: Vista Aérea da Unidade Serpro Curitiba.



Em termos de geração de energia, ressalta-se que a unidade já dispõe de um sistema fotovoltaico on-grid de 132 kWp. Ele é composto por 322 painéis de 410 Wp do modelo Luxen Solar LNSU-410M e 2 inversores de 60 kW, marca Solax Power, modelo X3-60K-TL. Esse sistema é responsável por atender cerca de 30% do consumo atual da edificação. Serão apresentadas ao longo deste documento diferentes soluções para a redução dos gastos com energia e para a busca da autossuficiência da unidade.

Ao longo do relatório, são apresentados os resultados das simulações, cálculos e modelagens técnico-financeiras conduzido s pela equipe, com o objetivo de fornecer informações consistentes e suficientes para subsidiar a tomada de decisão quanto ao cenário mais viável em termos econômicos e de autossuficiência energética para a Regional Curitiba.

2. Soluções Analisadas

Nesta seção, são apresentadas as soluções consideradas para a autossuficiência energética e eficiência econômica da Regional Belo Horizonte do Serpro. Cada uma delas contempla combinações do ACR ou do ACL com ajustes contratuais, autoprodução de energia e sistemas de armazenamento, permitindo a comparação de seus impactos técnico-econômicos, regulatórios e institucionais ao longo do horizonte de análise de 20 anos.

- **ACR Atual**

Este cenário representa a manutenção da situação vigente, com suprimento de energia no ambiente de contratação regulada (ACR), ou seja, exclusivamente por meio do contrato atual estabelecido com a distribuidora local. Trata-se do ponto de partida para a comparação das demais alternativas, servindo como referência para mensuração dos ganhos proporcionados por eventuais ajustes contratuais ou investimentos em geração própria.

- **ACR com Ajustes Contratuais**

Neste cenário, mantém-se a operação no ACR, porém com a adoção de ajustes referentes à demanda contratada ou à modalidade tarifária que foram sugeridos no produto da Etapa 1 do presente estudo. O objetivo consiste em otimizar o perfil de contratação, reduzindo custos sem alteração estrutural da forma de suprimento de energia elétrica.

- **ACR com Ajustes Contratuais + GD**

Este cenário considera a permanência no ACR, já com os ajustes contratuais implementados, acrescida de uma geração distribuída na forma de uma usina solar fotovoltaica. A usina deve ser no modelo *grid-zero* e visa atender parte relevante do consumo da unidade, proporcionando ganhos adicionais em termos de redução da fatura de energia elétrica.

- **ACR com Ajustes Contratuais + GD + Baterias**

Esta alternativa amplia a capacidade instalada da geração fotovoltaica da estratégia anterior, mas agora associada a um sistema de armazenamento de energia elétrica em baterias. Dessa forma, o arranjo permite não apenas a geração local, mas também o aproveitamento de excedentes de geração de energia em horários de maior valor tarifário, buscando otimizar a economia obtida frente ao cenário de referência.

- **ACL**

Neste cenário, considera-se a migração para o ambiente de contratação livre (ACL), após a implementação dos ajustes relativos ao perfil contratual e às demandas, sugeridas no produto da Etapa 1 do presente projeto. A estratégia visa capturar os benefícios da maior flexibilidade do mercado livre de energia, tanto em termos de preços como de adequação às necessidades da unidade consumidora, assim como a possibilidade de aquisição de energia proveniente exclusivamente de fontes renováveis.

- **ACL + Autoprodução Local**

Além da migração para o ACL e dos ajustes contratuais sugeridos no produto da Etapa 1 do presente estudo, este cenário prevê a instalação de usina fotovoltaica considerando o modelo de autoprodução local. A medida fortalece a independência energética da unidade e potencializa a economia frente ao custo de referência.

- **ACL + Autoprodução Local + Baterias**

Este cenário constitui a alternativa mais robusta, combinando a operação no ACL ajustado com a instalação de uma usina fotovoltaica com capacidade instalada maior que a da solução anterior, além de um sistema de baterias. Tal configuração amplia os benefícios da autoprodução local, ao possibilitar a gestão do excedente de geração, elevando a segurança e a previsibilidade dos ganhos econômicos no longo prazo.

Até a finalização da etapa 1 deste projeto, as soluções analisadas priorizaram o equilíbrio entre viabilidade econômica e ganhos de autossuficiência, englobando tanto o cenário ótimo econômico quanto o ótimo econômico com baterias. No entanto, ainda não havia

sido considerada uma alternativa cujo foco principal fosse a maximização da autossuficiência energética, independentemente de restrições econômicas, ambientais ou do tempo de retorno do investimento. Essa abordagem foi demandada pela equipe do Serpro, após a finalização da etapa 1, para se avaliar o potencial técnico máximo de geração local de energia das unidades, bem como para quantificar o grau de independência possível frente ao suprimento externo.

• ACL + Autoprodução Local + Baterias – Cenário Máxima Autossuficiência
Neste cenário, propõe-se o aproveitamento integral das áreas disponíveis para instalação de sistemas de geração fotovoltaica, incluindo telhados, estacionamentos e demais superfícies aptas à implantação de painéis solares. As áreas empregadas neste cenário foram indicadas pela equipe do Serpro. A configuração mantém a operação no ambiente de contratação livre (ACL) e adota o modelo de autoprodução local, associado a um sistema de armazenamento de energia de maior capacidade.

O objetivo consiste em maximizar a autossuficiência energética da unidade, buscando reduzir ao mínimo possível a dependência da rede pública de distribuição. Essa estratégia, embora demande um investimento significativamente mais elevado e apresente maior prazo de retorno, permite avaliar o limite técnico de independência energética que a unidade pode alcançar. Entretanto, a adoção dessa configuração pode implicar desafios adicionais, como a necessidade de supressão de vegetação arbórea, eventuais intervenções em áreas verdes e o risco de ultrapassar índices de permeabilidade exigidos pela legislação urbanística vigente. Ainda assim, a solução reforça a resiliência operacional, assegura maior estabilidade no suprimento elétrico e contribui para a sustentabilidade ambiental, por meio do uso intensivo de energia proveniente de fonte renovável.

Em síntese, as soluções avaliadas permitem contrastar estratégias que vão desde a manutenção do modelo contratual atual até a adoção de alternativas avançadas de autoprodução local associadas a sistemas de armazenamento de energia. Essa abordagem comparativa oferece suporte técnico e econômico para a escolha da

configuração mais compatível com os objetivos institucionais de eficiência, sustentabilidade e segurança energética da Regional Curitiba.

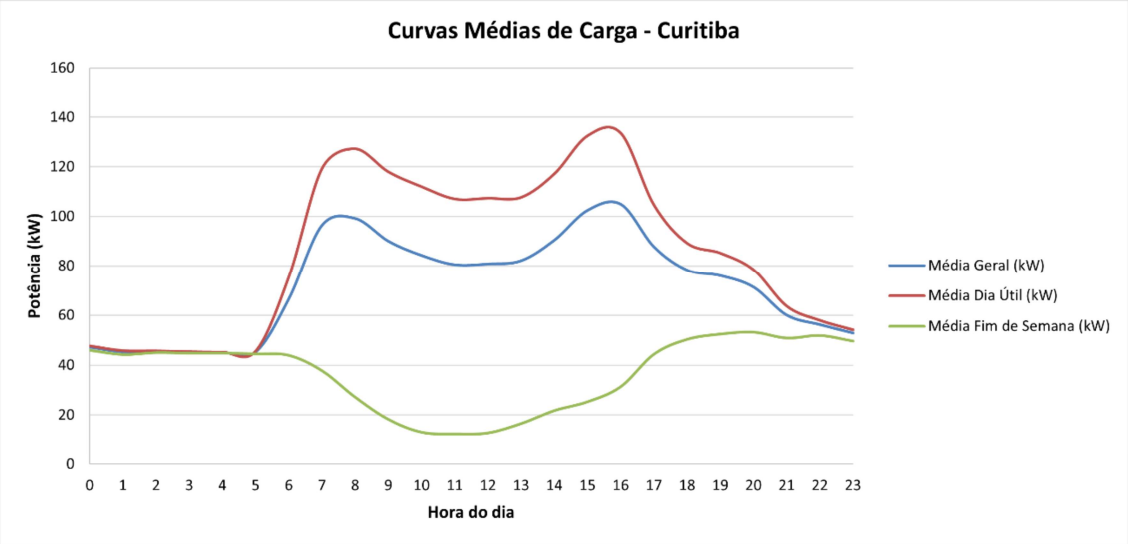
Tal relatório contempla de forma sistemática os aspectos técnicos, financeiros, regulatórios, jurídicos e ambientais de cada arranjo, oferecendo a fundamentação necessária para a comparação entre cenários. Em outras palavras, a seleção das soluções aqui apresentadas encontra respaldo direto nas análises exibidas no Relatório da Etapa 2, o que justifica a priorização das alternativas acima mencionadas para a Regional Curitiba.

3. Dimensionamentos

3.1. Sistemas Fotovoltaicos e de Armazenamento de Energia[1]

Atualmente, encontra-se em funcionamento na unidade de Curitiba uma usina fotovoltaica com 132 kWp, representando 20,80% do consumo atual da unidade. O consumo de energia médio da unidade é de 64,90 MWh/mês, sem considerar a geração da usina existente. Foi levantada a curva de carga da unidade com os dados de memória de massa disponibilizados de janeiro a julho de 2025, apresentada na Figura 2. A curva de carga já leva em consideração o funcionamento da usina solar existente.

Figura 2: Curva de carga média de um dia e a curva de geração solar.

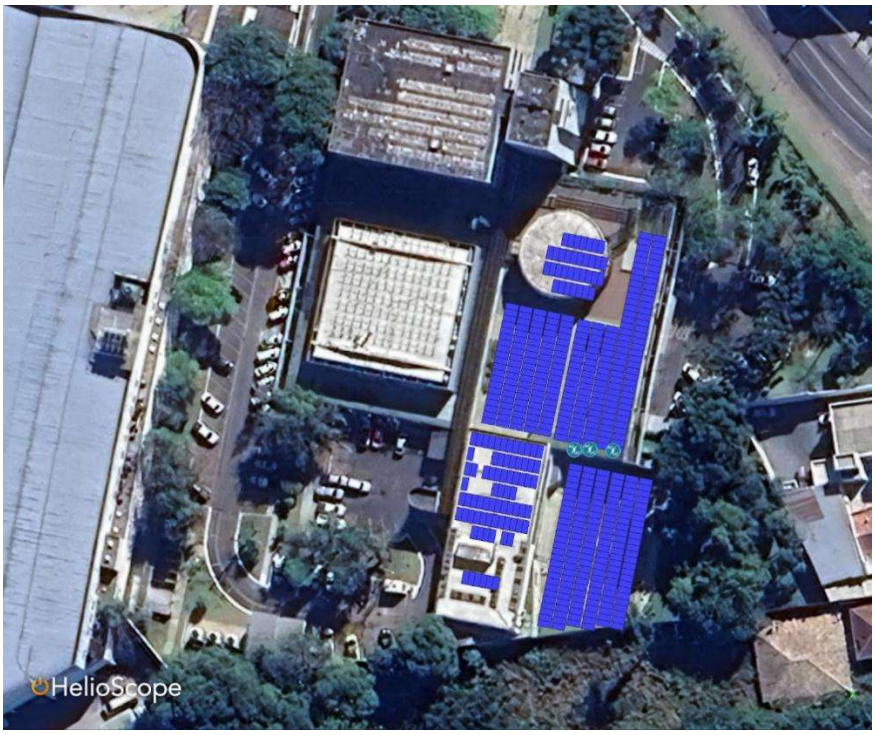


Na primeira etapa deste projeto, e com base nas informações da Figura 2 bem como em visitas técnicas e reuniões com a equipe do Serpro, definiu-se o layout apresentado na Figura 3, que, em termos teóricos, permite a compensação de 64,4% do consumo

[1] Especificações técnicas dos equipamentos utilizados como base de cálculos energéticos e orçamentários são apresentados no Apêndice 1.

mensal da unidade. Diante da limitação de área de telhado, projetaram-se uma estrutura no pátio e outra sobre a quadra de esportes.

Figura 3 – Vista aérea das instalações da regional de Curitiba, considerando a instalação de placas fotovoltaicas utilizando-se o máximo do telhado e utilização de BESS.



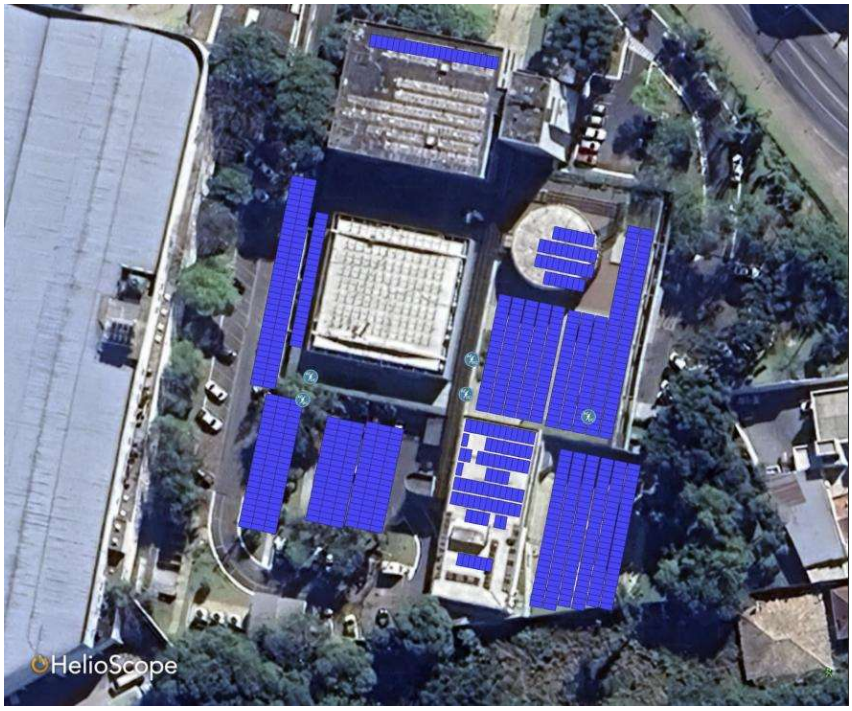
Considerando a significativa variação do perfil de consumo entre dias úteis e finais de semana, avaliou-se a necessidade de implantação de um sistema de armazenamento de energia (BESS). Foram simuladas diferentes potências de geração fotovoltaica, de modo a otimizar o aproveitamento da energia solar sem onerar excessivamente o custo de implantação. A solução de referência contempla a instalação de um sistema fotovoltaico de 318,78 kWp, resultando em geração média de 35,53 MWh/mês, equivalente a 64,4% da demanda energética da unidade. Como alternativa, com menor ocupação (sem utilização da quadra de esportes), definiu-se um sistema de 200,34 kWp, com geração média de 26,63 MWh/mês, o que corresponde, em conjunto com a usina já existente, a 45,8% da demanda da unidade (Figura 4).

Figura 4: Vista aérea das instalações da Regional de Curitiba do Serpro, considerando a instalação de placas fotovoltaicas após avaliação das perdas.



Conforme mencionado, por solicitação da equipe do Serpro, foi ainda considerado neste estudo o cenário de máxima autossuficiência (Figura 5).

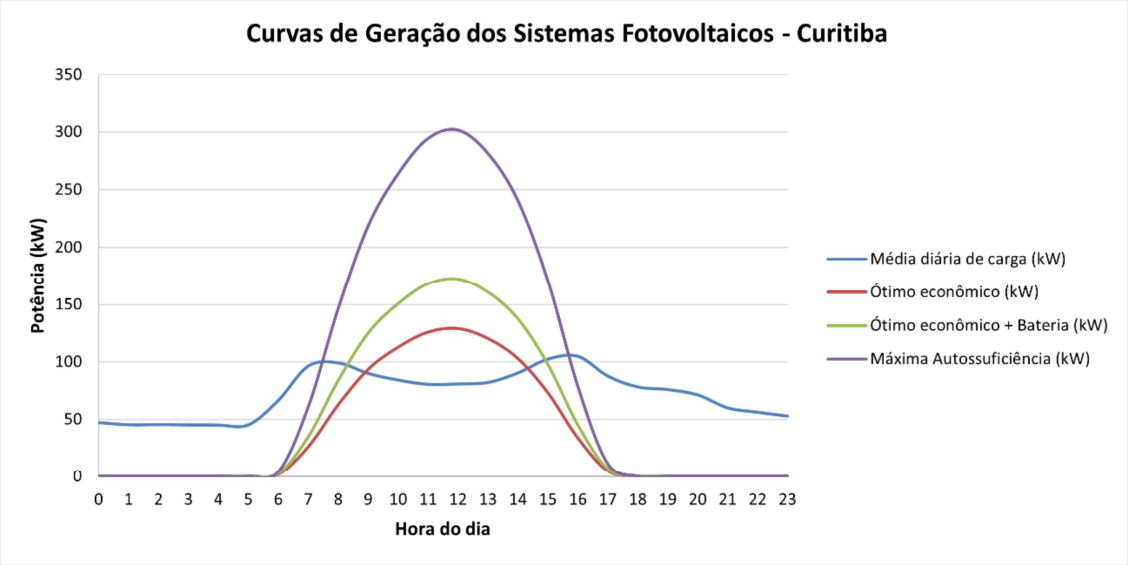
Figura 5: Vista aérea das instalações da Regional Curitiba, considerando a instalação de placas fotovoltaicas com foco na máxima autossuficiência



Empregando-se as áreas exibidas na Figura 5 é possível obter um sistema fotovoltaico com potência igual a 497,07 kWp, equivalente a 80% de autossuficiência.

A Figura 6 apresenta as curvas de geração dos sistemas fotovoltaicos de 200,34, 318,78 e 497,07 kWp, que equivalem, respectivamente, a 45,8%, 64,4% e 80% de autossuficiência, e ainda, a curva média diária de carga da unidade de Curitiba.

Figura 6: Curvas de geração dos sistemas fotovoltaicos de 200,34, 318,78 e 497,07 kWp e a curva média diária de carga da unidade de Curitiba



3.2. Parâmetros urbanísticos e adequações de infraestrutura civíl (extra)

Constata-se, por meio de análise urbanística preliminar, que a área do SERPRO em Curitiba está situada em Zona de Uso Misto 3 (ZUM-3), conforme definido no Plano Diretor do município. De acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), prevê-se uma taxa de permeabilidade mínima de 25% para lotes não residenciais. Na atual configuração de ocupação da área, aproximadamente 30% mantêm características de permeabilidade, sendo assim, nenhum óbice pode ser observado nesse sentido, considerando que nenhuma nova área passará a ser considerada impermeável devido à implantação das placas, pois estas estarão alocadas na cobertura das edificações ou em áreas já impermeabilizadas (Figura 7).

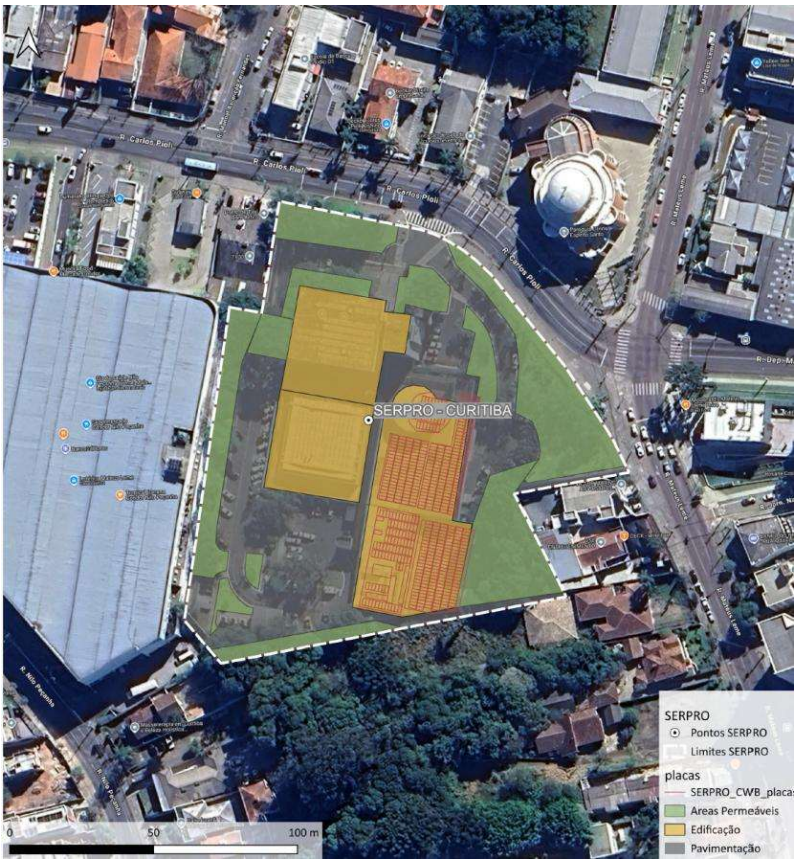
Quanto ao sombreamento por edificações do entorno, avalia-se baixo risco de impacto para o sistema fotovoltaico projetado no curto e médio prazos. Embora o bairro tenha passado por valorização e verticalização nos últimos anos, a ZUM-3 admite altura máxima de quatro pavimentos. No setor vizinho (Zona do Centro Cívico — ZCC), onde

são permitidos prédios altos, a distância em relação ao Serpro e a projeção das sombras não configuram preocupação relevante para os módulos propostos (Figura 7.a; Figura 7.b).

Figura 7. a) Panorama 3D da área do SERPRO considerando a área de entorno imediato.



Figura 7.b) Projeções de áreas com painéis X remanescentes permeáveis.



Para a instalação dos painéis solares previstos para a Regional de Curitiba, identificou-se a necessidade de desenvolver projetos complementares de infraestrutura civil, denominados “estruturas de suporte extras”, com o objetivo de assegurar suporte físico adequado e seguro para a fixação dos módulos fotovoltaicos.

A elaboração dessas estruturas mostrou-se necessária tanto para novas áreas, como a quadra esportiva descoberta, quanto para coberturas existentes previamente avaliadas como estruturalmente insuficientes ou comprometidas.

Com base na análise in loco e nos estudos dos projetos existentes (plantas e memoriais descritivos), foram projetadas e dimensionadas as estruturas de suporte extras, com a consolidação de orçamentos contendo listas de materiais, mão de obra e BDI. Esse detalhamento é fundamental para os cálculos e para os indicadores financeiros dos cenários em análise, que consideram a autoprodução de energia local (Figura8).

Figura 8: Localização e exemplos de estruturas de suporte extra projetadas para a Regional de Curitiba.

