FIAP

ChargeGrid Intelligence

São Paulo – 2026

FIAP

Integrantes:

Caio Henrique Ferraz da Silva – RM:568992

Enzo Caruso Peter – RM: 570908

Leonardo Figueredo dos Santos – RM: 573653

Leonardo Robert Maulicino – RM: 570329

Lucas Ramos de Sousa – RM: 573901

Matheus Pimenta Martini – RM: 569400

Pablo Renato dos Santos Sobral de Carvalho – RM: 569894

Disciplinas:

SOLUÇÕES EM ENERGIAS RENOVÁVEIS E SUSTENTÁVEIS/ PENSAMENTO COMPUTACIONAL E AUTOMAÇÃO COM PYTHON

São Paulo – 2026

Sumário:

Visão geral e objetivo da solução

Arquitetura final e integração dos sistemas

Fluxo funcional da recarga

Dynamic Load Balancing e eficiência operacional

Sustentabilidade, automação e inovação

Frameworks, ferramentas, linguagens, protocolos e sensores

Avaliação crítica: benefícios, limitações e maturidade

Conclusão

Complementos: assistentes virtuais e impacto de carbono

Visão geral e objetivo da solução:

O ChargeGrid Intelligence é uma plataforma de gerenciamento de recarga de veículos elétricos voltada a ambientes comerciais, como estacionamentos, condomínios, shoppings e postos. A solução combina uma camada de operação, uma interface para o cliente, persistência relacional e regras de decisão para controlar sessões de recarga e distribuir a potência disponível entre carregadores.

O problema central tratado é a operação de múltiplos carregadores sem transformar a expansão da infraestrutura em um aumento descontrolado da demanda elétrica. Em vez de considerar cada carregador isoladamente, o sistema trabalha com uma visão de conjunto: identifica sessões ativas, calcula o limite de demanda e redistribui a potência disponível conforme a capacidade de cada carregador.

Essa abordagem se conecta diretamente ao conceito de gerenciamento inteligente de energia da GoodWe. A linha HCA G2 possui modos de carregamento, controle automático de potência, comunicação Modbus TCP e recursos de integração com sistemas fotovoltaicos e armazenamento. A proposta do ChargeGrid acrescenta uma camada de orquestração de sessões, tarifação e experiência do usuário.

Pontos Chave do desafio resolvidos:

• **Eficiência energética:** o Dynamic Load Balancing reduz a necessidade de reservar potência máxima para todos os carregadores simultaneamente.

• **Automação:** início/fim de sessão acionam as regras automaticamente; o rebalanceamento não depende de intervenção manual.

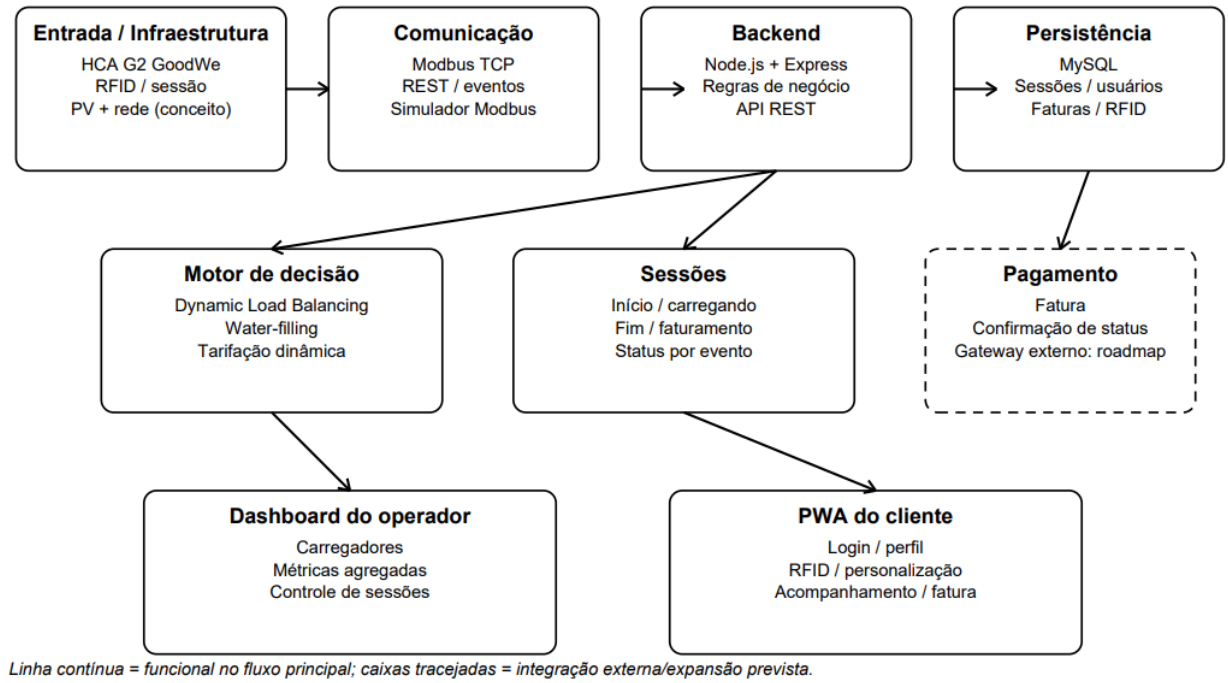
• **Monitoramento:** o operador possui uma visão consolidada de carregadores, sessões e métricas.

• **Experiência do usuário:** a PWA permite autenticação, personalização da recarga, acompanhamento e faturamento.

• **Integração:** a arquitetura foi organizada para receber Modbus TCP do HCA G2 e um protótipo ESP32/NFC sem reescrever o núcleo da aplicação.

Arquitetura final e integração dos sistemas:

A arquitetura adota separação entre apresentação, serviços de aplicação, regras de negócio e persistência. O backend funciona como núcleo de orquestração: recebe eventos de sessão, aplica regras de potência e tarifação, grava o estado no MySQL e disponibiliza os dados por API REST.



Linha contínua = funcional no fluxo principal; caixas tracejadas = integração externa/expansão prevista.

Integração entre camadas:

Entrada e infraestrutura: O cenário-alvo considera carregadores GoodWe HCA G2. O projeto também possui um módulo Modbus TCP independente, com cliente e simulador, preparado para trabalhar com registradores de potência, energia, status e identificação RFID. O repositório informa que essa camada foi isolada do fluxo principal para reduzir risco durante a validação.

Backend: Node.js + Express concentram rotas, autenticação, sessões, carregadores, RFID, usuários e faturas. A lógica em JavaScript implementa o limite de demanda, o water-filling e a tarifação dinâmica.

Persistência: MySQL mantém usuários, sessões, carregadores, RFID e faturas. O uso de modelo relacional é adequado porque há relações claras entre usuário, cartão, sessão, carregador e cobrança.

Apresentação: O dashboard atende o operador; a PWA atende o cliente. As duas interfaces são servidas pelo próprio Express no ambiente publicado.

Fluxo funcional da recarga:

O fluxo implementado é orientado a eventos. O sistema não precisa manter um loop de polling contínuo no backend para decidir a potência a cada instante: início e encerramento de sessões são os eventos que provocam o rebalanceamento. A consulta de status em tempo real ocorre sob demanda pela PWA ou pelo dashboard.

Por que o fluxo é relevante para o desafio:

A decisão por eventos reduz processamento desnecessário e torna o comportamento do sistema mais previsível. Quando uma sessão começa, o sistema recalcula a potência disponível; quando uma sessão termina, a capacidade liberada pode ser redistribuída. Assim, o carregador deixa de ser uma carga isolada e passa a fazer parte de um sistema de gerenciamento.

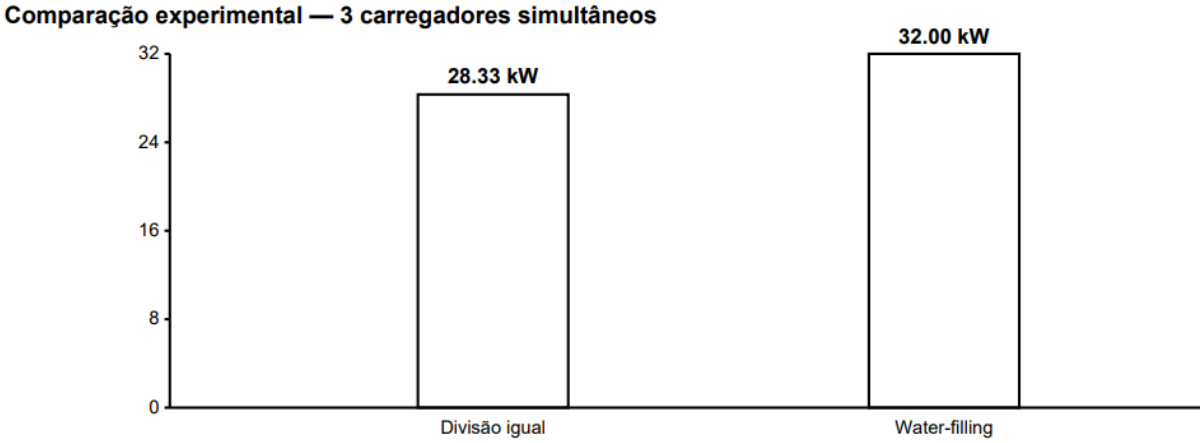
Sessão, faturamento e rastreabilidade:

O ciclo completo registrado no projeto é: identificação por RFID → criação da sessão → personalização do modo e limite → carregamento →

encerramento → cálculo de energia/tarifa → geração da fatura → confirmação do estado de pagamento. Essa sequência cria rastreabilidade operacional e permite separar o controle energético da experiência comercial.

Dynamic Load Balancing e eficiência operacional:

O núcleo técnico do projeto é o algoritmo de rebalanceamento por water-filling. Em vez de dividir a potência disponível igualmente entre todos os carregadores, o algoritmo considera as capacidades individuais. Isso é especialmente importante quando o posto possui carregadores de 7, 11 e 22 kW: uma divisão igual pode subutilizar um carregador de maior capacidade enquanto outro já atingiu seu limite.



Ganho de potência útil no cenário: aproximadamente 13%.

Resultado quantitativo do cenário experimental No cenário utilizado pela equipe com três carregadores simultâneos, a divisão igual resultou em aproximadamente 28,33 kW distribuídos, enquanto o water-filling atingiu 32 kW com a mesma infraestrutura. A diferença corresponde a

aproximadamente 3,67 kW de potência útil adicional, ou cerca de 13% sobre a divisão igual.

Indicador	Divisão igual	Water-filling
Potência total útil	28,33 kW	32,00 kW
Diferença absoluta	—	+3,67 kW
Ganho relativo	—	≈ 13%
Infraestrutura	3 carregadores	3 carregadores

Efeito prático

• Maior utilização da capacidade já contratada/instalada.

• Menor necessidade de sobre dimensionar a infraestrutura apenas para cobrir situações de pico.

• Distribuição compatível com carregadores de capacidades diferentes.

• Automação da decisão: o operador não precisa recalcular manualmente a potência.

O algoritmo não aumenta a energia física disponível; ele melhora a forma como a capacidade existente é alocada. Essa distinção é importante para uma avaliação técnica correta do benefício

Sustentabilidade, automação e inovação:

Uso inteligente de energia:

A linha GoodWe HCA G2 é projetada para maximizar o uso de energia solar em conjunto com sistemas fotovoltaicos e baterias, oferecendo modos como PV Priority e PV + BATT. A documentação oficial também descreve Dynamic Load Control e comunicação Modbus TCP.

O ChargeGrid complementa esse conceito ao transformar a gestão da recarga em uma decisão sistêmica. A aplicação pode priorizar modos de carregamento, controlar demanda e associar a escolha do modo a regras de tarifação. O benefício ambiental é maior quando o carregamento é deslocado para momentos em que há maior disponibilidade de geração renovável.

Resultado econômico/energético do cenário apresentado:

Modo	Custo considerado	Interpretação
Carregamento rápido	R$ 0,80/kWh	Maior custo por energia
Modo fotovoltaico	R$ 0,30/kWh	Incentiva uso de energia solar
Diferença	R$ 0,50/kWh	62,5% menor no cenário

No cenário experimental da equipe, o modo fotovoltaico foi parametrizado em R$ 0,30/kWh contra R$ 0,80/kWh no modo rápido, representando redução de 62,5% no custo considerado. O resultado deve ser lido como um cenário de simulação do projeto, e não como tarifa universal de energia.

Benefícios de sustentabilidade:

• **Ambiental:** incentivo ao uso de energia fotovoltaica reduz a dependência de energia da rede nos horários em que há geração solar disponível.

• **Energético:** o balanceamento evita concentração desnecessária de potência e melhora a utilização da infraestrutura.

• **Econômico:** a tarifação dinâmica pode deslocar comportamento do usuário para modos/horários mais eficientes.

• **Operacional:** monitoramento e regras automatizadas reduzem a necessidade de intervenção humana repetitiva.

Inovação:

A principal inovação não está em uma única tecnologia isolada, mas na composição: gestão de sessões + balanceamento + tarifação + PWA + dashboard + camada preparada para Modbus + lógica inteligente. O projeto transforma dados operacionais de recarga em decisões de controle e incentivo ao usuário.

Frameworks, ferramentas, linguagens, protocolos e sensores:

Elemento	Uso no projeto	Papel na solução
JavaScript	Backend e frontend	Lógica, API e interfaces
Node.js + Express	Servidor	API REST e entrega das interfaces
MySQL / mysql2	Banco	Persistência relacional
HTML5 / CSS3	Interfaces	Dashboard e PWA
JavaScript Vanilla	Frontend	Interações sem framework pesado
PWA / Service Worker	Cliente	Instalação e experiência mobile
Modbus TCP	Integração	Comunicação com HCA G2 / simulador
RFID / NFC	Identificação	Vinculação da sessão ao usuário
ESP32	Protótipo físico	Ponte planejada entre hardware e backend
Railway	Deploy	Backend + banco publicados
Mercado Pago / PIX	Pagamento	Integração externa prevista
IA / regras em JS	Decisão	Tarifação e rebalanceamento

Sensoriamento e hardware:

No estado documentado, o hardware físico ESP32 + leitor NFC está em desenvolvimento e o carregador GoodWe real ainda não está conectado ao backend. O projeto, porém, já possui o módulo de comunicação Modbus TCP com registradores mapeados para potência, energia, status e UID do RFID

Mapa de registradores preparado (tabela na página seguinte):

Registrador	Campo	Escala
10015	Potência de carregamento	÷10 → kW
10016	Energia da sessão atual	÷10 → kWh
10017	Status do carregador	11 estados
10500–10506	UID do cartão RFID	ASCII / 14 bytes

Esse mapeamento cria uma fronteira clara entre hardware e software: o cliente Modbus traduz os registradores para valores de domínio, enquanto a lógica de negócio trabalha com potência, energia, status e identificação sem depender da representação elétrica bruta.

Avaliação crítica: benefícios, limitações e maturidade

Benefícios comprovados

• **Fluxo principal funcional**: sessões, usuários, RFID, faturas, dashboard e PWA estão documentados como funcionais.

• **Balanceamento testado:** o algoritmo water-filling foi testado com múltiplos carregadores de capacidades diferentes.

• **Deploy:** backend e MySQL estão publicados, permitindo testes compartilhados pela equipe.

• **Arquitetura extensível:** Modbus, hardware e gateway externo foram isolados para permitir evolução sem alterar o núcleo.

Limitações técnicas:

• **Hardware físico:** a conexão com um HCA G2 real depende de acesso ao equipamento; o protótipo ESP32/NFC ainda está em desenvolvimento.

• **Pagamento:** o estado da fatura é funcional dentro da aplicação, mas o gateway externo Mercado Pago/PIX ainda não está conectado.

• **IA:** a versão atual utiliza lógica de decisão em JavaScript; previsão preditiva de picos é roadmap.

• **Escala:** a expansão para múltiplos postos conectados ainda é uma etapa futura.

Porque essas limitações não invalidam a solução:

A arquitetura separa explicitamente funcionalidades validadas de integrações futuras. Isso é positivo do ponto de vista de engenharia: reduz acoplamento e permite demonstrar o valor do núcleo antes de depender de hardware e serviços externos. O próprio repositório apresenta essas evoluções como roadmap consciente, em vez de apresentá-las como funcionalidades já concluídas.

Próximos passos prioritários:

Prioridade	Evolução	Impacto esperado
1	ESP32 + NFC → API / Modbus	Fechar ciclo físico da demonstração
2	HCA G2 real → Modbus TCP	Validar integração de campo
3	Mercado Pago / PIX + webhook	Pagamento real e automatizado
4	Previsão de picos	Antecipação de demanda
5	Multi-postos	Escala operacional

Conclusão:

O ChargeGrid Intelligence apresenta uma solução coerente com o desafio GoodWe ao tratar a recarga de veículos elétricos como uma carga energética que precisa ser monitorada, balanceada e incentivada de forma inteligente. O principal ganho técnico comprovado está no Dynamic Load Balancing, enquanto o principal ganho de sustentabilidade está na criação de mecanismos que favorecem o uso eficiente e, na integração com a infraestrutura GoodWe, a utilização de energia fotovoltaica. A arquitetura final é modular e preparada para avançar do protótipo de software para uma implementação física completa.

Complementos da solução

1. Assistentes virtuais

Os assistentes virtuais foram definidos como evolução da solução, apoiados na API REST já existente. O objetivo é oferecer uma camada conversacional para consultar status de carregadores e sessões, orientar o usuário sobre modos de recarga, explicar consumo e custos e apoiar o operador na interpretação das informações do sistema. Esta funcionalidade é apresentada como roadmap, não como recurso já concluído, mantendo a distinção entre funcionalidades validadas e integrações futuras.

2. Justificativa da escolha de Node.js

Embora uma das disciplinas seja Automação com Python, o núcleo implementado utiliza JavaScript com Node.js + Express. A escolha é coerente com a arquitetura orientada a API REST e eventos, pois mantém backend, regras de negócio e interfaces na mesma base tecnológica, reduzindo a complexidade de integração entre runtimes. Python permanece alinhado ao contexto acadêmico da disciplina e pode ser incorporado em futuras etapas de análise de dados e previsão de demanda.

3. Impacto estimado na pegada de carbono

Para tornar o benefício ambiental mensurável, foi acrescentado um cenário de referência. Considerando uma sessão de 1 hora a 22 kW, são consumidos 22 kWh. Adotando, para esta estimativa, uma intensidade média de 0,09 $kgCO_2$/kWh para a eletricidade da rede, o deslocamento integral dessa sessão para energia fotovoltaica evitaria aproximadamente 1,98 $kgCO_2$ de emissões associadas à eletricidade da rede. Trata-se de uma estimativa de cenário, e não de uma medição física realizada pelo protótipo.

4. Observação sobre o mapa Modbus

O mapa de registradores já consta visualmente na página seguinte à seção de frameworks. A revisão apenas ajusta o título para deixar explícito que a tabela é apresentada na página seguinte, evitando a impressão de que o mapa está ausente.

Vídeo da solução:

https://youtu.be/9iaajMLNDD4