

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCO ANTÔNIO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS PARA
LOCOTRATORES E DRESINAS DA SOCOFER FRANCE**

VIÇOSA
2022

MARCO ANTÔNIO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS PARA
LOCOTRATORES E DRESINAS DA SOCOFER FRANCE**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Gomes Torres

VIÇOSA
2022

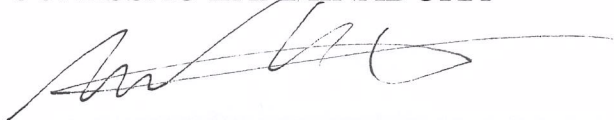
MARCO ANTÔNIO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS PARA
LOCOTRATORES E DRESINAS DA SOCOFER FRANCE**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 23 de novembro de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. André Gomes Torres - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Membro
Universidade Federal de Viçosa



Eng. Elétricista Hugo Gonçalves Lopes - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

(Nikola Tesla)

Aos meus pais, que sempre se sacrificaram e trabalharam exaustivamente pela minha formação e meu conforto.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a toda a equipe da SOCOFER France pelo acolhimento e pela confiança em mim. Gostaria de agradecer ao meu tutor, Sr. Grégory PEREZ, por toda a orientação e apoio durante o estágio. Agradeço também a todos os BE Elec pelo apoio e acolhimento durante estes 6 meses de trabalho.

Agradeço à ENSEM pelo acolhimento, pelas aulas e práticas que me prepararam para encontrar um bom estágio e também ter uma base científica mais sólida. Agradeço especialmente ao professor Frédéric EDELSON que me ajudou com a redação da minha carta de apresentação, preparação para a entrevista e preparação em geral para encontrar um estágio.

Agradeço também à Gabriela Toledo pelo convite e confiança para participar da UFFVolts Majorados e aos demais membros da equipe que me auxiliaram no meu trabalho e na minha trajetória acadêmica.

Aos amigos do Cool do Charmois - Ana Clara, Índio, Peluzio e Felipe - por todo o apoio e experiências durante o intercâmbio.

Gostaria de agradecer à UFV, ao CEFET-MG de Curvelo e, mais especificamente, a todos os professores e educadores que contribuíram positivamente para a minha formação técnica e pessoal.

A Deus por todas as oportunidades e graças ao longo da vida, por toda a luz e força nos momentos difíceis.

Por fim, gostaria de agradecer à CAPES que, por meio do programa Brafitec, me deu suporte e me ofereceu a oportunidade de fazer esse intercâmbio na França e, conseqüentemente, este estágio.

Resumo

Desde a criação da empresa, a SOCOFER França desenvolve máquinas de manutenção ferroviária e comboios de trabalho. A empresa adapta-se sempre às necessidades do mercado e dos seus clientes, de forma a conceber os produtos e serviços mais funcionais, tecnológicos e seguros possíveis. Uma das maiores evoluções do setor ferroviário é a sua integração na transição energética, para reduzir a utilização de combustíveis fósseis e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, através do aumento do desenvolvimento de maquinaria elétrica de alta eficiência.

Neste trabalho, foram desenvolvidas várias atividades em engenharia ferroviária, desde a normalização de cálculos de potência até ao dimensionamento de circuitos elétricos, quer sejam sistemas de armazenamento de energia ou as diferentes arquiteturas de trens de manutenção. Desta forma, alguns trabalhos tiveram impacto direto e imediato em projetos de máquinas específicas, enquanto outros trabalhos desenvolvidos terão impacto em diversas máquinas futuras e trarão benefícios à empresa no longo prazo.

Abstract

Since the creation of the company, SOCOFER France has developed railway maintenance machines and working trains. The company always adapts to the needs of the market and its customers in order to design the most functional, technological and safe products and services possible. One of the major developments in the rail sector is its integration into the energy transition, to reduce the use of fossil fuels and reduce greenhouse gas emissions by increasing the development of high-efficiency electrical machinery.

In this work, several activities in railway engineering were developed, from the standardization of power calculations to the dimensioning of electrical circuits, whether energy storage systems or the different architectures of maintenance trains. In this way, some jobs had a direct and immediate impact on specific machine designs, while other jobs developed will impact several future machines and bring benefits to the company in the long term.

Sumário

1	Introdução do Trabalho	12
1.1	Trabalhos propostos.....	12
1.2	Objetivo Geral	13
2	Materiais e Métodos	14
2.1	Contextualização	14
2.1.1	Apresentação da empresa	14
2.1.2	Aspectos normativos	16
2.1.3	Os sistemas dos trens	17
2.2	Padronização do cálculo do balanço de energia de sistemas de baixa tensão	20
2.3	Estudo de mudança de arquitetura de 24 Vdc a 110 Vdc.....	29
2.4	Dimensionamento de baterias de tração	30
2.4.1	Dimensionamento do sistema de carregamento	35
3	Resultados e Discussão	37
3.1	Padronização do cálculo do balanço de energia de sistemas de baixa tensão	37
3.2	Estudo de mudança de arquitetura de 24 Vdc a 110 Vdc.....	38
3.3	Dimensionamento de baterias de tração	40
3.3.1	Dimensionamento do sistema de carregamento	42
4	Conclusão	45
	Referências Bibliográficas	46
	Apêndice A – Organograma da empresa	47
	Apêndice B – Diagrama elétrico do Freio Direto	48
	Apêndice C – Exemplos de balanços de energia antigos.....	49

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplos de máquinas concebidas pela SOCOFER.....	15
Figura 2 - Exemplo de diagrama elétrico e localização de componentes.....	19
Figura 3 - Aba "Apresentação".....	21
Figura 4 - Banco de dados "Circuitos".....	22
Figura 5 - Banco de dados "Dispositivos".....	23
Figura 6 - Banco de dados "Disjuntores".....	23
Figura 7 - Novo balanço de energia, parte 1.....	24
Figura 8 - Novo balanço de energia, parte 2.....	25
Figura 9 - Novo balanço de energia, coeficientes de utilização e cenários.....	26
Figura 10 - Novo balanço de energia, coeficientes e colunas ocultas.....	26
Figura 11 - Corrente total por disjuntor.....	27
Figura 12 - Corrente total por ponto de conexão de retorno de 0 V.....	28
Figura 13 - Potências e correntes totais por tipo de alimentação.....	28
Figura 14 - Tarifas de alguns dispositivos BT para as duas tensões.....	30
Figura 15 - Locotrator diesel rodoferroviário.....	31
Figura 16 - Vista lateral do locotrator após a remoção dos componentes de tração.....	32
Figura 17 - Vista superior do locotrator após a remoção dos componentes de tração.....	32
Figura 18 - Gama de baterias ZEN SLIM.....	33
Figura 19 - Comparação de baterias da gama ZEN.....	33
Figura 20 - Ficha técnica das baterias.....	34
Figura 21 - Exemplo de balanço de energia para 2 cenários.....	37
Figura 22 - Tabela de seleção automática de disjuntores.....	38
Figura 23 - Arquitetura BT em 24 V.....	39
Figura 24 - Arquitetura BT em 110 V.....	40
Figura 25 - Exemplo de localização do pack de baterias, vista lateral.....	42
Figura 26 - Exemplo de localização do pack de baterias, vista superior.....	42
Figura 27 - Módulo carregador HPC22KL.....	43
Figura 28 - Informações gerais do módulo HPC22KL.....	43

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Informações técnicas do motor.....	34
Tabela 2 - Informações técnicas do conversor de tração.....	35
Tabela 3 - Solução de baterias proposta	41

1 Introdução do Trabalho

Intercambista na França e bolsista pelo programa CAPES Brafitec entre os anos de 2021 e 2022, realizei 6 meses de estudos na *École Nationale Supérieure d'Électricité et de Mécanique* (ENSEM) e mais 6 meses de estágio profissionalizante. Diferentemente de uma monografia tradicional em que se descreve um projeto de pesquisa, o presente trabalho visa descrever os principais trabalhos desenvolvidos durante meus 6 meses de estágio no seio da indústria ferroviária francesa, na SOCOFER France. A SOCOFER France desenvolve trens de manutenção ferroviária, sejam estes a diesel ou elétricos. Durante o estágio, trabalhei apenas com máquinas com tração elétrica, entendendo melhor seu funcionamento e participando ativamente de projetos pontuais ou projetos que impactarão na produção de máquinas futuras.

1.1 Trabalhos propostos

Foram propostos diversos trabalhos durante este estágio, em que foram realizados projetos pontuais em máquinas específicas, trabalhos de documentação, análises de viabilidade ou padronização de planilhas de cálculos. Neste trabalho, serão descritas as três principais atividades e projetos realizados nesse estágio.

O primeiro trabalho proposto foi a padronização do cálculo do balanço de energia dos sistemas de baixa tensão de trens no geral, sejam trens elétricos, híbridos ou a diesel. Este balanço de energia é feito para que se conheça exatamente o consumo dos sistemas elétricos dos trens para se dimensionar as baterias de servidão (ou baterias de baixa tensão, que são baterias não trativas) e se conhecer o tempo de autonomia e recarga das baterias, além de auxiliar no dimensionamento do alternador no caso de máquinas a diesel.

O segundo trabalho proposto foi o estudo de mudança de arquitetura dos sistemas de baixa tensão de um locotrator elétrico para que se aumentasse a autonomia das baterias de servidão de acordo com exigências do cliente. A ideia é de se manter a potência e as funções dos equipamentos utilizados e também manter a energia embarcada das baterias, mas alterando-se a alimentação de 24 V para 110 V no máximo de equipamentos possíveis, de forma a se reduzir a corrente consumida e, conseqüentemente, aumentar-se a autonomia das baterias.

O terceiro trabalho proposto é a adaptação do sistema de tração a diesel de um locotrator rodoferroviário para um sistema de tração totalmente elétrico. Foi utilizado como base um

projeto a diesel que já estava em fase de construção para se desenvolver o novo projeto elétrico, então o cliente receberia duas máquinas de mesmas funções, mas uma a diesel e uma elétrica. O trabalho aqui descrito é o dimensionamento das baterias de tração e também o dimensionamento do sistema de recarga das baterias, considerando-se as diferentes interfaces disponíveis com a rede elétrica.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é descrever as principais atividades desenvolvidas durante o estágio atuando em projetos de máquinas de manutenção ferroviária, seja na fase de projeto das máquinas, na análise de viabilidade dos projetos ou quaisquer modificações.

Dado o objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

- Padronização do cálculo do balanço de potência de sistemas de baixa tensão;
- Estudo técnico e orçamentário para alteração da arquitetura de alimentação dos sistemas de baixa tensão de 24 Vdc para 110 Vdc;
- Dimensionamento de baterias de tração para um locotrator trilho/estrada;
- Dimensionamento de um sistema de carregamento de baterias de tração e estudo da viabilidade de um sistema de carregamento rápido;

2 *Materiais e Métodos*

2.1 *Contextualização*

Neste capítulo serão abordados os principais aspectos normativos que regem o projeto de máquinas ferroviárias, os sistemas gerais que compõem os trens e a organização e objetivos da SOCOFER France.

2.1.1 *Apresentação da empresa*

Fabricante ferroviária desde 1920 [1], a SOCOFER France dedica-se à construção de locotratores, vagões e dresinas para manutenção ferroviária. Seu mercado inicial incluía França e África, porém a qualidade dos serviços e maquinários oferecidos cativou clientes de todo o mundo.

Sobre as suas máquinas, a SOCOFER já realizou vários projetos de trens de manutenção para diferentes aplicações, sempre à medida das necessidades de cada cliente. O serviço de atendimento ao cliente recebe solicitações e exigências e, em seguida, desenvolve-se um projeto preliminar para avaliar os requisitos do cliente e acordar com ele a conformidade do projeto. Dessa forma, o cliente pode acompanhar o andamento inicial dos estudos e adaptar seus requisitos conforme necessário.

Os trens de manutenção são essenciais para qualquer rede ferroviária, pública ou privada, que deve obedecer a uma série de normas ferroviárias em cada caso, o que é levado em consideração na fase de projeto preliminar. Além disso, cada trabalho sobre trilhos requer equipamentos e técnicas específicas, exigindo também maquinário adequado para cada caso. A Figura 1 representa as várias máquinas projetadas pela SOCOFER, onde é possível observar os diferentes tamanhos e funções dos trens.



Figura 1 - Exemplos de máquinas concebidas pela SOCOFER

As máquinas de 1 a 4 são locotratores a diesel ou elétricos, podendo ter potências entre algumas dezenas de kW até a ordem de MW (por volta de 40 kW a 1,5 MW). De 5 a 8 e também a máquina 10, tem-se as dresinas, que podem estar ou não acompanhadas de reboque e também embarcadas com alguns equipamentos como guias, elevadores, máquinas de solda e aspiradores. O trem número 9 é uma dresina de inspeção que opera em linhas de alta velocidade (operando em cerca de 180 km/h), o que justifica seu design aerodinâmico diferenciado das demais máquinas. Já o trem de número 11 é um trem multifuncional principalmente para deservagem, utilizado para podas e retirada de excesso de vegetação em torno das linhas ferroviárias. Por fim, o trem de número 12 é um trem aspirador utilizado na limpeza e manutenção de algumas linhas de metrô de Nova Iorque.

A empresa está dividida em diferentes departamentos, como o departamento de Compras, a Oficina, o Atendimento ao Cliente e o Gabinete de Projetos (BE). No BE existem setores como AGV (Arquitetura Geral de Veículos), CES (Cabines e Equipamentos Especiais), TFE (Tração, Frenagem e Energia), Automação e o setor Elétrico (no qual fiz o meu estágio). O organograma completo da empresa é mostrado no Apêndice A.

O setor de AGV é responsável pelos cálculos estruturais do veículo e pelo projeto do chassi, bem como pela arquitetura geral da máquina, pela alocação dos principais equipamentos, pelo tamanho do trem e pela operação geral. O CES cuida do projeto das cabines, suas dimensões, colocação de equipamentos na cabine e também equipamentos especiais, como ar condicionado. O TFE se encarrega de calcular a potência e a energia necessária em cada condição de funcionamento do trem e em cada modo de uso, bem como dimensionar os sistemas de tração e freio.

O setor Elétrico é responsável por todos os equipamentos elétricos de uma máquina, pelos diagramas e por gerenciar todas as suas funções elétricas. É também a parte elétrica que cuida dos cálculos do balanço de energia de BT (baixa tensão), do dimensionamento das baterias de serviço e tração, do carregamento da bateria e do sistema de refrigeração, quando necessário. Por fim, a parte de Automação cuida da programação dos autômatos utilizados nas máquinas de acordo com os diagramas definidos para o BE Elétrico. As rotas dos cabos são definidas de comum acordo entre a AGV, CES, Elétrico e a Oficina.

2.1.2 Aspectos normativos

Como as máquinas operam de maneiras específicas, em redes específicas e em determinados modos (modo de deslocamento e modo de trabalho, por exemplo), o auxiliar encarregado dos estudos elétricos deve conhecer as normas ferroviárias vigentes e entender o comportamento das máquinas e suas diversas funções. Algumas das principais normas que se aplicam à parte elétrica dos trens são:

- EN 61373: Aplicações ferroviárias - Material rolante - Testes de choque e vibração
- EN 50155: Aplicações ferroviárias - Equipamentos eletrônicos usados em material rolante
- EN 60947: Equipamentos de baixa tensão
- IEC 60077: Aplicações ferroviárias – Equipamento elétrico de material rolante
- UIC 522: Condições técnicas a cumprir pelo acoplamento automático das ferrovias membros da UIC e da OSJD
- EN 45545: Aplicações ferroviárias - Proteção contra incêndio em veículos ferroviários

- EN 50264: Aplicações ferroviárias - Cabos de potência e controle com comportamento ao fogo especificado para material rolante ferroviário
- EN 50306: Aplicações ferroviárias - Cabos para material rolante ferroviário com comportamento especial ao fogo - Isolamento fino

Todas essas normas (e várias outras) são utilizadas para garantir a segurança nos trens e o bom funcionamento dos equipamentos elétricos a bordo das máquinas ferroviárias. Para isso, os equipamentos utilizados e os subsistemas devem atender às normas pertinentes.

Além disso, no início do estágio, o assistente responsável pelos projetos elétricos estuda o funcionamento geral dos diferentes trens de trabalho para entender completamente as demandas de potência de tração de acordo com as diferentes rotas e condições de trabalho, os diferentes modos de operação e sistemas elétricos incorporados em máquinas.

2.1.3 Os sistemas dos trens

Embora as máquinas sejam diferentes entre si, existem circuitos e sistemas que são, em geral, os mesmos para todos os trens, como sistemas de frenagem, gestão térmica, iluminação, buzinas e automatismos de condução, por exemplo.

Os sistemas de frenagem são compostos basicamente por um compressor de ar, linhas de pneumáticas e válvulas solenoides que são acionadas para aplicar ou liberar os freios. Existem vários sistemas de freio nas máquinas para diferentes tipos de frenagem (freio direto, freio automático, freio de emergência e freio de imobilização) e também para ter redundância e garantir a frenagem do trem em caso de falha.

O gerenciamento térmico é feito para se controlar a temperatura nos quadros de distribuição e acionamento elétricos, controlar a temperatura das baterias e motores ou controlar a temperatura na cabine para proporcionar melhor conforto ao motorista, para que ele possa passar muito tempo na cabine de acordo com as diversas condições climáticas. O controle térmico é composto por sistemas de refrigeração, aquecimento e ventilação, geralmente alimentados por 400 V trifásico.

A iluminação é utilizada para proporcionar boas condições visuais na cabine para o maquinista, para iluminar a parte externa do trem para o trabalho noturno e também se tem as luzes de segurança. Também por segurança existem dispositivos de aviso sonoros para alertar

quem está fora da máquina sobre a presença de perigos. Temos também os faróis (equivalentes aos faróis de um carro) que são compostas por luzes vermelhas, lanternas brancas e projetores. Quando a máquina está parada, as luzes dianteiras ficam vermelhas e as lanternas estão apagadas. Quando a máquina está funcionando, as luzes brancas estão acesas e as luzes vermelhas estão apagadas. As luzes na parte traseira da máquina são sempre vermelhas. Os projetores são usados para aumentar a distância iluminada na frente da máquina.

Os automatismos de condução podem ser controlados por um CLP (controlador lógico programável) central que recebe sinais de sensores e botões para acionar os atuadores. Por exemplo, o CLP lê a saída do manipulador do acelerador e faz o controle de velocidade da máquina com base em seu modo de operação (modo de trabalho, estacionamento ou modo de deslocamento). Como automatismos de condução, dispõe-se também de equipamentos de segurança como VACMA, RPO e monitoramento de velocidade. O VACMA (sistema de monitoramento de homem morto) serve para garantir que o condutor esteja atento à condução. Se o condutor não operar o VACMA corretamente, o equipamento aciona o freio de emergência. O RPO (Registrador dos Parâmetros Operacionais) registra os eventos de condução (equivalente à caixa preta dos aviões) como velocidade, distância percorrida, acionamento do freio, console selecionado, direção de deslocamento, etc. O monitoramento de velocidade é usado para verificar se a máquina não excede o limite de velocidade de condução. Cada máquina tem seu próprio limite de velocidade, dependendo de sua aplicação e da rede. Quando a velocidade está próxima do limite de velocidade, o equipamento aciona um dispositivo de alerta para que o condutor fique ciente da velocidade e, se necessário, freie a máquina. Se o limite de velocidade for excedido, o monitoramento de velocidade ativa o freio de emergência. Em outros casos de detecção de uma falha crítica na máquina, a frenagem de emergência também pode ser acionada.

Existem também dois tipos de alimentação para os circuitos de BT do comboio: permanente (identificado nos diagramas como “PERM”) e após CBA (Corte automático de bateria). O circuito permanente alimenta as luzes de acesso ao trem, os relés CBA e algumas funções de segurança. A escolha é feita pelo projetista elétrico de acordo com as especificações e o funcionamento esperado da máquina. Os demais circuitos de BT são alimentados após o CBA por questões de segurança e também para aumentar a autonomia das baterias de serviço. Além disso, alguns trens possuem um circuito "CBA de segurança" que é desativado automaticamente após algum tempo.

As máquinas fabricadas são grandes (muitas vezes entre 13 e 23 m para uma única máquina, mas podem ser muito maiores, por exemplo, um trem de deservagem de 60 m composto por 3 vagões de 20 m) com componentes alocados em toda a máquina. Sabendo que uma função reúne um certo número de componentes, esses podem estar, e até geralmente estão em lugares variados. Na metodologia de projeto, agrupamos proteções e elementos de controle (como contadores e relés) em quadros elétricos. As interfaces homem-máquina são colocadas principalmente nas mesas de controle da cabine. Os dispositivos que se deseja controlar dos quais espera-se informações são colocados nos locais que lhes dizem respeito, como um sensor de temperatura na fonte de alimentação. A Figura 2 mostra um exemplo de diagrama e distribuição de componentes em uma máquina.

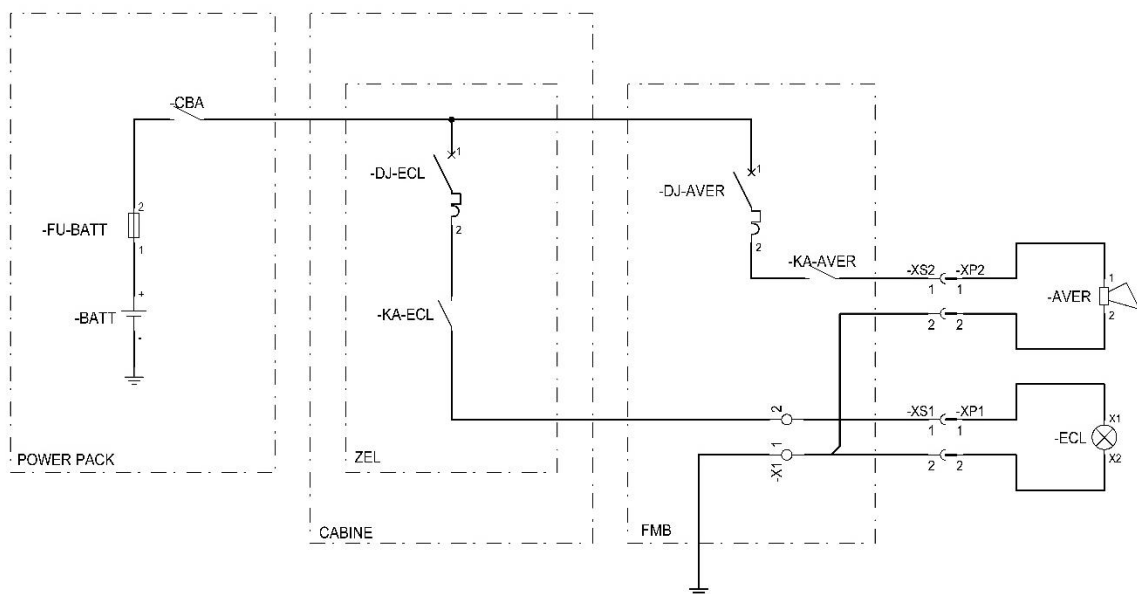


Figura 2 - Exemplo de diagrama elétrico e localização de componentes

Nesta figura, estão representados dois circuitos simples e hipotéticos de uma máquina ferroviária. O primeiro circuito é de um sinalizador sonoro (AVER) e é composto pela sirene, um disjuntor (DJ-AVER) e um contator de acionamento (KA-AVER). Já o segundo circuito é um circuito de iluminação composto por uma lâmpada (ECL), um disjuntor (DJ-ECL) e um contator de acionamento (KA-ECL). Observa-se que ambos os circuitos são alimentados após o CBA e, mesmo que os circuitos sejam parecidos em termos de componentes, a localização de cada dispositivo varia, podendo estar em um armário elétrico na cabine (ZEL) ou em um armário fora da cabine (FMB) sob o chassi do veículo ou em outras partes deste. A localização

dos dispositivos controlados (sirene e lâmpada) depende da função destes dispositivos e ambos estão conectados ao terra (chamado de retorno de 0V) no mesmo ponto.

No apêndice B, observa-se o diagrama funcional do freio direto. Nos retângulos amarelos (ZCL003: representa o quadro elétrico da cabine) encontram-se o disjuntor DJ-FD e os contatos do relé KA-PUP-12 e KA-PUP-22 (que são controlados pelo CLP de acordo com a mesa de seleção). Então, tem-se nos retângulos roxo e vermelho (CDD001: representa o console 1 da cabine / CDD002: representa o console 2 da cabine) encontram-se as interfaces homem-máquina MN-T/FD1 e MN-T/FD2 (MN para manipulador, T para tração e FD para freio direto). Finalmente na BKU003 (a cadeia pneumática) tem-se as válvulas solenoides de aplicação e liberação do freio direto (EV-SG-FD e EV-DG-FD, respectivamente) que são colocadas nas linhas pneumáticas de freio. Para fechar o circuito, as válvulas solenoides são conectadas ao retorno de 0V.

2.2 Padronização do cálculo do balanço de energia de sistemas de baixa tensão

O balanço de potência é um cálculo essencial para projetos de máquinas para dimensionamento de baterias de serviço, conhecimento da autonomia da bateria e proteção de dimensionamento para circuitos de baixa tensão (BT). Para isso, utiliza-se uma pasta de trabalho do Excel para organizar os circuitos por suas funções, equipamentos, proteções e localização dos dispositivos e proteções, bem como realizar os cálculos necessários. As figuras do Apêndice C representam exemplos retirados de um balanço de energia antigo e de difícil leitura. Alguns dados nos exemplos e no novo balanço de energia estão aí apenas como exemplo e não correspondem aos projetos reais.

Os problemas encontrados:

- Arquivos Excel muito diferentes para o mesmo cálculo (falta de padronização);
- Balanços de difícil leitura;
- Informações excessivas e confusas;
- Cálculos pouco automatizados, o que aumenta o tempo para realizá-los;
- Necessidade de inserir manualmente as informações várias vezes, o que pode levar a erros com mais facilidade.

Primeiramente, faz-se uma seleção de informações essenciais para que o arquivo não fique muito carregado e para que fique mais legível e simples. Em seguida, identifica-se os circuitos, suas funções e os dispositivos utilizados em cada circuito.

Como este documento é um modelo e será utilizada por vários engenheiros da empresa, é bom ter instruções de uso para que qualquer pessoa possa utilizá-la sem problemas. Por isso, foi criada a guia “Apresentação” como folha de rosto, que contém as instruções de uso da pasta de trabalho. Esta tabela mostra um resumo das abas e uma dica sobre a ordem de preenchimento das informações. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa o que está na primeira página da pasta de trabalho.

O objetivo desta pasta de trabalho é calcular o balanço de energia BT						
Guia "Cálculo 5 cenários": contém cálculos de consumo em 5 cenários diferentes de uso da máquina (tração diurna, preparação, noite + chuva + metrô rebocado, preparação, motor ocioso, CBA aberto). Também contém o cálculo da corrente de retorno 0V (localização da conexão) e corrente por marcador de disjuntor.						
Guia "Balanço": contém o resumo dos cálculos dos 5 cenários e dos cálculos do balanço de potência.						
Guia "Proteção": cálculo das correntes toleradas por disjuntores e seleção automática de disjuntores.						
Guia "Banco de dados - disjuntores": contém referências de disjuntores para seleção automática de proteção.						
Guia "Banco de dados - dispositivos": contém os aparelhos elétricos e seus dados (referência, fabricante, potência, tensão de alimentação) que são utilizados para os cálculos dos cenários.						
Guia "Banco de dados - circuitos": contém os circuitos do projeto e se eles são alimentados pelo circuito permanente ou após CBA, dados utilizados na guia dos 5 cenários.						
Dica de uso: atualize as informações do banco de dados primeiro, pois essas informações serão utilizadas nas guias de cálculo.						

Figura 3 - Aba "Apresentação"

Para otimizar o processo e fazer os cálculos o mais rápido possível, foi automatizada grande parte do arquivo. Para isso, trabalhou-se com bancos de dados na pasta de trabalho. Assim, identificou-se os circuitos utilizados nas máquinas e os separou-se de acordo com suas fontes de alimentação, seja Permanente ou Após CBA, para que fosse possível calcular o

consumo em cada tipo de fonte de alimentação. Este banco de dados está em uma guia separada da pasta de trabalho e é mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Como a pasta de trabalho será usada para projetos diferentes e cada máquina possui funções diferentes para os requisitos do cliente, o tipo de fonte de alimentação e os nomes dos circuitos podem mudar, portanto, o banco de dados do modelo deve ser modificado em cada caso.

Circuito	Tipo de alimentação
Alimentation motor de arranque	Após CBA
Anti-patinagem	Após CBA
Parada de emergência do motor	Permanente
CLP	Permanente
Sinalizador sonoro	Após CBA
Climatização da cabine	Após CBA
CBA	Permanente
CPM	Após CBA
Descongelador	Após CBA
Iluminação de acesso	Permanente
Iluminação de cabine	Permanente
Iluminação do compartimento do motor	Após CBA
Iluminação do compartimento pneumático	Após CBA
Eclairage manomètre	Após CBA
Iluminação do painel	Após CBA
Registrador de dados	Após CBA
Entradas CLP	Após CBA
Limpador de pára-brisas PUP1	Após CBA
Limpador de pára-brisas PUP2	Após CBA
Luz de sinalização	Após CBA
Freio automático	Após CBA
Freio direto	Após CBA
Freio de emergência	Após CBA
Motor EDC	Permanente

Figura 4 - Banco de dados "Circuitos"

Por exemplo, o circuito destacado na figura é o circuito de iluminação na cabine do trem e está alimentado pelo circuito permanente. Porém, dependendo das condições do projeto e exigências do cliente, esse sistema de iluminação pode ser alimentado pelo circuito após CBA).

Em seguida, foi criado o banco de dados "Dispositivos", onde especifica-se a referência do fabricante do dispositivo na primeira coluna (para que se tenha uma identificação única para cada dispositivo), o tipo de dispositivo na segunda coluna, o fabricante na terceira coluna, a

potência do dispositivo na quarta coluna e a tensão de alimentação de cada equipamento na última coluna. Parte deste banco de dados é mostrada na Figura 5.

Referência do dispositivo	Dispositivo	Fabricante	Potência (W)	Alimentação (V)
CR0234	PLC	IFM	70	24
SW180A-3	Contator	Albright	20	24
LC1D32BD	Contator	Schneider Electric	5,4	24
716325	Iluminação a LED	LUTZE	13,2	24
CWK3C-24-CD	Iluminação a LED	PATLITE	11,5	24
STN 42653	Eletrônica	KNORR BREMSE	90	24
TOM-P	Eletrônica	FAIVELEY	40	24
TOM E	Eletrônica	FAIVELEY	15	24
II6700/024	Válvula solenóide	KNORR BREMSE	6	24
II69812/024	Válvula solenóide	KNORR BREMSE	6	24
I82554/024	Válvula solenóide	KNORR BREMSE	14	24
P2LBX312ESNXB549	Válvula solenóide	PARKER	1,2	24
I85238/024RC	Válvula solenóide do freio de emergência	KNORR BREMSE	6	24
TM - 13/14/15	Embragem magnética do compressor	Valeo Japan	49	24
CR2016-E	Entrada PLC	IFM	120	24
EV20014	EVAP-V1	Autoclim	88	24
EV20014	EVAP-V2	Autoclim	88	24
EV20014	EVAP-V3	Autoclim	88	24
II55802-12-061	LED	KNORR BREMSE	4,8	24
II55802-06-015	LED	KNORR BREMSE	5,8	24
F54-24L8205/HT-08S	Motor elétrico	COMEX	264,6	24
ES2490	Motor limpador de pára-brisas	SPEICH	110	24
TM.02.1224	Motor limpador de pára-brisas	CASTEELS	45	24
XIL-DURA-660	Projeto de LED	VISIONX	30	24
YSP1976	Projeto de LED	Mafelec	35	24

Figura 5 - Banco de dados "Dispositivos"

Para o cálculo automático das proteções (disjuntores) para cada circuito, também foi criado o banco de dados "Disjuntores" (Figura 6), com o calibre (A) do disjuntor na primeira coluna, a referência do fabricante na segunda coluna, o fabricante na terceira coluna e o *derating* a 55 °C (corrente de acionamento do disjuntor em 55 °C) na quarta coluna. O *derating* é usado para verificar se o disjuntor continuará funcionando bem mesmo em temperaturas mais elevadas.

Calibre (A)	Referência do disjuntor	Fabricante	Derating @ 55 °C
1	A9N61501	SCHNEIDER ELECTRIC	0,88
2	A9N61502	SCHNEIDER ELECTRIC	1,63
3	A9N61503	SCHNEIDER ELECTRIC	2,48
4	A9N61504	SCHNEIDER ELECTRIC	3,27
5	A9N61505	SCHNEIDER ELECTRIC	4,36
6	A9N61506	SCHNEIDER ELECTRIC	5,19
10	A9N61508	SCHNEIDER ELECTRIC	8,3
13	A9N61509	SCHNEIDER ELECTRIC	11,4
15	A9N61510	SCHNEIDER ELECTRIC	12,6
25	A9N61513	SCHNEIDER ELECTRIC	21,5

Figura 6 - Banco de dados "Disjuntores"

Depois de criar os bancos de dados, passa-se para o projeto do balanço de energia. Primeiramente, as informações dos circuitos e dispositivos são organizadas em uma tabela de acordo com suas funções (freio, sinalização, ar condicionado, etc.). A Figura 7 representa esta parte da tabela.

Legenda						
Tensão de bateria (V)	27					
Função	Circuito	Localização da proteção	Tipo de alimentação	Nome do disjuntor	Dispositivo	Localização da conexão de 0V
Freio	Freio direto	Armário elétrico	Após CBA	DJ-FD	Válvula solenóide	ZBGM1
			#N/D		#N/D	
	Freio automático	Armário elétrico	Após CBA	DJ-FA	Válvula solenóide	ZBGP1
			#N/D		#N/D	
			#N/D		#N/D	
			#N/D		#N/D	
			#N/D		#N/D	
			#N/D		#N/D	
	Frein d'urgence	Armário elétrico	#N/D	DJ-FU	Rélais de commande	ZECP
			#N/D		#N/D	
Visibilidade	Limpador de pára-brisas PUP1	Armário elétrico	Após CBA	DJ-EG/LG1	Motor limpador de pára-brisas	ZXH
			#N/D		#N/D	
	Limpador de pára-brisas PUP2	Armário elétrico	Após CBA	DJ-EG/LG2	Motor limpador de pára-brisas	ZBGM1
			#N/D		#N/D	
Signalisation	Dégivrage	Cabine	#N/D	DJ-DG	Résistance électrique	ZBGP1
	Projecteur de travail	Armoire électrique	Após CBA	DJ-PJT	Projector de LED	ZBGP2

Figura 7 - Novo balanço de energia, parte 1

Obs.: o erro #N/D indica que as fórmulas não encontraram o que deveriam procurar em células vazias. Quando a tabela estiver completa, não há esse erro.

Observa-se que parte das informações é selecionada automaticamente (células azuis) e parte das informações é inserida manualmente (células amarelas). A seleção automática é feita a partir da recuperação das informações nos bancos de dados, de modo a diminuir o tempo de preenchimento da tabela e também diminuir os erros manuais. Para o resto da tabela (Figura 8), tem-se mais informações e os primeiros cálculos.

Função	Referência	Fabricante	Nome do dispositivo	Quantidade	Potência do dispositivo [W]	Tensão de alimentação do dispositivo
Freio	I16700/024	KNORR BREMSE	EV-SG-FD	1	6	24
		#N/D			#N/D	#N/D
	I169812/024	KNORR BREMSE	EV-SG-FA	1	6	24
		#N/D			#N/D	#N/D
		#N/D			#N/D	#N/D
		#N/D			#N/D	#N/D
		#N/D			#N/D	#N/D
		#N/D			#N/D	#N/D
	CAD32BD	Schneider Electric	KM-FU11	1	5,4	24
			#N/D			#N/D
#N/D			#N/D	#N/D		
#N/D			#N/D	#N/D		
#N/D			#N/D	#N/D		
#N/D			#N/D	#N/D		
Visibilidade	ES2490	SPEICH	EG-11	1	110	24
		#N/D			#N/D	#N/D
	ES2490	SPEICH	EG-21	1	110	24
		#N/D			#N/D	#N/D
		#N/D			#N/D	#N/D
Ref9	Fab5	DG	1	500	24	
Signalisation	XIL-DURA-660	VISIONX	PJT1	1	30	24

Figura 8 - Novo balanço de energia, parte 2

Na coluna "Tensão de alimentação do aparelho" encontra-se a tensão utilizada para calcular a sua corrente nominal (coluna de consumo) em função da potência. Nesta coluna, se tem o cálculo para determinar a tensão realmente utilizada, não apenas a tensão retirada do banco de dados. A norma EN 50155 [2] determina que os dispositivos eletrônicos a bordo de máquinas ferroviárias devem operar dentro da seguinte faixa de tensão:

$$0,7 * U_N < U_N < 1,25 * U_N$$

Isso significa que os equipamentos eletrônicos ferroviários devem operar normalmente entre 70% e 125% de sua tensão nominal. Então testa-se esta condição em relação à tensão das baterias de serviço. Se a tensão nominal estiver dentro desta faixa de tensão da bateria de serviço, o cálculo é feito com a tensão da bateria. Caso contrário, a tensão nominal do dispositivo é usada. Por exemplo, o consumo de aparelhos alimentados com 110 V é calculado com base em 110 V se as baterias de serviço forem de 24 V. Neste caso, o equipamento é acionado por um conversor auxiliar.

Em seguida, considera-se os diferentes cenários de operação da máquina para ter os coeficientes de uso de cada dispositivo (Figura 9 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Abaixo estão os 5 cenários considerados:

- Cenário 1 (Fase de tração): tração em carga nominal da máquina, seja em deslocamento ou um trem de trabalho específico;
- Cenário 2 (Chuva + Névoa + Noite): tração em carga nominal e mais equipamentos necessários devido às condições climáticas;
- Cenário 3 (Fase de Preparação): fase de preparação do trem em que são preenchidos os tanques de ar e as linhas pneumáticas;

- Cenário 4 (Motor ocioso): fase de tração à carga nominal em que o motor está desacelerando;
- Cenário 5 (CBA aberto): cenário em que há consumo apenas de equipamentos alimentados pelo circuito permanente.

		Cenário 1 (fase de tração)	Cenário 2 (Chuva + Névoa + Noite)	Cenário 3 (Fase de preparação)	Cenário 4 (Motor ocioso)	Cenário 5 (CBA Aberto)
Função	Consumo do dispositivo (A)	Coefficiente de utilização	Coefficiente de utilização2	Coefficiente de utilização5	Coefficiente de utilização8	Coefficiente de utilização11
Freio	0,22	1	1	0	0	0
	#N/D	1	1	0	0	0
	0,22	1	1	0	0	0
	#N/D	1	1	0	0	0
	#N/D	1	1	0	0	0
	#N/D	1	1	0	0	0
	#N/D	0	1	0	0	0
	#N/D	0	1	0	0	0
	0,20	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	#N/D	1	1	0	1	0
	Visibilidade	4,07	0	1	0	0,3
#N/D		0	1	0	0	0
4,07		0	0	0	0	0
#N/D		0	0	0	0	0
18,52		0	0,5	0	0	0
Signalisation	1,11	0	0	0	0	0

Figura 9 - Novo balanço de energia, coeficientes de utilização e cenários

A coluna "Consumo do aparelho (A)" considera o consumo nominal. Por outro lado, é necessário se considerar os coeficientes de utilização para se ter o consumo real dos equipamentos de BT. Na Figura 9, não se vê os cálculos de consumo reais porque as colunas estão ocultas para que o arquivo seja mais legível e menos carregado. A Figura 10 mostra as colunas ocultas e as potências e correntes corrigidas em relação aos coeficientes de utilização.

Cenário 1 (fase de tração)			Cenário 2 (Chuva + Névoa + Noite)		
Coefficiente de utilização	Potência ajustada (W)	Corrente ajustada (A)	Coefficiente de utilização2	Puissance corrigée (W)3	Corrente ajustada (A)4
1	6,00	0,22	1	6,00	0,22
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	6,00	0,22	1	6,00	0,22
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
0	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
0	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	5,40	0,20	1	5,40	0,20
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
1	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
0	0,00	0,00	1	110,00	4,07
0	#N/D	#N/D	1	#N/D	#N/D
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0	#N/D	#N/D	0	#N/D	#N/D
0	0,00	0,00	0,5	250,00	9,26
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00

Figura 10 - Novo balanço de energia, coeficientes e colunas ocultas

Após ter feito todos os cálculos de consumo dos aparelhos, calcula-se a corrente total por cada disjuntor para que se possa dimensionar as proteções de cada circuito. Para isso, é utilizado um algoritmo que localiza na tabela todos os dispositivos conectados ao mesmo marcador de disjuntor e depois realizar a soma das correntes nominais para obter a corrente total. A Figura 11 mostra a tabela que corresponde a esses cálculos.

Nome do disjuntor	Corrente total (A)
DJ-AE	3,333333333
DJ-AU	0,8
DJ-AUT	2,592592593
DJ-AVER	0,088888889
DJ-CASS	0,555555556
DJ-CBAP	0,754074074
DJ-CD-V1	3,703703704
DJ-CD-V2	3,703703704
DJ-CM-CL	0,185185185
DJ-COMP	1,814814815
DJ-DEM	11,22222222
DJ-DG	18,51851852
DJ-ECL-AC	1,703703704
DJ-ECL-CAB	0,851851852
DJ-ECL-CM	1,703703704
DJ-ECL-PUP	1,762962963
DJ-EDC	7,407407407
DJ-EDC-permanent	1,203703704
DJ-EG/LG1	5,740740741
DJ-EG/LG2	5,740740741
DJ-ENR	1,481481481
DJ-ENT	4,444444444
DJ-EVAP-V1	3,259259259

Figura 11 - Corrente total por disjuntor

Observa-se que há uma grande diferença de consumo entre determinados circuitos. Por exemplo, o circuito de sinalização sonora (DJ-AVER) é o menor consumidor na tabela, consumindo cerca de 89 mA. Já o circuito de degelo (DJ-DG), que é utilizado em caso de congelamento dos para-brisas e outras partes da cabine, é o circuito de maior consumo mostrado no exemplo, com uma corrente nominal de 18,5 A.

Em seguida, deseja-se calcular a corrente dos pontos de retorno de 0 V (mostrados na Figura 12 como "Local de conexão"). Esta corrente é usada para ajudar a dimensionar os cabos

e rede de terra para o retorno de 0 V. O algoritmo implementado aqui funciona como o algoritmo anterior.

Localização da conexão	Corrente total (A)
ZBGM1	11,91111111
ZBGM2	5,437037037
ZBGP1	20,64814815
ZBGP2	2,314814815
ZBL	2,213804714
ZCL1	2,277777778
ZCL2	2,245259259
ZCTW	12,61562963
ZECP	3,162962963
ZEL	9,366666667
ZFL1	9,2
ZFL2	12,07259259
ZNB	6,296296296
ZNL1	8,17037037
ZXH	11,17777778
ZXL	31,35555556
Total Geral	150,4658047

Figura 12 - Corrente total por ponto de conexão de retorno de 0 V

Cada código da primeira coluna representa uma localização diferente para a ligação de retorno de 0 V, localizações as quais estão espalhadas pelo chassi do veículo e também por pontos específicos na cabine e armários elétricos. O retorno de 0 V representado na Figura 2 seria um desses pontos mostrados na tabela, podendo ser, por exemplo, a localização ZBL. Nota-se que os pontos de conexão por vezes possuem correntes muito distintas, variando entre 2 e 32 A, de forma a não se super ou subdimensionar os cabos nestes locais.

Para finalizar a aba "Cálculo 5 cenários" do arquivo, tem-se as potências e correntes totais para os circuitos permanentes e após CBA (Figura 13), o que dá uma dimensão do consumo total desses circuitos.

		Potência (W)	Corrente (A)
Total	Após CBA	2832,1	80,75
	Permanente	151,26	5,60

Figura 13 - Potências e correntes totais por tipo de alimentação

Para finalizar a pasta de trabalho padronizada para o balanço de energia, foi criada uma aba de relatório e também a seleção automática das proteções dos sistemas, o que está apresentado na seção de resultados deste trabalho.

2.3 *Estudo de mudança de arquitetura de 24 Vdc a 110 Vdc*

Um cliente fez uma solicitação de locotratores elétricos com 1 MW de potência de tração para trabalhar em algumas linhas na região metropolitana de Paris. Um dos requisitos para este projeto era ter uma longa autonomia das baterias de serviço para que os circuitos de segurança pudessem operar por várias horas com a máquina parada sem recarga. Normalmente, os circuitos de baixa tensão dos trens são alimentados com 24 Vdc e os equipamentos alimentados com 110 Vdc precisam de conversores.

Para ter essa autonomia solicitada pelo cliente, a solução estudada foi a mudança de arquitetura de 24 para 110 Vdc. Desta forma, a corrente extraída das baterias é menor e, conseqüentemente, as baterias são descarregadas mais lentamente.

Primeiro, foi feita a pesquisa de todos os dispositivos usados que também estão disponíveis em 110 Vdc ou equivalente. Em seguida, solicitou-se aos fabricantes um orçamento para equipamentos de 24 e 110 Vdc para analisar o impacto orçamentário da mudança de arquitetura e estudar sua viabilidade financeira. Na Figura 14 tem-se alguns dos equipamentos e seus preços.

	24 Vdc				110 Vdc			
Appareil	Fabricant	Référence	Prix	Fabricant	Référence	Prix		
Contacteur	Albright	SW200A-11	90,80 €	Albright	SW200A-1326 43	90,80 €		
Contacteur	Albright	SW180-3	40,60 €	Albright	SW180B-19	40,60 €		
Relais embrochable 2 inverseurs 250VAC 10A 24VDC	Finder	553290245090	11,98 €	Finder	553291105090 60	11,01 €		
Relais embrochable + embase de relais	Finder	553390240090 + 9403SMA	11,86 €	Finder	553391100090 + 9403SMA	13,19 €		
Relais embrochable + embase de relais	Finder	466190240074 + 9403SMA 9701SPA	8,76 €	Finder	466191100074 + 9403SMA 9701SPA	11,49 €		
Electrovanne	Parker	132K03-2995-481865C2	140,64 €	Parker		148,10 €		
Electrovanne	Parker	E121K03-2995-481865C2	87,16 €	Parker		90,69 €		
Electrovanne	Knorr-Bremse	I186418/024	157,13 €	Knorr-Bremse	I186418/110	157,13 €		
Electrovanne	Knorr-Bremse	I85238/024RC	659,07 €	Knorr-Bremse	I85238/110RC	659,07 €		
Electrovanne	Knorr-Bremse	I167700/024	32,65 €	Knorr-Bremse	I167700/110	32,65 €		
Electrovanne	Knorr-Bremse	I169812/024	4 242,76 €	Knorr-Bremse	I169812/110	4 242,76 €		
Electrovanne	Knorr-Bremse	I82554/1024	138,71 €	Knorr-Bremse	I82554/1110	138,71 €		
LED	Knorr-Bremse	I155802/12-061	113,28 €	Knorr-Bremse	I155802/12-040	113,28 €		
LED	Knorr-Bremse	I155802/06-015	113,28 €	Knorr-Bremse	I155802/06-012	113,28 €		
Projecteur LED	Mafelec	YSP1977	400,00 €	Mafelec	(ML 5-1 /170) YSP2150	425,00 €		
Electrovanne	PARKER	P2LBX312ESNXB549	72,55 €	PARKER	P2LBX312ESNXXX + P2E-MV35E0	96,55 €		
Barre LED	PATLITE	CWK2C-24-CD	149,37 €	Finder	7L.43.0.230.1100	33,08 €		
Barre LED	PATLITE	CWK3C-24-CD	174,59 €	Finder	7L.46.0.230.1100	48,60 €		
Contacteur	Schneider Electric	LC1D32BD	71,54 €	ABB	1SBL276061R2200	78,42 €		
Contacteur	Schneider Electric	LC1D09BD	32,64 €	ABB	1SBL236061R2200	66,48 €		
Tête bouton poussoir 30 mm	Mafelec	YSP1264B224	212,65 €	Mafelec	YSP1264B264	212,65 €		
Voyant 3 axes à LED	Mafelec	YSP1264A226	212,65 €	Mafelec	YSP1264A266	212,65 €		
Voyant plat	Mafelec	YSP1082R205	123,88 €	Mafelec	YSP1178R207	123,88 €		
Contacteur 3PNO 400VAC 25A 1NC 24 VDC	ABB	1SBL136060R2101	51,95 €	ABB	1SBL136005R2201	26,54 €		
Contacteur 3PNO 400VAC 25A 1NO 24VDC	ABB	1SBL136060R2110	51,95 €	ABB	1SBL136005R2210	26,54 €		
Contacteur 2PNO +2PNC 690VAC ou 440VDC 25A 24VDC	ABB	1SBL136560R2100	56,49 €	ABB	1SBL136560R2200	56,49 €		
Contacteur 3PNO 400VAC 100A 24VDC	ABB	1SBL357010R7200	194,52 €	ABB	1SBL357010R7000	348,47 €		
Relais	Leach	F470 H4AP UUU	69,70 €	Leach	F470 H4VP UUU XUU	73,20 €		

Figura 14 - Tarifas de alguns dispositivos BT para as duas tensões

De posse desses valores, observou-se que o impacto financeiro é positivo, mas muito baixo (redução de cerca de 1%), principalmente se for considerado o valor total da máquina. Alguns dispositivos são mais caros em 110 V, mas há outros que são mais baratos de outros fornecedores. Feita a análise orçamentária, foram construídos os diagramas de alimentação em 24 V e em 110 V, diagramas os quais se encontram na seção de resultados deste trabalho.

2.4 Dimensionamento de baterias de tração

Um cliente solicitou o projeto de uma manobra elétrica rodoferroviária com potência de tração de pico de 300 kW. Para este projeto, foi adaptada a cadeia de tração de uma máquina rodoferroviária a diesel, que é mostrada na Figura 15.



Figura 15 - Locotrator diesel rodoferroviário

Este projeto será basicamente o mesmo, sendo necessária apenas a substituição da cadeia de tração diesel por tração elétrica. Isso significa que os demais equipamentos e funções elétricas serão basicamente os mesmos. Assim, os componentes de tração da máquina são removidos para conhecer o espaço disponível na máquina e estudar a arquitetura de tração. Na Figura 16 (vista lateral) e Figura 17 (vista superior) tem-se o locotrator após a remoção dos componentes de tração diesel.

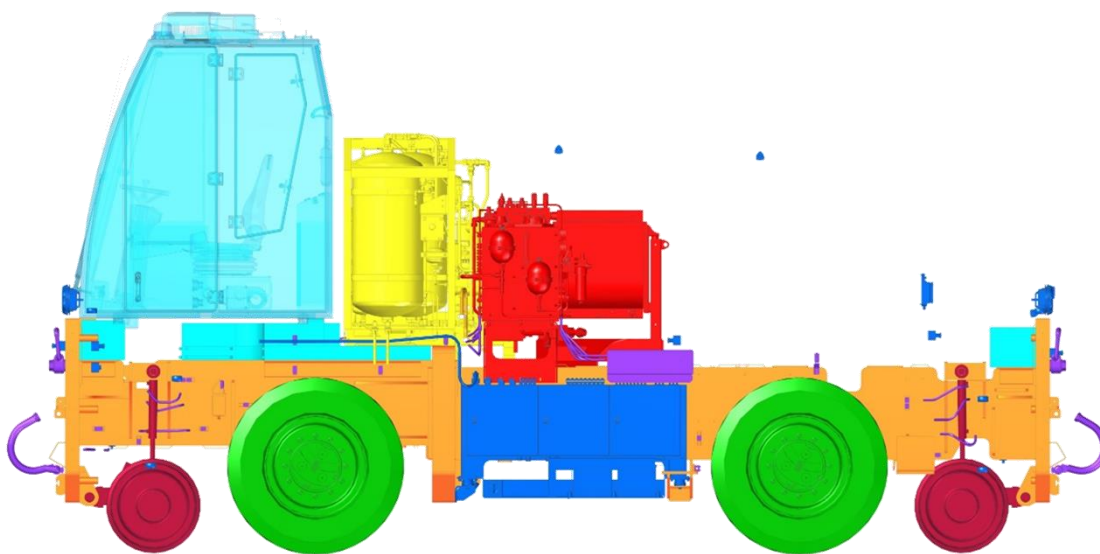


Figura 16 - Vista lateral do locotrator após a remoção dos componentes de tração

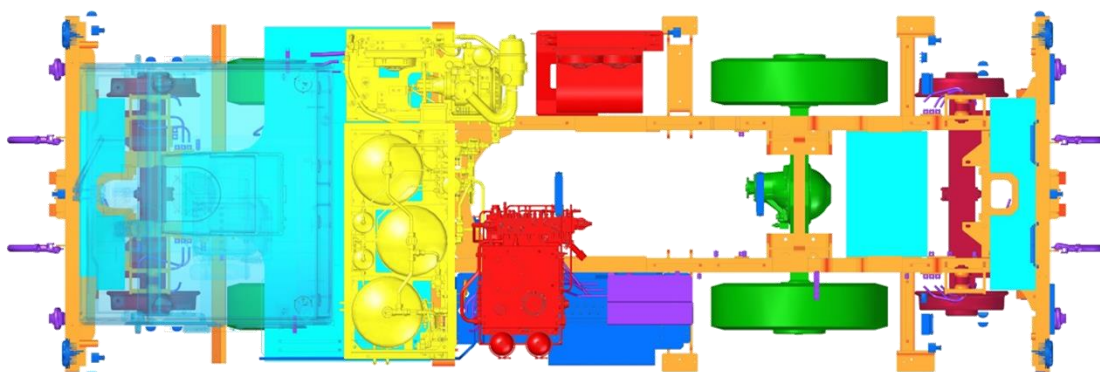


Figura 17 - Vista superior do locotrator após a remoção dos componentes de tração

Em seguida, pesquisou-se fornecedores de baterias para avaliar as melhores opções que atendem às restrições técnicas, como potência e capacidade da bateria, tamanho, relação peso/potência, tensão de saída e taxa de carga e descarga. As baterias também devem responder ao contexto normativo do projeto.

Fornecedores como FORSEE Power, Hoppecke, Leclanché, SAFT, AKASOL e A123System foram consultados para verificar as gamas de baterias adequadas para aplicações ferroviárias e para este projeto. Após uma análise orçamentária e técnica, a gama de baterias FORSEE ZEN SLIM (Figura 18) foi escolhida.



Figura 18 - Gama de baterias ZEN SLIM

Nesta gama, as baterias têm boa densidade de energia (relação energia/peso), capacidade e potência. Entre as baterias ZEN 11, 16 e 21 SLIM, foi escolhida a última opção pela sua capacidade e tensão nominal. Nas Figuras 19 e 20 tem-se as principais informações técnicas sobre essas baterias.




	ZEN 11 SLIM	ZEN 16 SLIM	ZEN 21 SLIM
			
Type of battery	High-energy module	High-energy module	High-energy module
Energy	10.6 kWh	16.2 kWh	21.1 kWh
Energy density	>160 Wh/kg	>160 Wh/kg	>160 Wh/kg
Voltage	60 V (69 V max)	90 V (104 V max)	120 V (138 V max)
Cell technology	NMC pouch	NMC pouch	NMC pouch
Cooling	Versatile liquid / air	Versatile liquid / air	Versatile liquid / air
C-rate	Up to 1C cont. / 2C peak	Up to 1C cont. / 2C peak	Up to 1C cont. / 2C peak
Dimensions	845 x 465 x 135 mm	1160 x 465 x 135 mm	1475 x 465 x 135 mm
Expected SOP	Q4 2021	Q4 2021	Q4 2021

Figura 19 - Comparação de baterias da gama ZEN

Description	ZEN 11	ZEN 16	ZEN 21
Normal voltage	59.68V	89.52V	119.36V
Voltage range	44.8~68.8V	67.2~103.2V	89.6~137.6V
Energy / module	10.56kWh	15.84	21.12
C rate _ continue	Up to 1C		
C rate _ peak	Up to 2C		
Energy density	157.3Wh/kg	161.6Wh/kg	165Wh/kg
Weight	67.15±1.5kg	98±2kg	128±2.5kg
Dimension	135*845*465	135*1158*465	135*1471*465
IP level	IP67	IP67	IP67
Cooling management	Natural convection or liquid cooling	Natural convection or liquid cooling	Natural convection or liquid cooling
Operation temperature	-20 ~ +55 °C		
Charge temperature	0 ~ +55 °C		
Ambient temperature	-20 ~ +55 °C with thermal management		

Figura 20 - Ficha técnica das baterias

Observa-se que o módulo ZEN 21 possui a maior energia nominal (21,12 kWh) e a maior densidade energética (165 kWh/kg), o que torna necessário o uso de menos módulos para atingir a energia embarcada necessária para o projeto. Depois de avaliar os requisitos do cliente com base no trabalho planejado e no uso normal da máquina, o setor de TFE determinou uma energia embarcada de pelo menos 224 kWh. Então eles escolheram o motor e o conversor para acionar o motor. Essas informações estão nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Informações técnicas do motor

Motor	CeTraxGenericName
Potência (pico/nominal)	300/200kW
Voltagem (faixa nominal/voltagem)	650 / 550-800 VCC
Corrente (pico/nominal)	500/375A
Peso	285kg
Dimensões	850 x 490 mm (comprimento x diâmetro)
Resfriamento	Líquido

Tabela 2 - Informações técnicas do conversor de tração

Inversor	ACH65M50
Potência (pico/nominal)	325 / 243,75 kW
Tensão (nominal/faixa de tensão)	650 / 550-800 Vdc
Corrente (pico/nominal)	500/375A
Peso	25kg
Dimensões	635 x 362 x 122 mm
Resfriamento	Líquido

A configuração final do *pack* de baterias e suas demais informações se encontram na seção de resultados deste trabalho.

2.4.1 Dimensionamento do sistema de carregamento

Para dimensionar o sistema de carregamento da bateria, primeiro é necessário conhecer a interface de alimentação disponível. Normalmente tem-se para a recarga de baterias de serviço uma tomada de oficina trifásica de 32 ou 63 A e tensão de fase-neutro de 230 V 50 Hz. Neste caso está disponível uma tomada de 63 A, então calcula-se a potência disponível com a equação abaixo:

$$P_{3\phi} = 3 * I * V * fp$$

Em que:

$P_{3\phi}$: potência trifásica

I: corrente nominal da tomada

V: tensão de fase

fp : fator de potência

Se for considerado o fator de potência unitário para conhecer a potência máxima da tomada, obtém-se uma potência disponível de 43,4 kW. É interessante usar toda a potência da tomada para que as baterias se recarreguem o mais rápido possível. Por isso, foram pesquisados carregadores que possam ser embarcados na máquina (devem ser observados os padrões normativos aplicáveis) e que estejam próximos da potência da tomada.

Em geral, os conversores convencionais possuem tensão de saída constante, o que não é ideal para recarregar baterias. No entanto, os carregadores de bateria são conversores que modulam a tensão de saída de acordo com o SOC (*State Of Charge*) das baterias, aumentando a tensão de saída gradativamente para que a corrente de carga seja constante e controlada, sem danificar as células da bateria. Procurou-se, portanto, módulos de carregamento com uma potência próxima da potência da tomada, tensão de entrada e saída trifásica ligeiramente superior à tensão da bateria quando totalmente carregada.

3 Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos três trabalhos supracitados, sendo devidamente separados os resultados de cada atividade desenvolvida.

3.1 Padronização do cálculo do balanço de energia de sistemas de baixa tensão

Continua-se a pasta de trabalho com a guia "Relatório", onde finalmente é feito o balanço de energia. Neste cálculo, devem ser considerados os 5 cenários de consumo mencionados acima. Desta forma, para cada perfil de consumo, tem-se a potência demandada pelos circuitos, a potência fornecida pelo alternador (para máquinas a diesel), a margem de potência da bateria e seu tempo estimado de recarga. A Figura 21 mostra o balanço dos cenários 1 e 2, mas há os outros 3 balanços que permanecem na mesma aba.

Cenário 1 (tração diurna)				Cenário 2 (noite + chuva + metrô rebocado)			
Total	Após CBA	Potência (W)	Corrente (A)	Total	Após CBA	Potência (W)	Corrente (A)
	Permanente	799,0	28,6		Permanente	1973,0	49,3
		128,3	4,8			128,3	4,8
Total		927,3	33,4	Total		2101,3	54,1
Velocidade motor térmico (RPM)		1800		Velocidade motor térmico (RPM)		1800	
Velocidade alternador (RPM)		5825		Velocidade alternador (RPM)		5825	
Potência alternador (W)		3915		Potência alternador (W)		3915	
Margem de bateria (W)		2987,74		Margem de bateria (W)		1813,74	
Ccorrente da bateria (A)		106,71		Ccorrente da bateria (A)		64,78	
Tempo de recarga da bateria (h)		2,11		Tempo de recarga da bateria (h)		3,47	

Figura 21 - Exemplo de balanço de energia para 2 cenários

Também se quer automatizar a escolha dos disjuntores para cada circuito para que a escolha seja precisa e rápida. Por isso, foi criada a aba "Proteção" que é totalmente automatizada para o dimensionamento de disjuntores BT. Nas duas primeiras colunas da tabela (Figura 22) recupera-se a referência e a corrente para cada disjuntor. Então é feita uma correção da corrente para dimensionar o disjuntor e que seu calibre não seja muito próximo da corrente nominal. Para fazer isso, multiplica-se a corrente total do disjuntor por um fator de 1,15 e, em seguida, a tabela seleciona as classificações dos disjuntores disponíveis no banco de dados. A coluna

"Verificação" é utilizada para verificar se a corrente corrigida não ultrapassa o calibre do disjuntor, o que garante uma escolha mais precisa. As últimas 3 colunas mostram as informações dos disjuntores selecionados.

Nome do disjuntor	Corrente total (A)	Corrente total admitida (A)	Calibre (A)	Verificação	Derating @ 55 °C (A)	Fabricante	Referência do disjuntor
DJ-AE	3,333333333	3,83	4,00	OK	3,27	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61504
DJ-AU	0,8	0,92	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-AUT	2,592592593	2,98	3,00	OK	2,48	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61503
DJ-AVER	0,088888889	0,10	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-CASS	0,555555556	0,64	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-CBAP	0,754074074	0,87	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-CD-V1	3,703703704	4,26	5,00	OK	4,36	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61505
DJ-CD-V2	3,703703704	4,26	5,00	OK	4,36	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61505
DJ-CM-CL	0,185185185	0,21	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-COMP	1,814814815	2,09	3,00	OK	2,48	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61503
DJ-DEM	11,22222222	12,91	13,00	OK	11,4	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61509
DJ-DG	18,51851852	21,30	25,00	OK	21,5	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61513
DJ-ECL-AC	1,703703704	1,96	2,00	OK	1,63	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61502
DJ-ECL-CAB	0,851851852	0,98	1,00	OK	0,88	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61501
DJ-ECL-CM	1,703703704	1,96	2,00	OK	1,63	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61502
DJ-ECL-PUP	1,762962963	2,03	3,00	OK	2,48	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61503
DJ-EDC	7,407407407	8,52	10,00	OK	8,3	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61508
DJ-EDC-permanent	1,203703704	1,38	2,00	OK	1,63	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61502
DJ-EG/LG1	5,740740741	6,60	10,00	OK	8,3	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61508
DJ-EG/LG2	5,740740741	6,60	10,00	OK	8,3	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61508
DJ-ENR	1,481481481	1,70	2,00	OK	1,63	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61502
DJ-ENT	4,444444444	5,11	6,00	OK	5,19	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61506
DJ-EVAP-V1	3,259259259	3,75	4,00	OK	3,27	SCHNEIDER ELECTRIC	A9N61504

Figura 22 - Tabela de seleção automática de disjuntores

Este cálculo é feito automaticamente e é adequado para circuitos "simples" como iluminação, válvulas solenoides, tomadas, buzinas, etc. Por outro lado, para o dimensionamento de circuitos "complexos" (partida de motor a diesel, por exemplo) o cálculo é feito manualmente. A partida do motor, que é feita por meio de um motor de arranque, é considerada complexa por sua corrente que tem um pico muito forte na partida em um curto período. Para isso, se a proteção for dimensionada como um disjuntor de acordo com sua corrente média, o disjuntor pode disparar durante a partida. Neste caso normalmente é utilizado um fusível com curva especial para o projeto, solução menos onerosa do que um disjuntor especial.

3.2 Estudo de mudança de arquitetura de 24 Vdc a 110 Vdc

Após a realização da análise orçamentária, foi construída a arquitetura de baixa tensão do locotrator de forma a ter o máximo de dispositivos na mesma tensão das baterias de serviço. A Figura 23 representa a arquitetura considerando as baterias em 24 V.

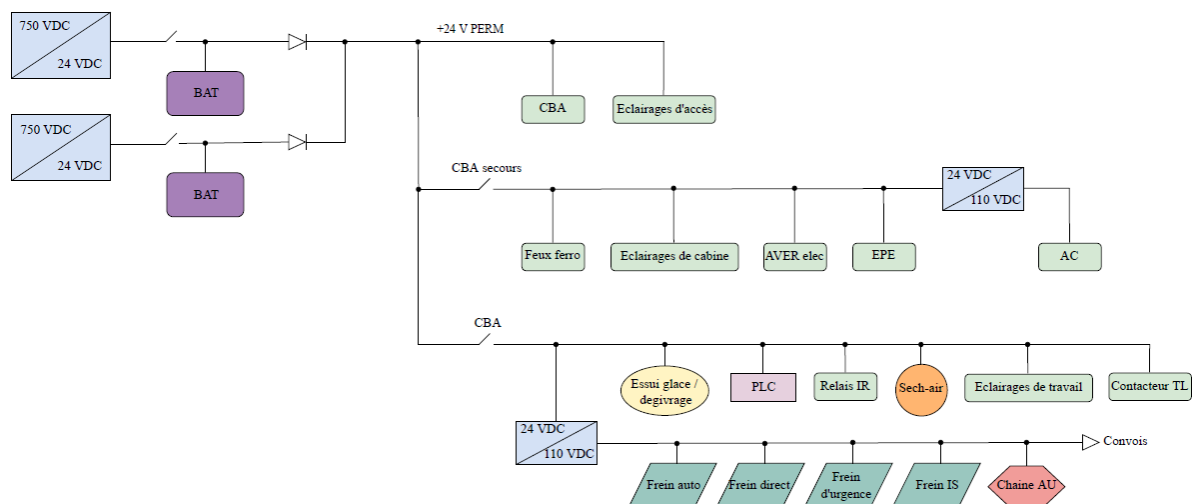


Figura 23 - Arquitetura BT em 24 V

O trem é alimentado por catenária a 1500 Vdc, então conversores são usados para baixar a tensão e recarregar as baterias. Outros conversores têm a função de alimentar equipamentos que são necessariamente 110 V. Os blocos de freio (*Frein auto* - freio automático, *Frein direct* - freio direto, *Frein d'urgence* - freio de emergência e *Frein IS* - freio de estacionamento) representam as válvulas solenoides de atuação do freio.

Outros dispositivos dos esquemas:

- Sech-air: sistema de secagem a ar;
- Essui glace / dégivrage: limpador de para-brisas e degelo;
- Éclairages: iluminações;
- Feux ferro: faróis;
- AC: automatismos de condução;
- Chaine AU: a cadeia de parada de emergência;
- EPE: Registrador de Parâmetros Operacionais;
- AVER elec: sirene elétrica;
- Contacteur TL: contator "Train Line", que permite a conexão elétrica entre o locotrator e os vagões;
- Relais IR: relé de isolamento da bateria de tração.

Abaixo (Figura 24) tem-se a arquitetura em 110 V.

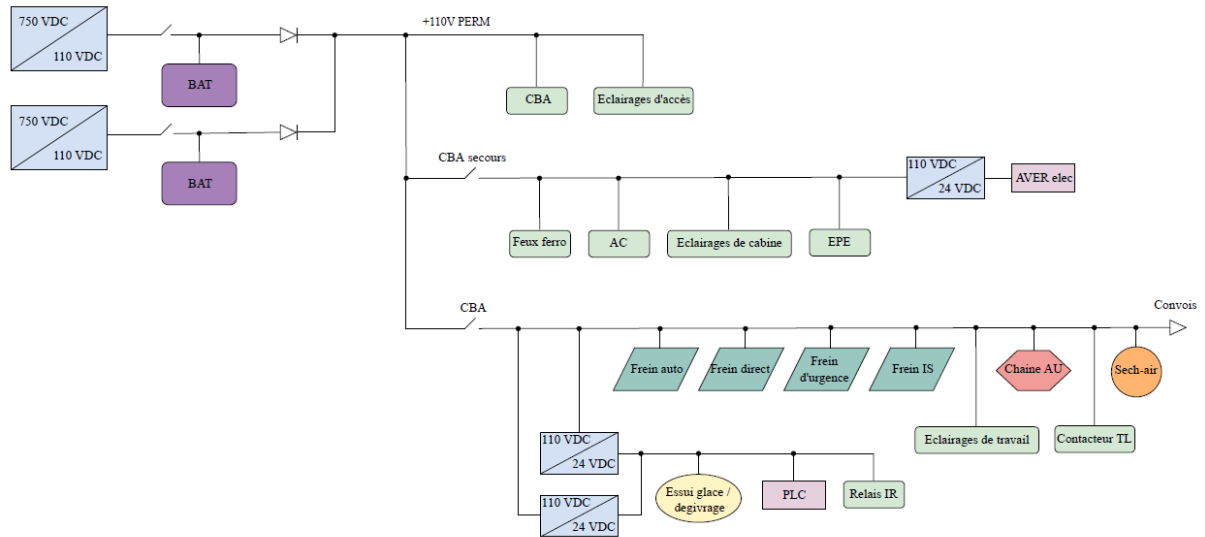


Figura 24 - Arquitetura BT em 110 V

Equipamentos que são necessariamente 24 V são alimentados por conversores. Como o CLP é essencial para o bom funcionamento da máquina, existem dois conversores em paralelo para garantir sua alimentação em caso de falha do conversor.

Há também dois grupos de baterias de conversores nos diagramas. Existem esses dois grupos para ter alimentação redundante de circuitos de BT em caso de falha de uma bateria ou conversor.

Ao final deste estudo, foi escolhida a arquitetura 110 V e a autonomia esperada aumentou consideravelmente, de cerca de 16h para 72h, atendendo aos requisitos do cliente.

3.3 Dimensionamento de baterias de tração

Para que o pacote fique dentro da faixa de tensão do conversor, foi decidida uma configuração de 6 módulos em série. Além disso, para se ter a corrente de pico para o motor, foi feito o *pack* com 4 ramais em paralelo. Sabendo-se que há uma degradação de corrente

quando há baterias em paralelo, então foi considerado um fator de degradação em paralelo de 0,85 e obtido uma corrente nominal de 602 A, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Solução de baterias proposta

Módulos/células	FORSEE Zen 21
Tensão	119,4/89,6-137,6V
Capacidade	177 Ah
Energia nominal	21,13 kWh
Potência	21,13 kW (1C)
Corrente de descarga contínua	177A
Configuração	6s4p
Tensão do pack	716,4/537,6-825,6V
Corrente nominal (fator de degradação em // de 0,85)	602A
Energia embarcada	507,12 kWh
Potência nominal do pack	507,12 kW (1C)
Potência nominal do pack (fator de degradação em // de 0,85)	431,3 kW
Peso por módulo	127,5kg
Peso total do pack	3060kg
Dimensões (módulo)	135 x 465 x 1471 mm
Resfriamento	Líquido

Desta forma, com uma configuração 6s4p, foi obtida uma energia embarcada muito superior à energia solicitada no início, o que aumenta a autonomia da máquina. Por outro lado, deve-se considerar que o tempo de recarga das baterias também aumenta devido à alta energia embarcada. Além disso, como se tem mais potência e corrente do que o exigido pelo sistema de tração, foi garantido o funcionamento das baterias sem esforços extremos, o que leva a uma vida útil mais longa e a um sistema de refrigeração não superdimensionado. Outra vantagem é ter a energia e a potência necessárias para conduzir os equipamentos de trabalho através de uma linha de trem, caso o cliente queira abastecer os vagões do comboio.

Após ter definido a configuração do banco de baterias, foi simulada sua localização no locotrator em diferentes posições. As Figuras 25 e 26 mostram uma das posições possíveis para o *pack* de baterias.

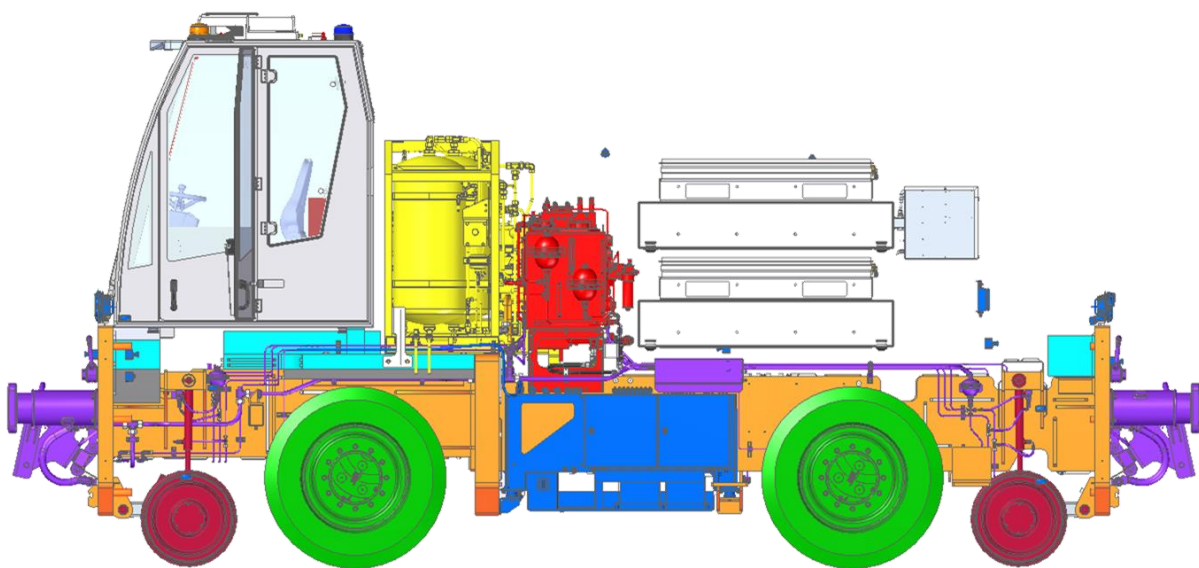


Figura 25 - Exemplo de localização do pack de baterias, vista lateral

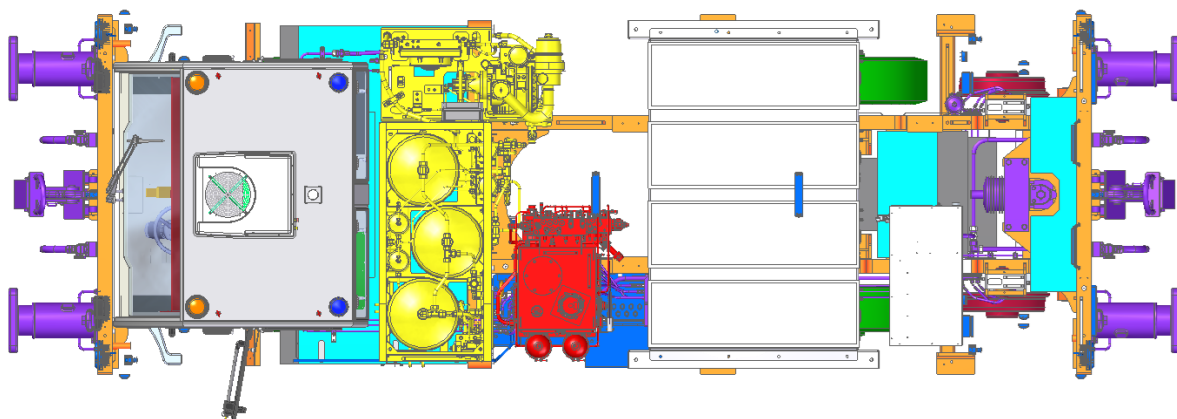


Figura 26 - Exemplo de localização do pack de baterias, vista superior

3.3.1 Dimensionamento do sistema de carregamento

O carregador escolhido é o HPC22KL, da EDN, mostrado na Figura 27.



Figura 27 - Módulo carregador HPC22KL

Na Figura 28, tem-se as informações técnicas e as funções gerais do módulo carregador escolhido.

22 KW LIQUID COOLED ON-BOARD CHARGER

FEATURES:

- Power: 22kW stackable up to 220kW
- HVDC Output range: 0...840 Vdc
- 1-phase AC Input: 230/240 Vac, 50/60Hz
- 3-phase AC Input: 400/480 Vac, 50/60Hz
- Efficiency: > 94%
- Constant Power charging curve
- Supercapacitors charging capability
- SAE J1772 & EN61851 compliant
- Liquid Cooled
- Compact & Lightweight
- Rugged Design
- High Ambient Protection Degree (IP67, IP6k9k)
- Fully CAN 2.0b controlled (SAE J1939 available)

Figura 28 - Informações gerais do módulo HPC22KL

Como a potência da tomada é de 43,4 kW e a potência do carregador é de 22 kW, são utilizados dois módulos em paralelo para utilizar a potência máxima da tomada. Observa-se que não há uma tensão de saída fixa, mas uma faixa de tensão, o que confirma o comportamento de aumentar a tensão gradativamente para proteger as baterias e garantir uma carga controlada.

Por fim, se for considerado que as baterias devem ser totalmente recarregadas (SOC de 0% a 100%), uma potência necessária para o sistema de refrigeração da bateria de 5 kW, a eficiência do carregador de 94% e 30 kWh para as baterias de serviço, o tempo de carregamento será de 14h54. Se a interface for alterada para uma tomada monofásica de 32 A, o tempo de recarga da bateria aumenta para 116h07 (quase 5 dias) e impossibilita este método. Por outro

lado, se a interface de alimentação for a catenária ou o 3º trilho (não disponível na rede de trabalho desta máquina) em 1500 Vdc e 100 A, o tempo de recarga é de 4h07.

Como o tempo de uso esperado da máquina por dia é de 8h, esse tempo de recarga de 15h não é um problema. Além disso, as atividades planejadas não serão suficientes para descarregar completamente as baterias e, portanto, o tempo de recarga será inferior às 15 horas calculadas.

4 Conclusão

Durante este estágio, adquiri uma experiência e conhecimentos valiosos que serão extremamente importantes e úteis para a minha vida profissional. Em cada projeto e atividade, tive a oportunidade de implementar os conhecimentos adquiridos em aula e poder vislumbrar novas possibilidades e aplicações para esse conhecimento, uma vez que os problemas propostos eram diferentes dos problemas estudados em aula. Além disso, tive a oportunidade de mergulhar em um ambiente industrial, adquirir uma cultura corporativa e demonstrar minhas habilidades humanas, técnicas e científicas necessárias para assumir minha futura posição como engenheiro. Também tive a oportunidade de ver as diferentes etapas de um projeto na empresa, entendendo o acompanhamento dos projetos.

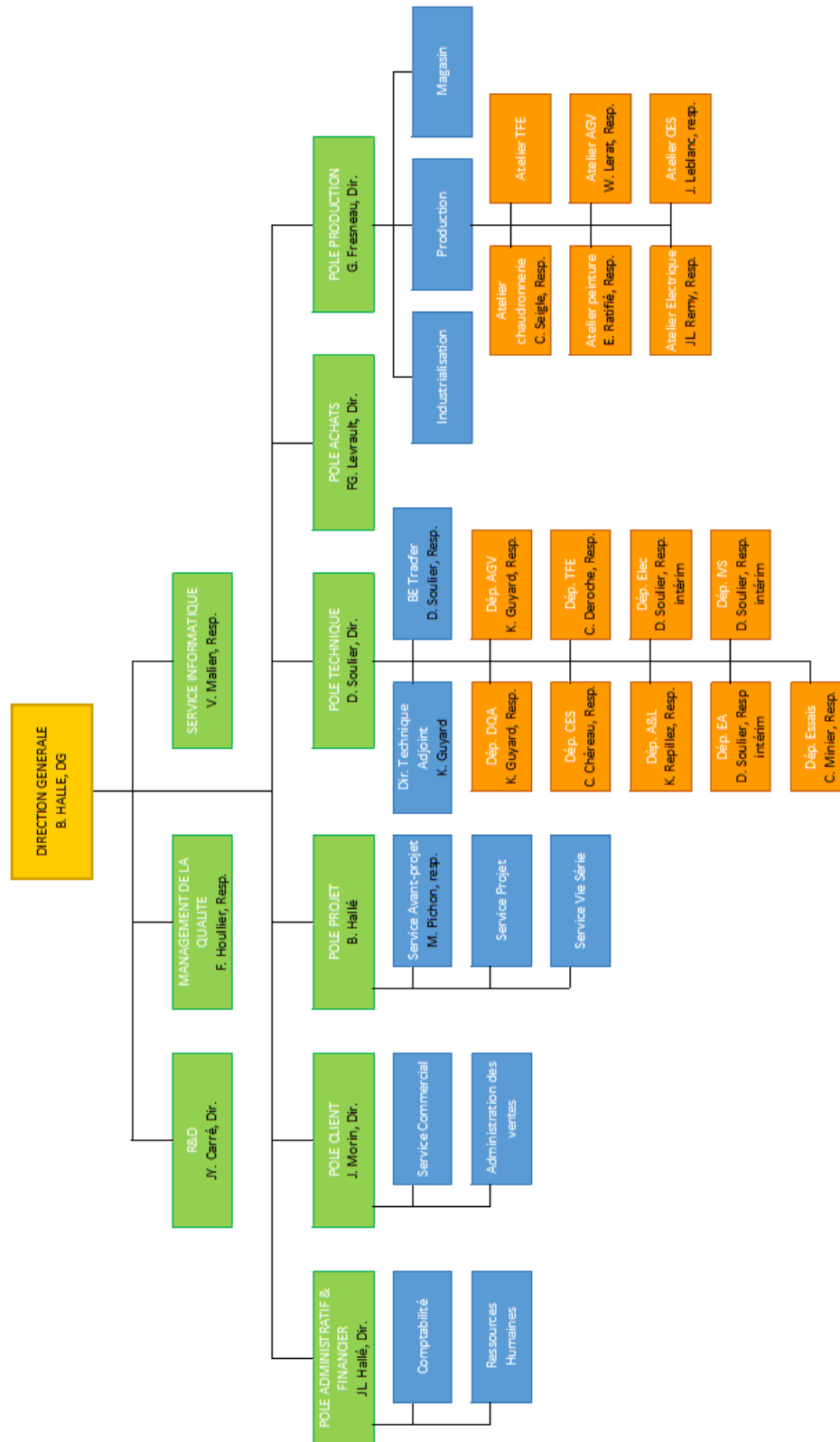
Consegui desenvolver uma ferramenta (o balanço de energia) bastante completa e automatizada, que será útil para a empresa reduzir enormemente o tempo de cálculo e padronizar esse processo. Como a pasta de trabalho é bem legível e automatizada, os usuários poderão identificar e evitar erros com muito mais facilidade, o que aumenta a confiabilidade dos cálculos e do projeto. Além disso, pude desenvolver um estudo de alteração da arquitetura BT das máquinas, demonstrando seu impacto técnico e financeiro, que oferecia mais opções para projetos futuros e até a possibilidade de alteração definitiva para a arquitetura 110 Vdc. Também pude projetar sistemas de armazenamento e recarga de energia para um locotrator elétrico, considerando as solicitações do cliente e também outras possibilidades que possam ser de interesse do cliente. Isso me permitiu fazer parte da transição energética da empresa, substituindo uma cadeia de tração térmica por uma tração elétrica, atividade cada vez mais solicitada pelas indústrias de mobilidade.

Todas estas atividades permitiram-me conhecer o setor ferroviário, os seus desafios, normas e o acompanhamento deste tipo de projeto. Além disso, tenho um grande senso de realização por desenvolver trabalhos pontuais e também trabalhos que possam ter impacto de longo prazo no setor elétrico da empresa, servindo de base para futuros trabalhos e projetos em geral. Trabalhei principalmente de forma independente e dialoguei com a equipe e os demais setores da empresa para desenvolver bem o meu trabalho.

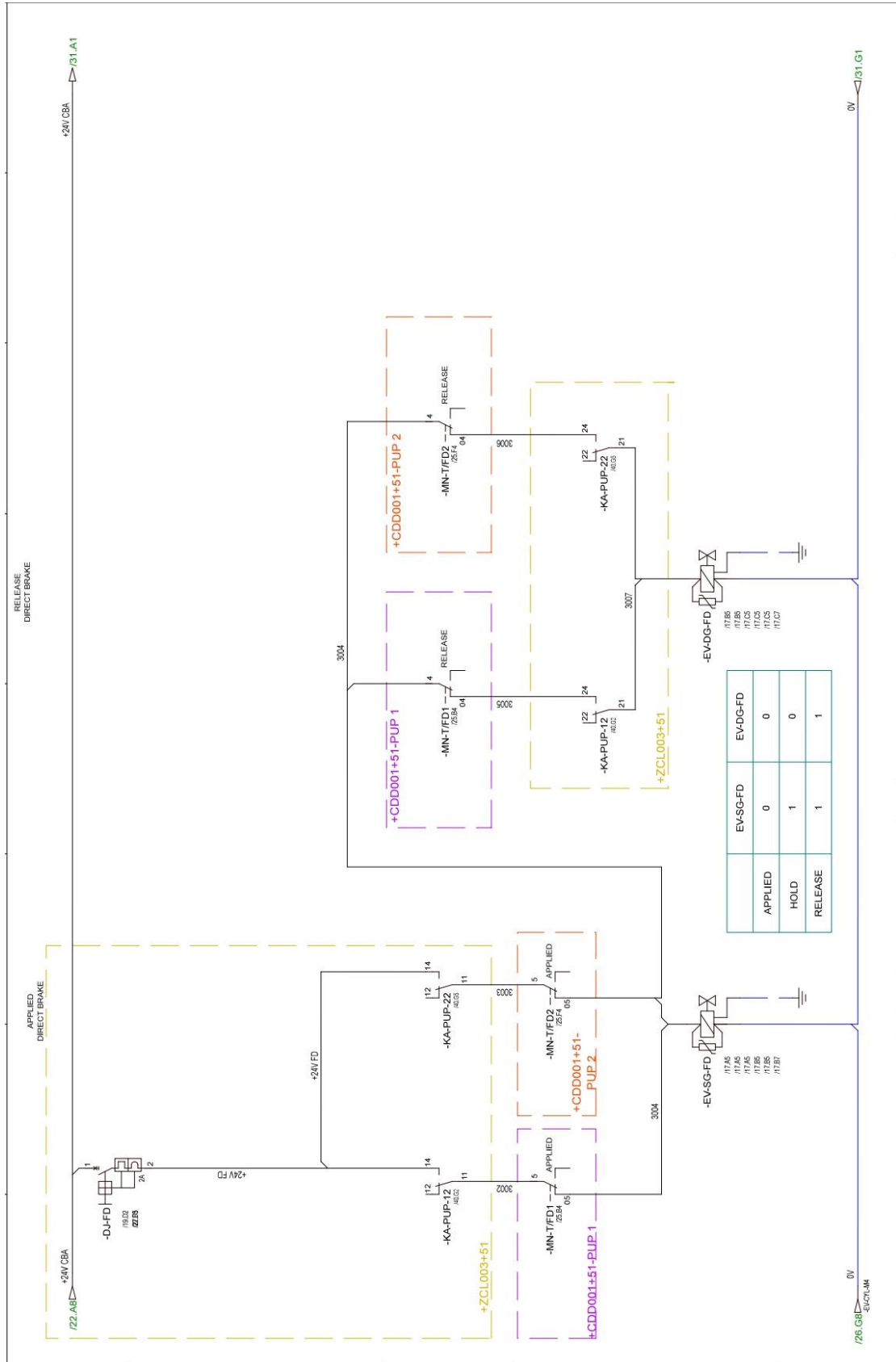
Referências Bibliográficas

- [1] HALLÉ, Bertrand. **Les mots du président**. Disponível em: <https://www.socofer.com/presentation-societe>. Acesso em 21 de julho de 2022.
- [2] AFNOR. **Norma Técnica NF EN 50155**: Aplicações ferroviárias - Equipamentos eletrônicos utilizados no material circulante. França. 12 nov. 2017.

Apêndice A – Organograma da empresa



Apêndice B – Diagrama elétrico do Freio Direto



Alt	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	DJ Niveau 0	DJ Niveau 1	DJ Niveau 2	DJ Niveau 3	DJ Niveau 4	DJ Niveau 5	DJ Niveau 6	DJ Niveau 6	Fonction	Repre	Puissance	Courant	Puissance	Courant	Puissance	Courant	Calibre	Localisation	Type	Ve	N° folio	Commentaire	Taux
										disjoncteur	installe	Total [A]	maximal des modes [W]	maximal des modes [W]	maximal des modes [W]	maximal des modes [A]	(A)	Protection	de	alimentati	de		Installe
										Amont	Total [W]	Total [A]	Modos [W]	Modos [W]	Modos [W]	Modos [A]			on	on	prin		
1																							
2	Alt																						
3	BATT	FU-BAT							Protection batterie	BATT	8632,78	359,70	6619,66	275,82	21178,16	882,42	500 ZNB	BATT	UI&U2				8632,77
4	FU-BAT	FU-BAT						Protection batterie	FU-BAT	5000,00	229,17	5500,00	229,17	18891,30	787,14	/ ZNB	BATT	UI&U2					5500
5	FU-ZNL	FU-BAT						Départ alimentation ZNL	FU-BAT	3132,78	130,53	1919,75	79,99	2719,34	113,31	125 ZNB	BATT	UI&U2					3132,77
6	DI-CBA		DI-CBA					Départ alimentation CBA	FU-ZNL	2438,36	101,60	1621,93	67,58	1755,93	75,08	80 ZNH		Après CBA	UI&U2				2438
7	DI-CAB-1							Départ alimentation cabine 1	DI-CBA	541,60	22,57	424,88	17,70	451,28	18,80	20 ZNH		Après CBA	UI&U2				541
8	DI-ATC1							Alim Radio Intercom	DI-CAB-1	48,00	2,00	21,60	0,90	48,00	2,00	3 ZLLI		Après CBA	UI&U2				48
9	DI-AT-EN							Ant entraveur	DI-CAB-1	90,00	3,75	90,00	3,75	90,00	3,75	4 ZLLI		Après CBA	UI&U2				90
10	DI-ECL-PUP1							Eclairage pupitre	DI-CAB-1	0,80	0,03	0,80	0,03	0,80	0,03	2 ZLLI		Après CBA	UI&U2				0
11	DI-EG/LG1							Essuie/Lave glace	DI-CAB-1	210,00	8,75	210,00	8,75	210,00	8,75	10 ZLLI		Après CBA	UI&U2				210
12	DI-FS-G							Feu signalisation	DI-CAB-1	86,00	3,58	43,00	1,79	43,00	1,79	3 ZLLI		Après CBA	UI&U2				86
13	DI-FS-D							Feu signalisation	DI-CAB-1	86,00	3,58	43,00	1,79	43,00	1,79	3 ZLLI		Après CBA	UI&U2				86
14	DI-GV61							Gyrophare	DI-CAB-1	16,00	0,67	16,00	0,67	16,00	0,67	2 ZLLI		Après CBA	UI&U2				16
15	DI-AVER1							Avertisseur sonore pneu	DI-CAB-1	2,40	0,10	0,24	0,01	0,24	0,01	1 ZLLI		Après CBA	UI&U2				2
16																							
17								Départ alimentation cabine 2	DI-CBA	274,80	11,45	248,40	10,35	274,80	11,45	20 ZNH		Après CBA	UI&U2				274
18	DI-ATC2							Alim Radio Intercom	DI-CAB-2	48,00	2,00	21,60	0,90	48,00	2,00	3 ZLLI		Après CBA	UI&U2				48
19	DI-ECL-PUP2							Eclairage pupitre	DI-CAB-2	0,80	0,03	0,80	0,03	0,80	0,03	2 ZLLI		Après CBA	UI&U2				0
20	DI-EG/LG2							Essuie/Lave glace	DI-CAB-2	210,00	8,75	210,00	8,75	210,00	8,75	10 ZLLI		Après CBA	UI&U2				210
21	DI-GYR2							Gyrophare	DI-CAB-2	16,00	0,67	16,00	0,67	16,00	0,67	2 ZLLI		Après CBA	UI&U2				16
22	DI-AVER2							Avertisseur sonore pneu	DI-CAB-2	2,40	0,10	0,24	0,01	0,24	0,01	1 ZLLI		Après CBA	UI&U2				2
23																							
24	DI-DEM							Démarrreur	DI-CBA	120,00	5,00	120,00	5,00	840,00	35,00	10 ZNH		Après CBA	UI&U2				120
25	DI-ECL-C							Eclairage compartiment	DI-CBA	34,50	1,44	34,50	1,44	34,50	1,44	2 ZNH		Après CBA	UI&U2				34
26	DI-ECL-PLT							Eclairage platelage	DI-CBA	60,00	2,50	60,00	2,50	60,00	2,50	4 ZNH		Après CBA	UI&U2				60
27	DI-ENT							Entrée automate	DI-CBA	90,24	3,76	40,24	1,68	40,24	1,68	5 ZNH		Après CBA	UI&U2				90
28	DI-FA							Frein Automatique	DI-CBA	17,28	0,72	11,52	0,48	11,52	0,48	2 ZNH		Après CBA	UI&U2				17,28
29	DI-FD							Frein Direct	DI-CBA	12,00	0,50	6,00	0,25	6,00	0,25	2 ZNH		Après CBA	UI&U2				12
30	DI-FU							Chaîne Frein d'urgence	DI-CBA	38,40	1,60	38,40	1,60	38,40	1,60	2 ZNH		Après CBA	UI&U2				38
31	DI-S-IN-GR							Signaux grue	DI-CBA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6 ZNH		Après CBA	U1				0
32	DI-S-OUT-GR							Signaux grue	DI-S-IN-GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6 ZNH		Après CBA	U1				0
33	DI-SOR							Sortie automate pour Cabine 1	DI-CBA	465,44	19,39	221,99	9,25	221,99	9,25	16 ZNH		Après CBA	UI&U2				465
34	DI-VT-PP-BT							Ventilation armoire Power pack BT	DI-CBA	152,00	6,33	152,00	6,33	152,00	6,33	10 ZNH		Après CBA	UI&U2				152
35	DI-VT-PP-HT							Ventilation armoire Power pack HT	DI-CBA	152,00	6,33	152,00	6,33	152,00	6,33	10 ZNH		Après CBA	UI&U2				152
36	DI-EDC							Alimentation contact moteur	DI-CBA	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	10 ZNH		Après CBA	UI&U2				0

Type d'alimentation		Repère disjoncteur		Appareil		Armoire électrique		Référence		Fabricant		Repère appareil		Quantité		Issance de l'appareil		Consommation de l'appareil (A)		Calibre DJ (A)		Coef d'utilisation	
4	Apex CBA	DU-D		Electronique																			
5	Apex CBA	DU-FD		Electronique																			
6	Apex CBA	DU-FD		Electronique																			
7	Apex CBA	DU-FD		Electronique																			
8	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
9	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
10	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
11	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
12	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
13	Apex CBA	DU-FA		Electronique																			
14	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
15	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
16	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
17	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
18	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
19	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
20	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
21	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
22	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
23	Apex CBA	DU-FU		Relais de commande																			
24	Apex CBA	DU-EG/LG2		Relais de commande																			
25	Apex CBA	DU-HG2		Relais de commande																			
26	Apex CBA	DU-HG2		Relais de commande																			
27	Apex CBA	DU-HG2		Relais de commande																			
28	Apex CBA	DU-FST		Relais de commande																			
29	Apex CBA	DU-FST		Relais de commande																			
30	Apex CBA	DU-FS1		Relais de commande																			
31	Apex CBA	DU-FS2		Relais de commande																			
32	Apex CBA	DU-FS2		Relais de commande																			
33	Apex CBA	DU-FS2		Relais de commande																			
34	Apex CBA	DU-AVER		Relais de commande																			
35	Apex CBA	DU-AVER		Relais de commande																			
36	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
37	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
38	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
39	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
40	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
41	Apex CBA	DU-ECL-PIJP		Eclairage à LED																			
42	Apex CBA	DU-ECL-CAB		Eclairage à LED																			
43	Apex CBA	DU-ECL-CAB		Eclairage à LED																			
44	Apex CBA	DU-ECL-CAB		Eclairage à LED																			
45	Apex CBA	DU-ECL-CAB		Eclairage à LED																			
46	Apex CBA	DU-ECL-AC		Eclairage à LED																			
47	Apex CBA	DU-ECL-AC		Eclairage à LED																			
48	Apex CBA	DU-ECL-CM		Eclairage à LED																			
49	Apex CBA	DU-ECL-CM		Eclairage à LED																			
50	Apex CBA	DU-ECL-CM		Eclairage à LED																			
51	Apex CBA	DU-CEAP		Contrasteur																			
52	Apex CBA	DU-AU		Contrasteur																			
53	Apex CBA	DU-AU		Contrasteur																			
54	Apex CBA	DU-AU		Contrasteur																			
55	Apex CBA	DU-AU		Contrasteur																			
56	Apex CBA	DU-MNT3		Relais de commande																			
57	Apex CBA	DU-MNT3		Relais de commande																			
58	Apex CBA	DU-PM		Relais de commande																			
59	Apex CBA	DU-PM		Relais de commande																			