



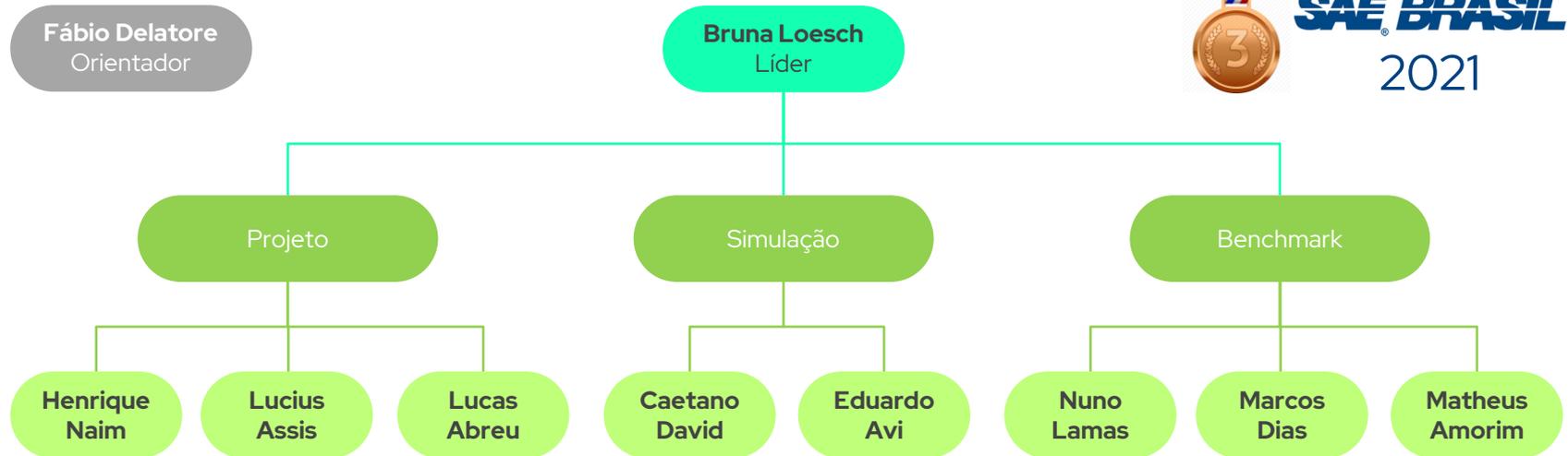
Control-e

Sistema de Gerenciamento Térmico de Baterias em Ônibus Elétricos Urbanos

Organização do Grupo

Sistema de gerenciamento térmico de Baterias em Ônibus Elétricos Urbanos.

Centro Universitário FEI



1. Contextualização
2. Problematização
3. Propósito
4. Golden Circle
5. Análise Rápida de Viabilidade de Negócios
6. Legislações e Normas Técnicas
7. Especificações Funcionais
8. Requisito
9. Benchmarking
10. Matriz de Decisão
11. Ferramentas de Engenharia
12. DFMEA
13. Projeto e Especificações dos Componentes
14. Target
15. Resultados da Melhoria Proposta
16. Canvas de Negócio
17. Custos
18. Referências Bibliográficas

1

Contextualização

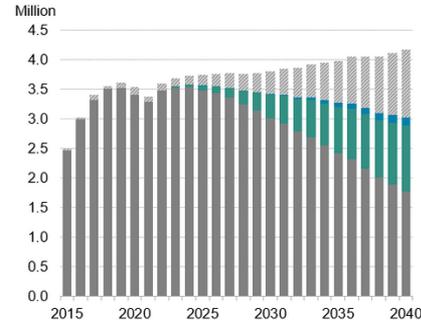
Motivação e Fundamentação Técnica



Vendas globais de veículos elétricos comerciais:

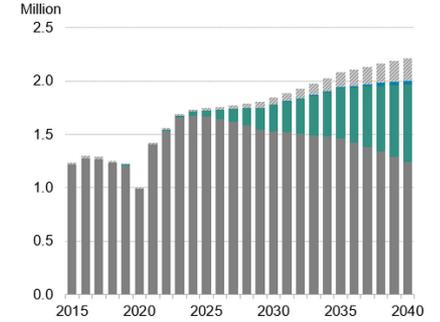


Heavy-duty commercial vehicles



■ Diesel and gasoline

Medium-duty commercial vehicles



■ Fuel cell

■ Electric

Fonte: Bloomberg NEF, 2018 / BloombergNEF Electric Vehicle Outlook 2021.



Faixa ótima para redução da resistência interna.

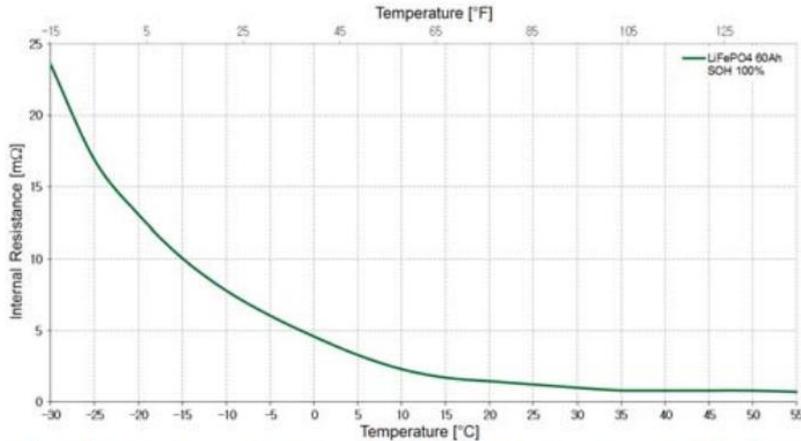
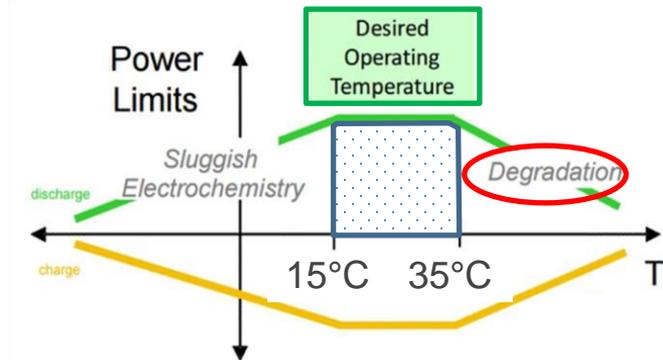


Fig.3. Dependence of internal resistance versus temperature for a LiFePO₄, 60Ah – load of 1C

Fonte: ŁEBKOWSKI, 2017.

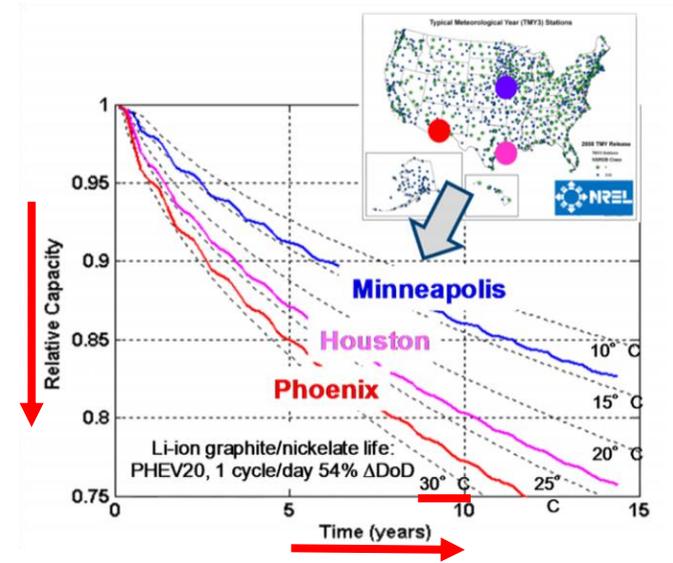


Temperatura ótima de operação de baterias Li-íon.



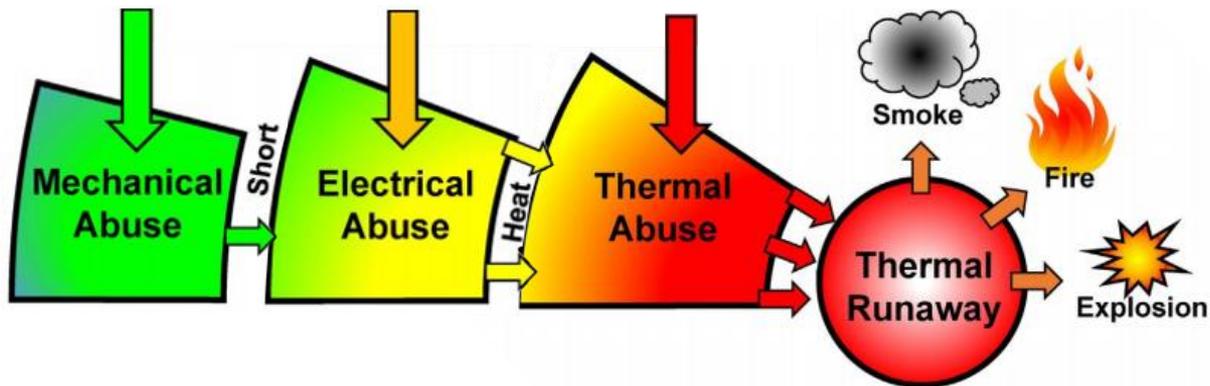
Fonte: Adaptado de Agwu et al, 2018.

Em altas temperaturas, há uma redução significativa da capacidade energética em função do tempo, levando à redução da vida útil do conjunto de baterias.



Fonte: National Renewable Energy Laboratory, 2013.

Segurança das Baterias



Fonte: Feng et al, 2018.

Fonte: Golubkov et al, 2018.

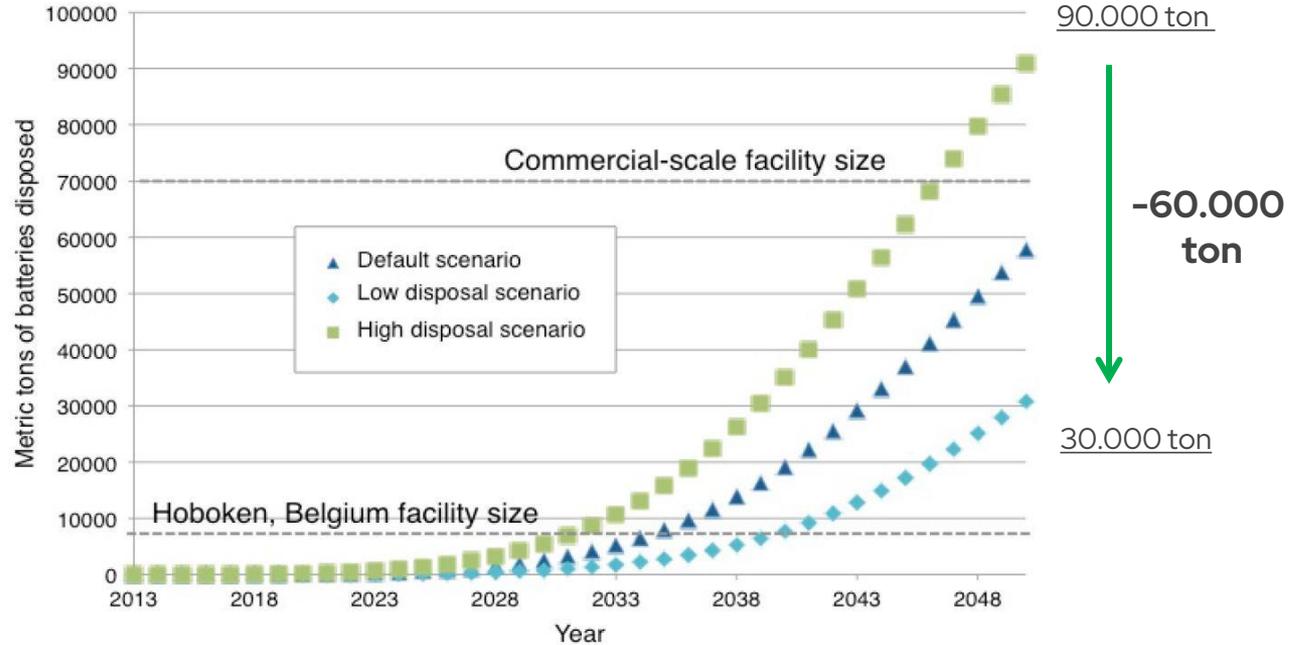
Descarte de baterias



Descarte
Second Life



Gastos com
manutenção



Fonte: California Environmental Recycling Advisory Group, 2019

2 Problematização

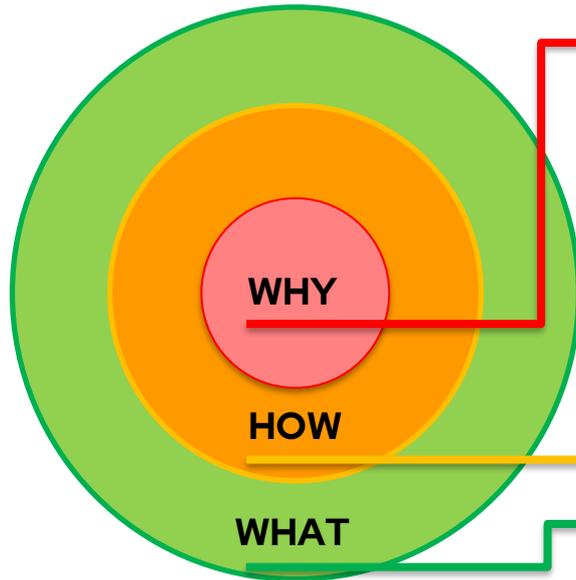
Os ônibus elétricos urbanos têm a vida útil do conjunto de baterias reduzida, quando atingem temperaturas inadequadas durante o funcionamento.

3 Propósito

***Aumentar a vida útil do pacote de baterias
ao manter sua temperatura dentro da
condição ideal de funcionamento, entre 15 e
40°C.***

4 Golden Circle

Por quê, como e o quê?



- **WHY:** Acreditamos em um futuro mais ecológico em que o aumento da vida útil de baterias para veículos elétricos viabiliza uma maior introdução da mobilidade elétrica nos centros urbanos, minimizando o impacto ambiental.
- **HOW:** Desenvolvendo um sistema de estabilização da faixa de temperatura ideal do pacote de baterias, garantindo redução de degradação do conjunto.
- **WHAT:** Sistema integrado para gerenciamento térmico de baterias de ônibus elétricos no Brasil.

5 Análise de Viabilidade Rápida de Negócios

Problema, clientes e disposto a pagar

Problema:

- Ônibus urbanos elétricos no Brasil possuem baixa vida útil, devido aos sistemas ineficientes de controle térmico das baterias, inviabilizando-os devido à baixa vida dos sistemas.

Clientes:

- Fabricantes de ônibus urbanos elétricos (sistemistas e montadoras).

Disposto a Pagar:

- Pelo aumento de vida útil, que eleva o *uptime*. Adicionalmente, têm-se redução de custo com a manutenção e com o custo por km rodado, além do aumento de autonomia do ônibus elétrico urbano.

6 Legislações e Normas Técnicas

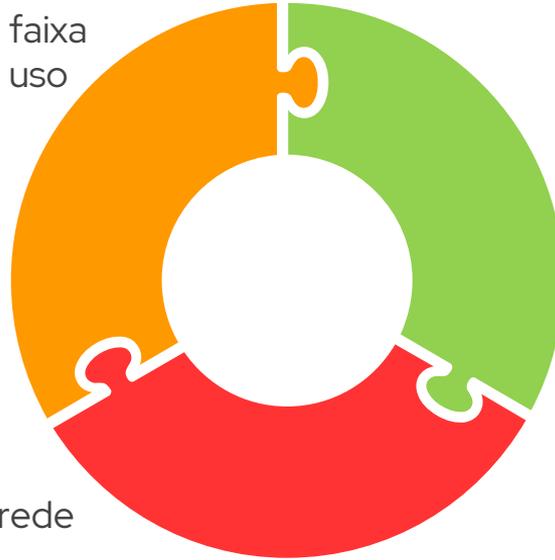
-  **ISO 6469 – Requisitos de segurança de veículos elétricos;**
-  **ISO NBR 15570 – Características construtivas para ônibus urbanos;**
-  **Manual dos Padrões Técnicos de Veículos – Tração Elétrica (SPTrans)**
-  **ABNT NBR IEC61851 – Sistema de recarga para VEs;**
-  **ABNT NBR IEC 62196 – Plugs e tomadas fixas e móveis para VEs;**

-  **ABNT ISO 8713 – Veículos rodoviários propelidos a eletricidade;**
-  **IEC 62752 – Proteção dos cabos.**
-  **ISO 26262 – Segurança funcional no sistema de desenvolvimento de sistemas automotivos;**
-  **Lei 13.775/18 e Decreto 9.557/18 – Requisitos obrigatórios para comercialização e para a importação de veículos novos no país;**

7 Especificações Funcionais

Sistema de gerenciamento térmico para baterias de ônibus elétricos:

- Monitoramento da faixa térmica através do uso de sensores;
- Integração com gerenciamento elétrico da bateria;
- Uso da energia da rede durante a recarga.



8

Requisito

Principal critério

***Temperatura adequada de funcionamento
das baterias
(15 a 40°C).***

9

Benchmarking

Produtos disponíveis no mercado



Existem quatro funções essenciais que o Battery Thermal Management System (BTMS) deve executar:

- Resfriamento da bateria;
- Aquecimento da bateria;
- Isolamento;
- Ventilação.



A análise do Benchmarking será feita para os tipos de sistema de refrigeração. Além disso existem três tipos de geometria de células, são elas:

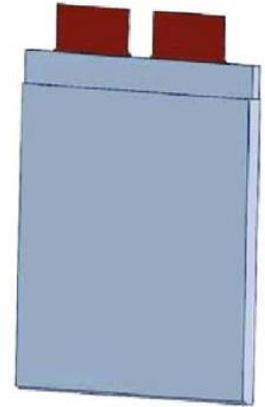
- Prismática; (a)
- Cilíndrica; (b)
- Pouch. (c)



(a)

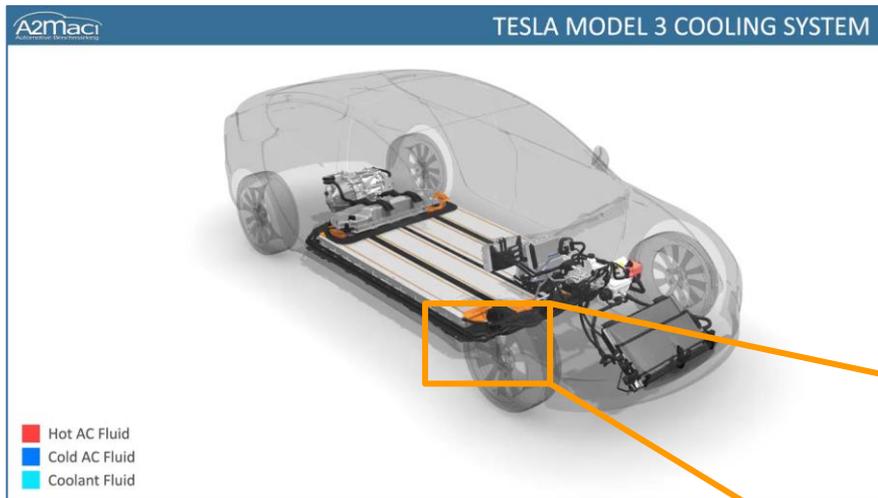


(b)



(c)

Fonte: Budde-Meiwes, Drillkens, Lunz, Muennix, Rothgang, Kowal e Sauer (2013)



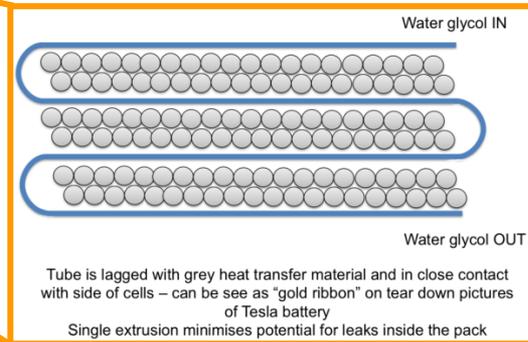
Vantagem:

- Boa capacidade de arrefecimento.

Desvantagem:

- Sistema mais complexo e que exige maior potência para funcionamento.

Fonte: Tesla, A2 Maci, MOGHADDAM, 2019.





Fonte: XING, 2021

Vantagem:

- Maior capacidade de arrefecimento e homogeneidade disponível.

Desvantagem:

- Sistema mais pesado disponível no mercado.

Benchmarking:

Arrefecimento a ar com Ventilador

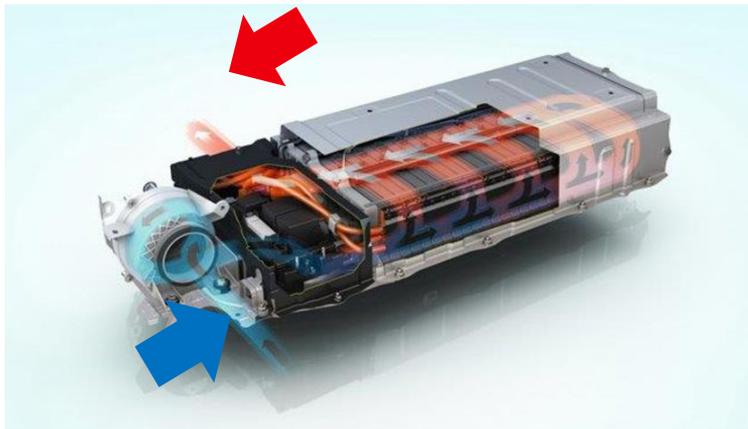
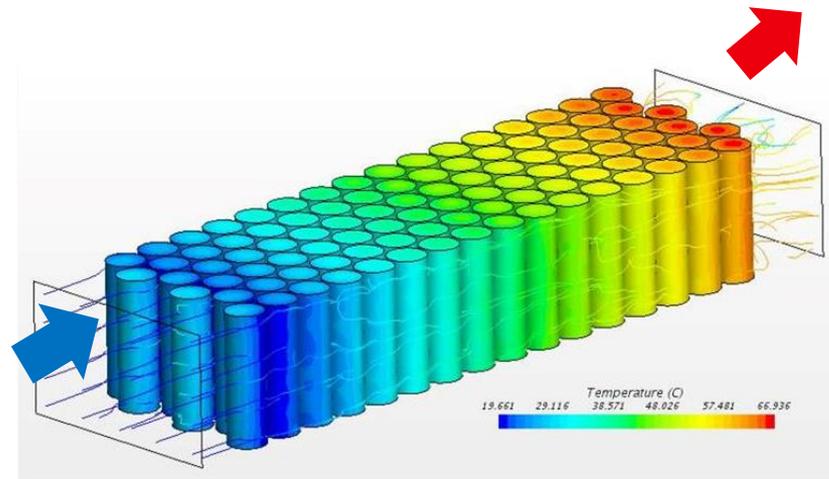


Figure 4. Toyota Prius Battery Pack with air cooling [10]

Fonte: PASTRACU, 2021.

Vantagem:

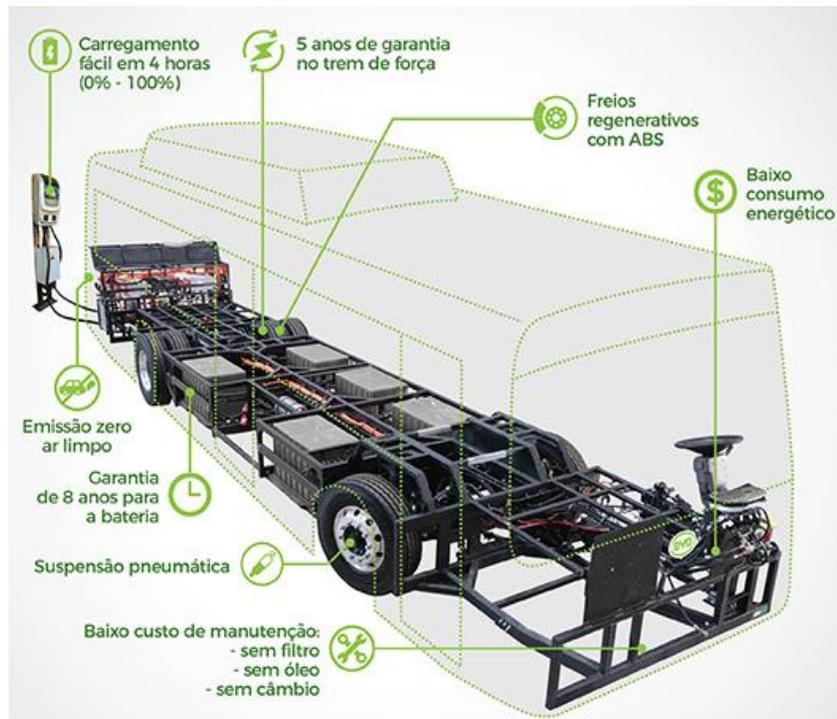
- Sistema mais leve e barato disponível, com menor exigência de potência para arrefecimento.



Fonte: MOGHADDAM, 2019.

Desvantagem:

- Pior capacidade de arrefecimento e homogeneidade disponível



Fonte: BYD D9A, 2019.

Vantagem:

- Sistema mais leve e barato disponível, com menor exigência de potência para arrefecimento

Desvantagem:

- Pior capacidade de arrefecimento e homogeneidade disponível

10 Matriz de Decisão

Matriz de decisão

Propriedade	Peso	Arquitetura de Montagem					Legenda	
		Arrefecimento a ar	Arrefecimento a ar com Ventilador	Líquido de arrefecimento com Ciclo de Refrigeração	Arrefecimento a Líquido	Submersão em Líquido	Nota	Significado
Estabilidade e Controle Térmico	6	Referência	1	2	1	2	2	Muito Melhor
Capacidade de Arrefecimento	3		0	1	1	2	1	Melhor
Custo	2		-1	-1	-1	-2	0	Neutro
Perda Parasítica	1		0	-2	-1	-2	-1	Pior
Complexidade do Sistema	1		0	-2	-2	-1	-2	Muito Pior
Massa	4		-1	-1	-1	-2		
Soma	N/A		-	0	5	1	3	

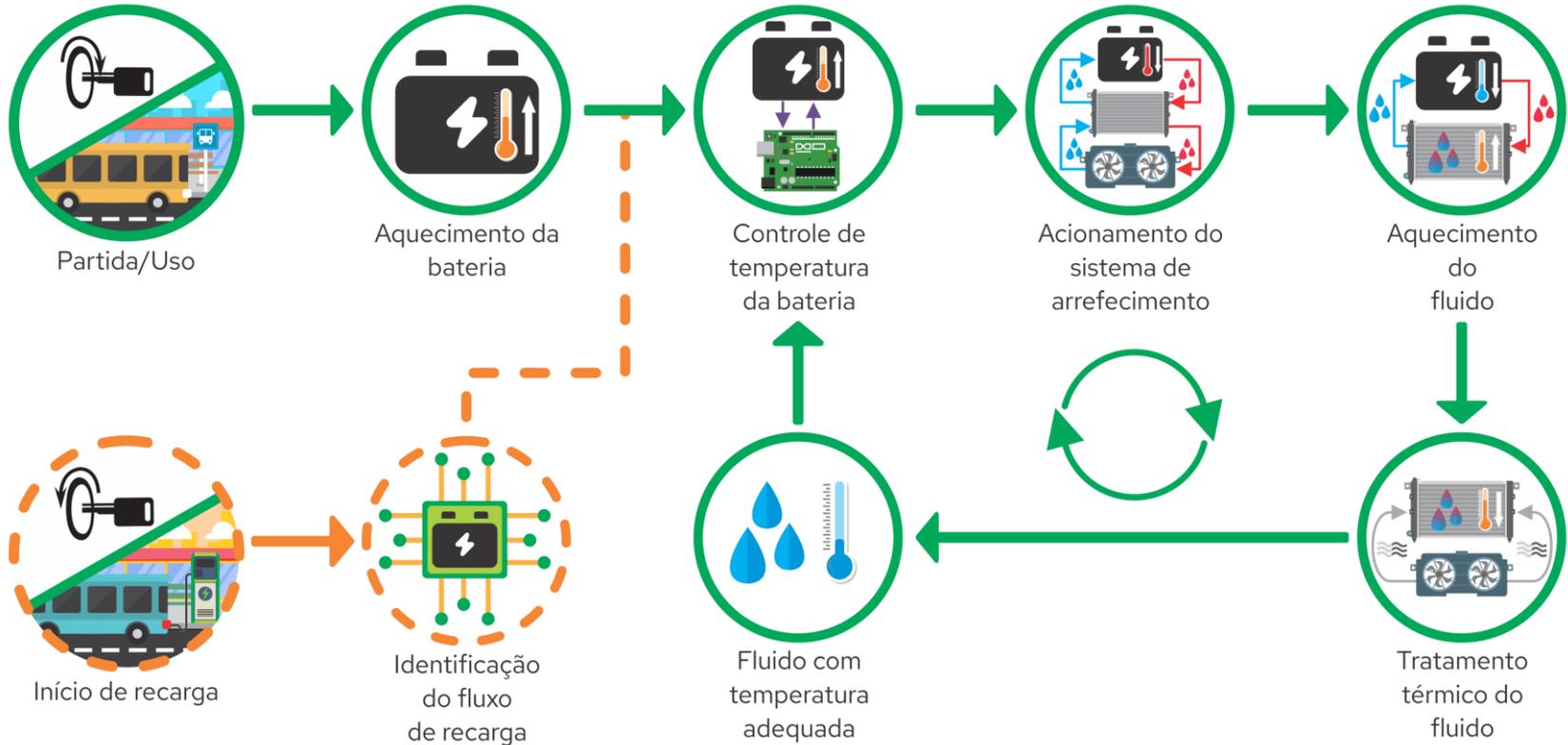
Vantagens

- Otimização do controle térmico e, conseqüentemente vida útil;
- Redução de custo por km rodado;
- Redução do descarte prematuro, ocasionando um menor impacto ambiental;
- Redução de TCO;
- Maior eficiência energética;
- Maior segurança contra *thermal runaway*.

Desvantagens

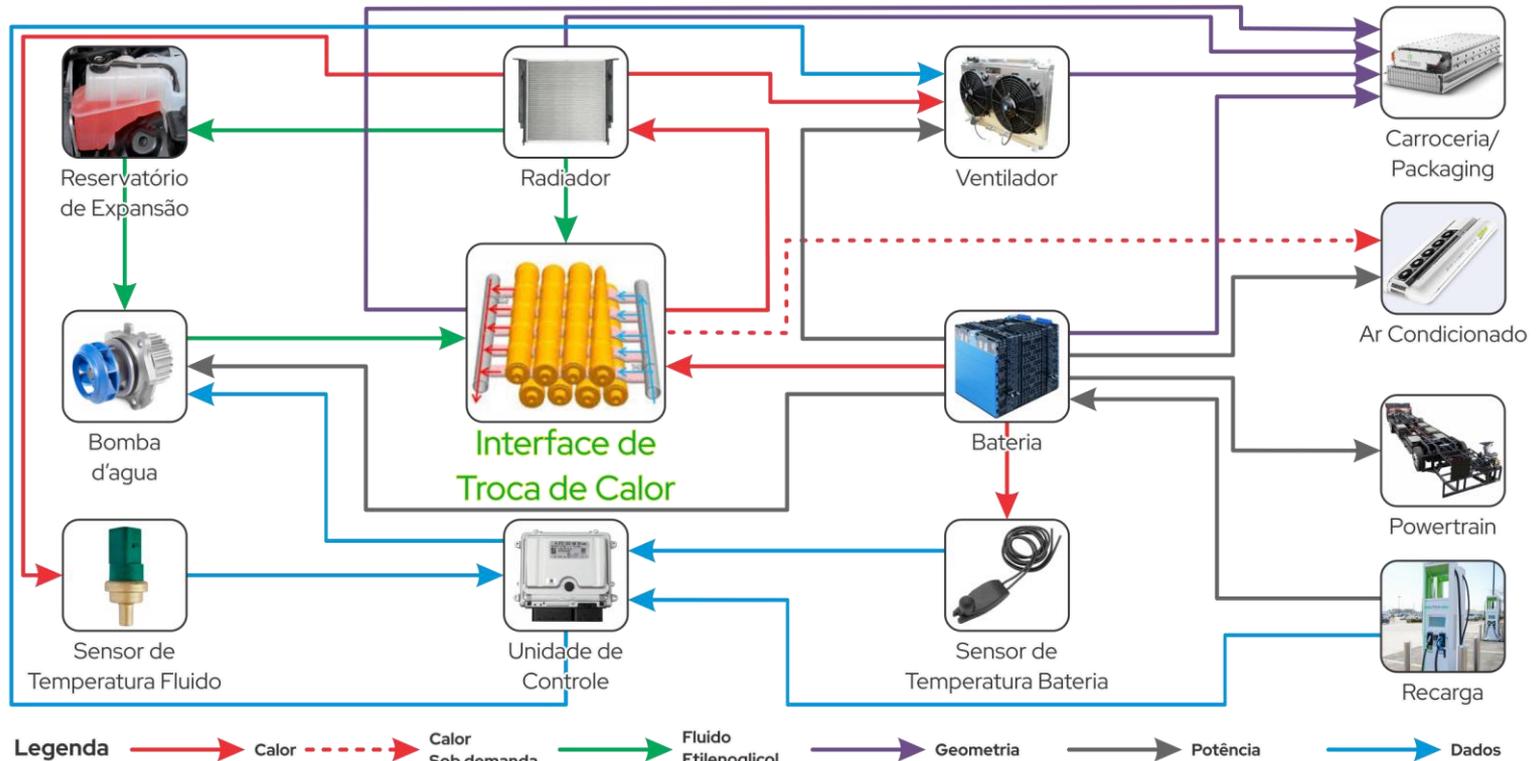
- Aumento de custo de aquisição;
- Aumento no número de componentes;
- Aumento na massa/redução na capacidade de transporte;
- Modo de falha.

11 Ferramentas de Engenharia



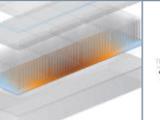
Fonte: Autores, 2021

Ferramentas de Engenharia: Boundary Diagram



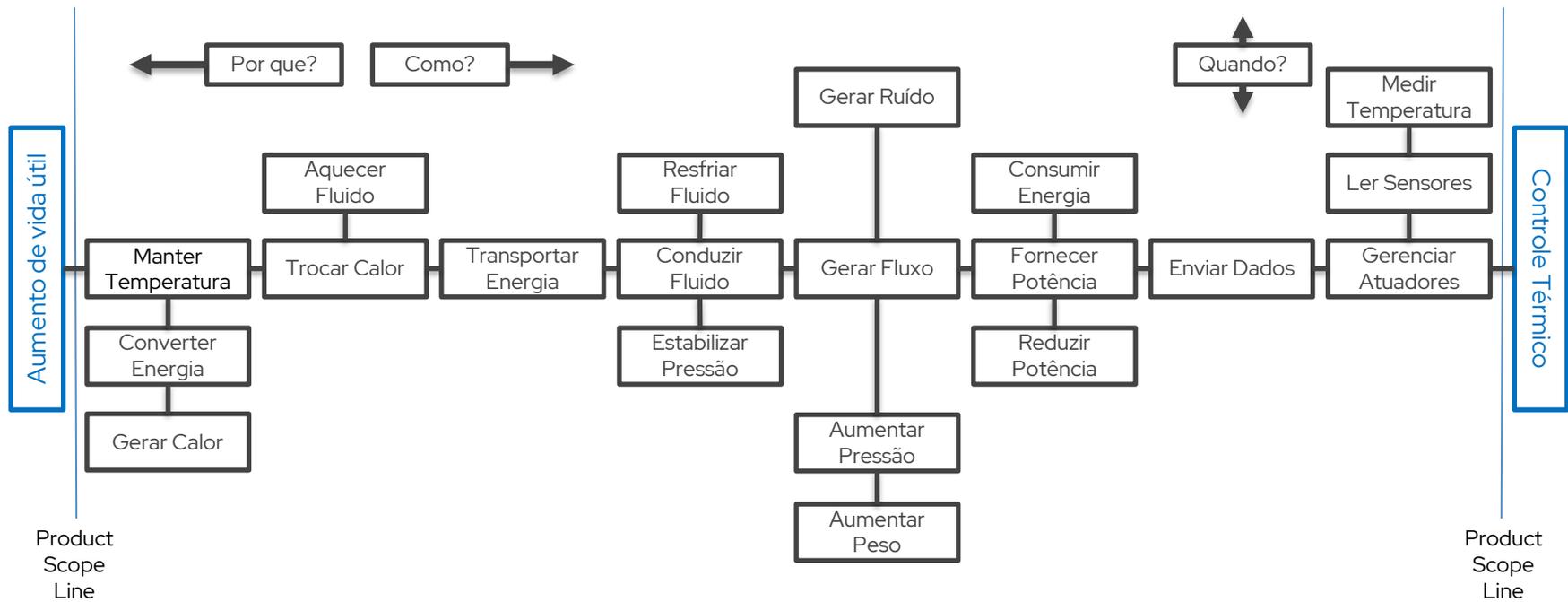
Fonte: Autores, 2021

Ferramentas de Engenharia: Engenharia Reversa

										
	Radiador com Fan	Tubulação Hidráulica	Bomba D'Água	Serpentina	Sensor de Temperatura	Thermal Pad	Control Unit	Ar Condicionado	Trocador de Calor	Válvula Direcional
Massa(kg)	7,3 kg	0,5 kg	2,95 kg	2,7 g/cm ³	-	0,0764 a 1,55 g/fita		235 kg	0,3 kg /tubo	
Dimensões Básicas	C - 431,8 mm L - 355,6 mm D - 406,4 mm	C - 500 mm D - 20 mm	C - 190,5 mm L - 127 mm A - 139,7 mm	Projetado de acordo com as especificações do pack	C - 61 mm L - máx 3,2 mm t - máx 1,0 mm	C - 10 mm L - 10 mm t- 0,3 a 5 mm	C - 150 mm L-100mm A - 20 mm	C - 3500 mm L - 1695 mm A - 278 mm	D - 1" C - 151mm Quant. - 27	D- 40 mm (1.1/2")
Material	Alumínio	Elastômero	Carcça de Alumínio Fundido	Alumínio	NTC - circuito flexível	Silicone	-	-	Alumínio	Polímero, Latão
Processo de Fabricação	Soldagem, Encaixe, Injeção de polímero	Extrusão	Fundição, Soldagem, Usinagem	Extrusão, CNC, Brasagem	Laminação, Trefilação e Estampagem	Extrusão	Carcça injetada, Impressão de Circuito	-	Soldagem, Trefilação, Usinagem	Carcça Injetada, Usinagem, CNC
Fornecedor	EMP	Continental	EMP	Trumony Aluminuim Limited	Amphenol Advanced Sensors	Saint Gobain	EMUS BMS G1	Valeo	Wintech	VH
Ref.	EMP	Continental	EMP	Trumony	Amphenol	Saint Gobain	EMUS BMS G1	Valeo	Wintech	VH
CUSTO	\$ 360,00	\$ 420,00	\$ 800,00	\$ 2.200,00	\$ 652,80	\$ 576,00	\$ 774,00	-	\$ 270,00	\$ 80,27

Fonte: Autores, 2021

Ferramentas de Engenharia: FAST



Fonte: Autores, 2021

Fatores não controlados

Variação das peças

- Dilatação térmica dos componentes do sistema de arrefecimento

Modo de uso

- Negligência com as manutenções periódicas.

Ambiente externo

- Temperatura externa
- Velocidade do ar
- Sujidade no meio externo.
- Ciclo de uso (duty cycle)

Degradação

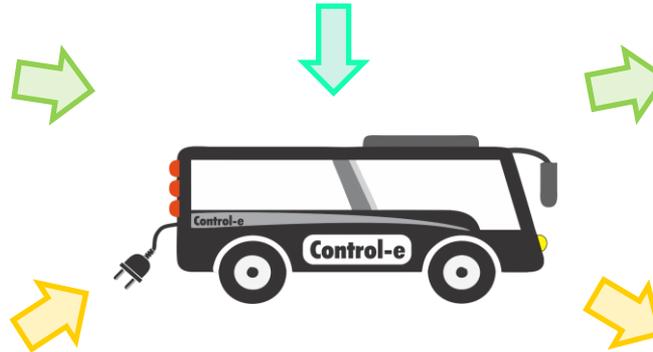
- Incrustação/corrosão interna
- Degradação da tubulação

Entrada

- Geração de calor proveniente do pacote de baterias

Fatores de Controle

- Rotação da bomba elétrica
- Uso do ar condicionado como arrefecimento auxiliar.



Saída

- Temperatura adequada no pacote de baterias

Erros

- Consumo de corrente parasítica
- Aquecimento da cabine, quando utilizado o ar condicionado
- Geração de ruído, pela bomba.

Fonte: Autores, 2021

12 DFMEA

Função	Função	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Seriedade	Potential Cause(s) of Failure	Current Design Controls Prevention	Documen	Current Design Controls Detection	Dano	R P N
Bateria	Fornecer energia/potência	Thermal Runaway	Explosão do pack/veículo	10	Falta de controle no pack de baterias, que a leva à temperaturas excessivas e reação em cadeia. Pode ser causado pelo comprometimento do ciclo de arrefecimento	Battery Management System, Battery Thermal Management System.	7	Aumento da temperatura das baterias devido à reação em cadeia. Chamas/incêndio e explosões.	5	350
		Corrosão nos contatos	Aumento de geração de calor	7	Umidade excessiva/temperatura de trabalho inadequada/fluido de arrefecimento inadequado.	Desenvolvimento de sistema de arrefecimento das baterias com vedação adequada. Escolha de fluido apropriado para arrefecimento das baterias caso haja contato direto.	7	Perda de performance/aumento de resistência de contato/aumento de geração de calor.	6	294
Radiador	Arrefecimento	Fluxo de ar insuficiente	Perda de troca térmica	7	Mau dimensionamento/escolha do ventilador	Escolha de um ventilador adequado para o fluxo de calor estimado. Como é um ventilador elétrico, verificação da corrente nominal (adequada ou não com projeto?)	7	Perda de eficiência de troca térmica/aumento da temperatura do fluido de arrefecimento.	5	245
Tubulação	Transporte de Fluido	Entupimento	Rompimento da tubulação/vedação	10	Impureza/material em suspensão no sistema	Uso de líquido de arrefecimento adequado. Qualidade da água interfere.	6	Temperatura da água de arrefecimento (aumentando)e pressão aumentam, rotação de bomba constante.	4	240
Bomba D'Água	Fluxo de Fluido	Transporte ineficiente	Perda de eficiência	7	Má seleção da tubulação, Mau projeto (perda de carga), Má distribuição das baterias no pack/dimensionamento da interface da troca de calor.	Perda de carga e distribuição das células é estimada inicialmente e validada via simulação CFD.	6	Vazão do fluido, perda de potência do powertrain em determinadas condições	5	210
Álula de Expans	Diminuir a pressão com entalpia constante	Vazamento	Comprometimento do ciclo de refrigeração	10	Desgaste na junta da válvula/corrosão da tubulação/falta de manutenção preventiva/montagem inadequada.	Desenvolvimento e escolha correta de vedação nas juntas e conexões. Escolha de diâmetro de tubulação e material correto.	5	Ruído, vazamento de fluido do ar condicionado (visual), perda de performance do ar condicionado.	4	200
Compressor	Aumento de Pressão/Energia	Carga excessiva	Aumento da temperatura do compressor e falha no ciclo de refrigeração	7	Entupimento da tubulação hidráulica.	Nada.	6	Aumento de pressão no poenteiro/passar do ponto nominal, ou início de vazamentos/ruído.	4	168
ECU	Processamento dos Dados	Sobrecarga	Queima da ECU	8	Aumento da temperatura da bateria que leva ao aumento de resistência interna e aumento da corrente.	Battery Management System.	3	Parada completa do funcionamento da ECU/queima/parada completa do sistema eletrônico.	6	144
		Erro de processamento	Falha no controle da temperatura	8	Vibrações excessivas; choques e impactos mecânicos do hardware; temperatura inadequada no módulo.	Projeto adequado de sistemas de fixação, projetados para vibração. Fixação em lugares estratégicos.	2	Travamento do sistema de controle/não consegue atualizar os dados.	8	128
		Falha na rede CAN	Falha na comunicação com os demais subsistemas	8	Vibrações excessivas; choques e impactos mecânicos do hardware; temperatura inadequada no módulo.	Projeto adequado de sistemas de fixação, projetados para vibração. Fixação em lugares estratégicos (devido à temperatura)	2	Travamento do sistema de controle/não consegue atualizar os dados.	8	128
Radiador	Arrefecimento	Incrustação	Perda de troca térmica	7	Água sem aditivo/etilenglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Escolha de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica externa.	6	Visual, perda de potência do powertrain, perda de eficiência de troca térmica.	3	126
Tubulação	Transporte de Fluido	orrosão/perda de condutiv	Perda de troca térmica	7	Água sem aditivo/etilenglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Escolha de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica interna.	6	Inspeção visual do fluido, aspecto visual do equipamento.	3	126
Sensores	Alimentação de Dados	Mal contato na fiação	Falha na leitura da temperatura/vazão	7	Vibrações excessivas	Escolha de fiação/conector de boa qualidade. Boa fixação/roteamento de chicote adequado.	3	Mal funcionamento do sistema de controle, dados incompletos, dados incorrentes.	6	126
		Sobrecarga	Queima do sensor	7	Aumento da temperatura da bateria que leva ao aumento de resistência interna e aumento da corrente.	Battery Management System.	3	Parada completa do funcionamento do sensor/queima.	6	126
ECU	Processamento dos Dados	Mal contato na fiação	Falha no controle da temperatura	7	Vibrações excessivas	Projeto adequado de sistemas de fixação, projetados para vibração. Fixação em lugares estratégicos.	3	Mal funcionamento do sistema de controle, dados incompletos, dados incorrentes.	6	126
Trocador de Cal	Diminuir temperatura da água com etilenglicol	orrosão/perda de condutiv	Queda de eficiência de arrefecimento do sistema	7	Água sem aditivo/etilenglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Escolha de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica interna e externa.	6	Aspecto visual do trocador de calor/ar condicionado. Aumento da temperatura/perda de troca térmica.	3	126
Álula de Expans	Diminuir a pressão com entalpia constante	orrosão/perda de condutiv	Queda de eficiência de arrefecimento do sistema	7	Água sem aditivo/etilenglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Escolha de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica interna e externa.	6	Aspecto visual da peça, apenas durante inspeção. Perda de performance do ar condicionado.	3	126
Trocador de Cal	Diminuir temperatura da água com etilenglicol	amento/contato entre fluí	Vazamento de água com etilenglicol dentro do habitáculo	5	Desgaste na junta das tubulações/corrosão da tubulação/falta de manutenção preventiva/montagem inadequada.	Desenvolvimento e escolha correta de vedação nas juntas e conexões. Escolha de diâmetro de tubulação e material correto.	5	Aspecto visual do vazamento do fluido.	5	125
Compressor	Aumento de Pressão/Energia	Vazamento	Comprometimento do ciclo de refrigeração	10	Falta de manutenção preventiva.	Desenvolvimento e escolha correta de vedação nas juntas e conexões. Escolha de compressor adequado.	3	Aspecto visual do vazamento, às vezes ruído do compressor.	4	120
		Quebra de rolamento	Comprometimento do ciclo de refrigeração	8	Carga excessiva/falta de manutenção preventiva.	Desenvolvimento de plano de manutenção para o compressor.	4	Ruído elevado.	3	96
		Falta de manutenção preventiva	Aumento da temperatura do compressor e falha no ciclo de refrigeração	8	Falta de manutenção preventiva.	Desenvolvimento de plano de manutenção para o compressor.	5	Vazamento de líquido de arrefecimento, ruído elevado.	2	80
Sensores	Alimentação de Dados	Corrosão nos contatos	Falha na leitura da temperatura/vazão	7	Falta de manutenção/vistoria periódica/umidade no sistema elétrico.	Conector de boa qualidade. Roteamento de chicote.	3	Mal funcionamento do sistema de controle, dados incompletos, dados incorrentes.	3	63
ECU	Processamento dos Dados	Corrosão nos contatos	Falha no controle da temperatura	7	Falta de manutenção/vistoria periódica/umidade no sistema elétrico.	Conector de boa qualidade. Roteamento de chicote.	3	Mal funcionamento do sistema de controle, dados incompletos, dados incorrentes.	3	63
Bomba D'Água	Fluxo de Fluido	Cavitação	Degradação do material do rotor	7	Erro de projeto - NPSH; Mau posicionamento da bomba no sistema.	Método de cálculo NPSH para prevenção da cavitação.	4	Ruído, perda de performance (aumento da temperatura), presença de material suspenso no fluido.	2	56
Unidade Refrigerant	Transferência de calor	uido inapropriada (água se	Queda de eficiência de arrefecimento do sistema	10	Falta de indicação no packaging/falta de manutenção preventiva/manutenção em paradas emergenciais.	Nada.	1	Método de controle já existente (detecção eletroquímica da porcentagem de etilenglicol).	1	10

Fonte: Autores, 2021

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Atuais Mecanismos de Prevenção e Controle	Ocorrência
Bateria	Fornecer energia / potência	Thermal Runaway	Explosão do pack/veículo	10	Falta de controle no pack de baterias, que pode ser causado pelo comprometimento do ciclo de arrefecimento, permitindo que as baterias cheguem atinjam temperaturas excessivas	Sistema de gerenciamento de baterias e gerenciamento térmico de baterias	7
		Corrosão nos contatos	Aumento de geração de calor	7	Umidade excessiva/temperatura de trabalho inadequada/fluido de arrefecimento inadequado.	Desenvolvimento de sistema de arrefecimento das baterias com vedação adequado. Escolha de fluido apropriado para arrefecimento das baterias caso haja contato direto.	
Bomba D'água	Fluxo de Fluido	Transporte ineficiente	Perda de eficiência	7	Má seleção da tubulação e dimensionamento errado. Má distribuição das baterias no pack. Mau dimensionamento da interface da troca de calor.	Perda de carga e distribuição das células é estimada inicialmente e validada via simulação CFD.	6
		Cavitação	Degradação do material do rotor	7	Erro de projeto – NPSH. Mau posicionamento da bomba no sistema.	Método de cálculo NPSH para prevenção da cavitação.	4

Fonte: Autores, 2021

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Atuais Mecanismos de Prevenção e Controle	Ocorrência
Radiador	Arrefecimento	Fluxo de ar insuficiente	Perda de troca térmica	7	Mau dimensionamento/ escolha do ventilador	Escolha de um ventilador adequado para o fluxo de calor estimado. Como é um ventilador elétrico, verificação da corrente nominal.	7
		Incrustação			Água sem aditivo/etilenoglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Seleção de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica externa.	6
Tubulação	Transporte de Fluido	Entupimento	Rompimento da tubulação/vedação	10	Impureza/material em suspensão no sistema	Uso de líquido de arrefecimento adequado. Qualidade da água interfere.	6
		Incrustação / corrosão. Perda de condutividade e térmica	Perda de troca térmica	7	Água sem aditivo/etilenoglicol; Falta de manutenção preditiva/preventiva/periódica; sujidade externa.	Escolha de materiais pouco corrosivos e diâmetro de tubulação para evitar cavitação. Uso correto do fluido de arrefecimento. Limpeza periódica interna.	

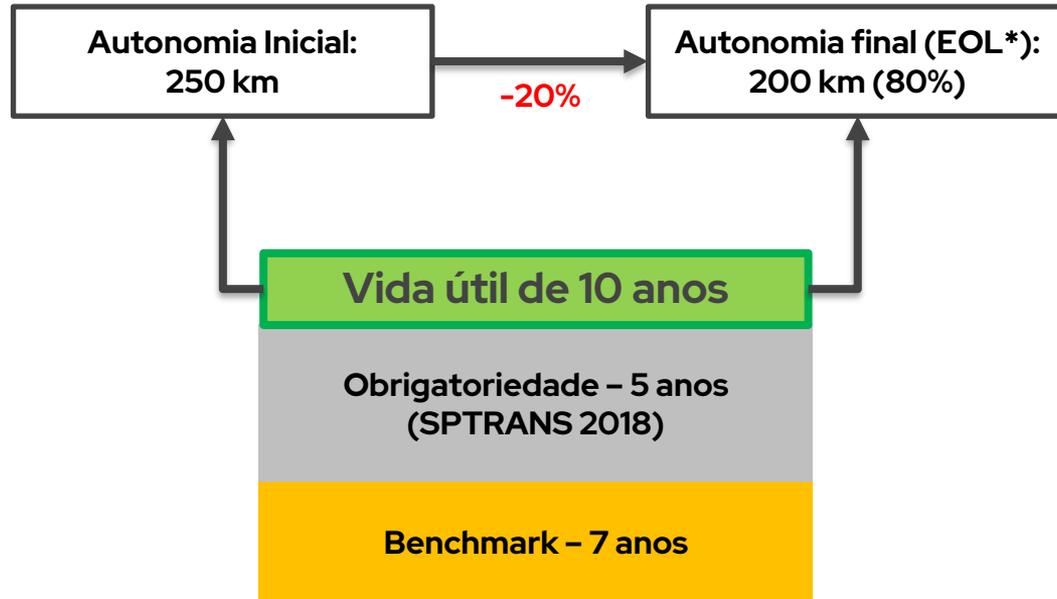
Fonte: Autores, 2021

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Atuais Mecanismos de Prevenção e Controle	Detecção	RPN	Ações Recomendadas
Bateria	Fornecer energia / potência	Thermal Runaway	Aumento da temperatura das baterias devido à reação em cadeia. Chamas/incêndio e explosões	5	350	Implementar um sistema de segurança que reduz ou corta o fornecimento de potência.
		Corrosão nos contatos	Perda de performance/aumento de resistência de contato/aumento de geração de calor.	6	294	Implementar uma sub-rotina no BMS que identifique e balanceie as células da bateria que apresentam esta falha
Bomba D'água	Fluxo de Fluido	Transporte ineficiente, cavitação	Vazão do fluido, perda de potência do powertrain em determinadas condições	5	210	Validar a relação do sistema de controle de armazenamento de energia com a potência consumida, para garantir o fluxo adequado. Validar a tubulação com método NPSH.
Radiador	Arrefecimento	Fluxo de ar insuficiente	Perda de eficiência de troca térmica/aumento da temperatura do fluido de arrefecimento.	5	245	Controlar o fluxo de ar presente na carroceria, dimensionando o radiador apropriadamente.
Tubulação	Transporte de Fluido	Entupimento	Temperatura da água de arrefecimento (aumentando)e pressão aumentam, rotação de bomba constante	4	240	Implementar sensores de pressão a fim de detectar possíveis vazamentos.

Fonte: Autores, 2021

13 Target

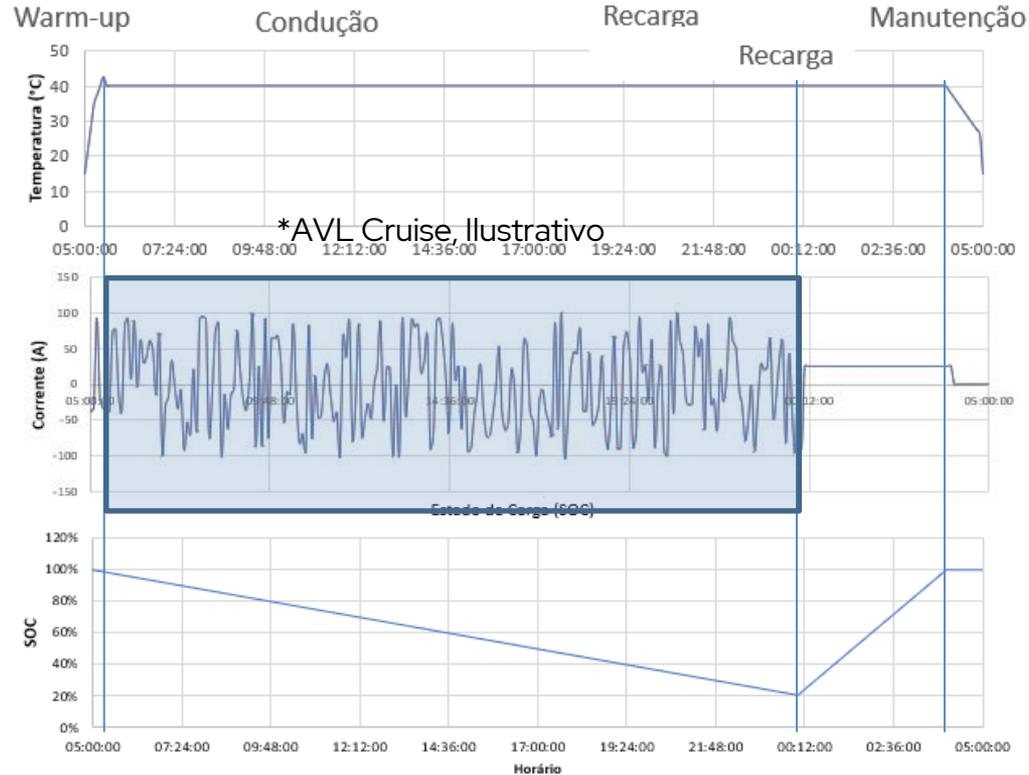
Target



*EOL: End of Life

14 Projeto e Especificações dos Componentes

Modelo Control-e (Ônibus Urbano, SP)

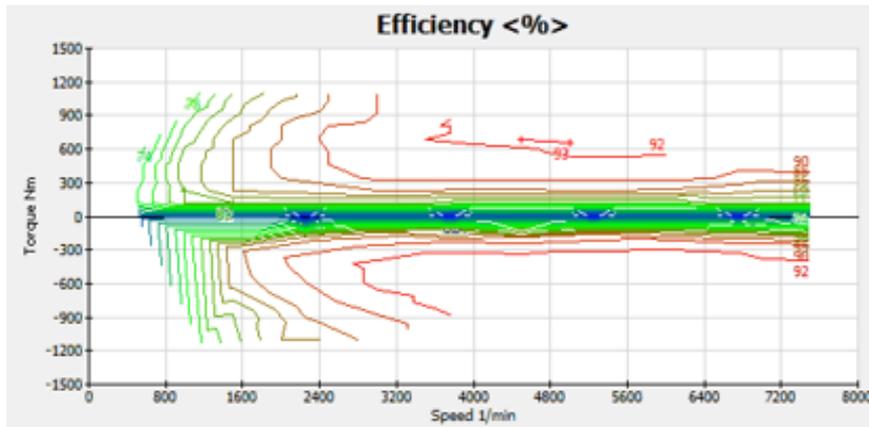


Fonte: Autores, 2021

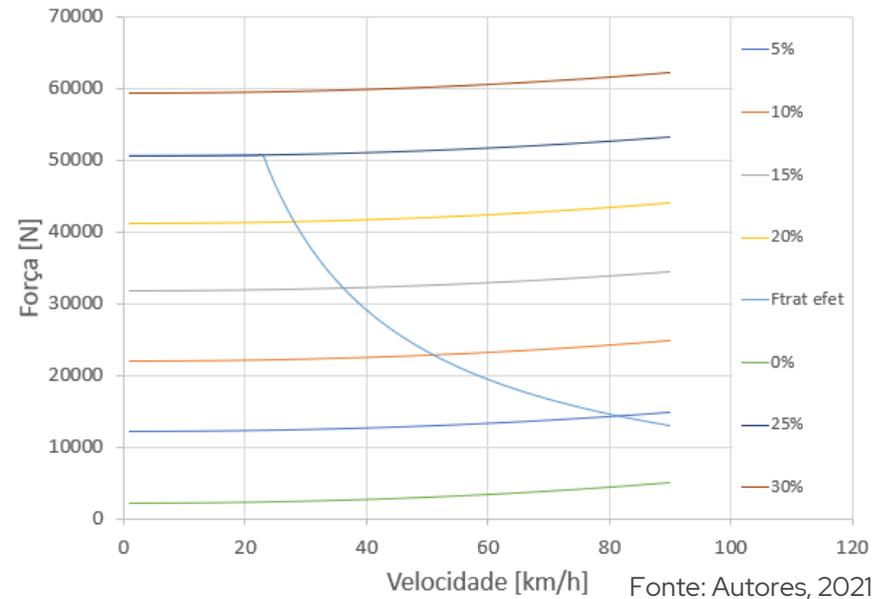
Características do Modelo:

- Máquina elétrica de 300 kW;
- Pacote de Baterias 300 kWh/468 Ah 200s123p;
- 24.600 células de 3,2 V @ 3,8 A;
- Tensão do motor 640 V;
- Torque máximo do motor 1100 N.m (curva);
- Redução fixa de 25:1.

- Mapa de eficiência Powertrain;
- Peso carregado – 20,3 ton;
- Área frontal 8m² / Entre eixos 6150 mm;
- Balço dianteiro 2590 mm.



Fonte: AVL Cruise, 2021.



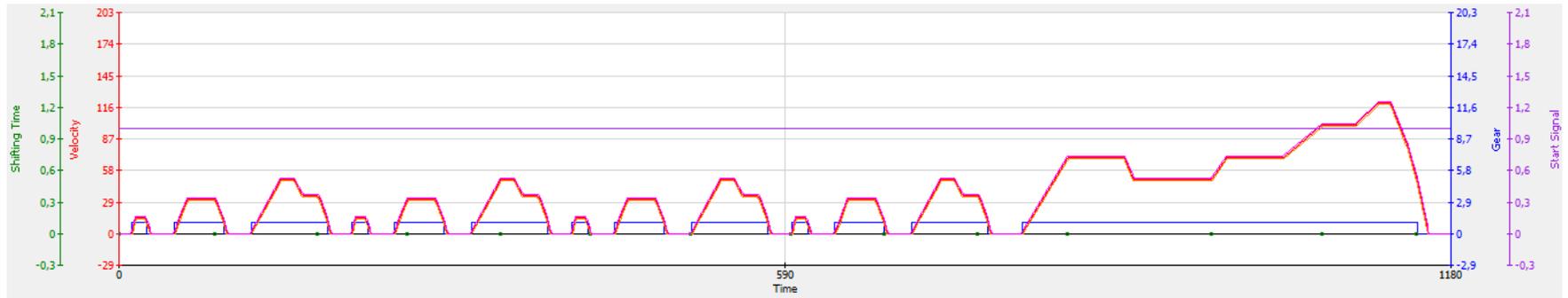
Ciclo de Testes



Ciclo NEDC reprisado 22 vezes, simulando um dia de trabalho.



Distância total percorrida = 9200 m/ciclo.



Fonte: Autores, 2021

● Velocidade

● Tempo de Troca de Marcha

● Marcha

● Partida



Qual o fluxo térmico no pack de baterias?

Geração de calor em baterias usando LiFePO_4 and LiMnNiCoO_2 como materiais de catodo.

Condições Operacionais	Taxa de Corrente	Geração volumétrica média de calor em W L^{-1}
Recarga @ 25°C	0,5 C	3,55
Descarga @ 40°C	0,2 C	0,66
Descarga @ 25°C	0,2 C	0,74
	0,5 C	3,96
	1C	11,18
	2C	15,57

Fonte: Adaptado de Lin, Xu, Liu, 2018.

Em 1180 s de ciclo, tem-se:

 $\Delta_{SOC} = 3,8 \%$

 $\Delta_{Cap} = 17,8 \text{ Ah}$

 $I = 54,26 \text{ A}$

 Taxa C = 0,116 C \rightarrow 0,2 C (reg.)

 QG \approx 0,66 W/L (Lin, Xu, Liu, 2018)

 C total = 300 kWh

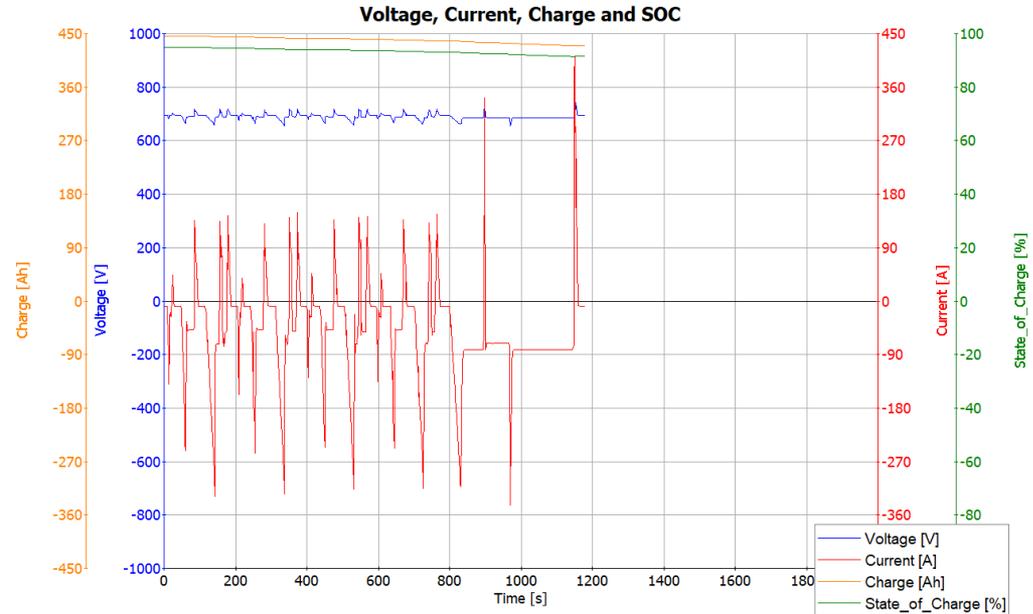
Nossa célula:

 12,16 Wh/(34510,395 mm³)

 352,357 kWh/m³

Para 300kWh:

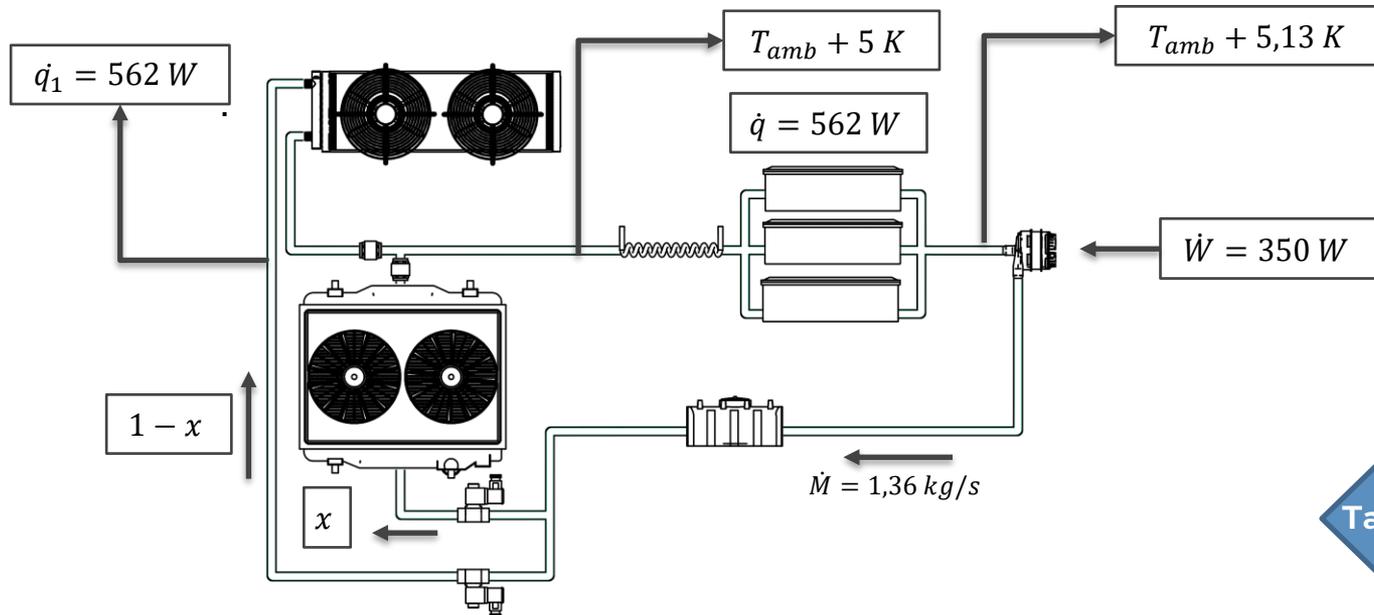
 0,85141 m³ = 851,41 L e **Q = 561,93 W**



Fonte: Autores, 2021

Condições de Contorno Térmicas

-  Modelos térmicos com temperatura ambiente constante.
-  Troca térmica bidimensional – Ansys Fluid Flow CFX
-  $X = 1$; 100% da vazão passando pelo radiador.



Fonte: Autores, 2021

Para o radiador escolhido, tem-se:

 $ITD = 5^{\circ}\text{C} = T_s - T_{\text{amb}}$

Portanto, é possível atender à especificação de temperatura em temperatura ambiente de até 30°C - $\Delta T_{\text{bat}} \rightarrow \text{Fluido} = 5^{\circ}\text{C}$

 $\text{Vazão} = 20 \text{ GPM} \rightarrow 1,36 \text{ kg/s}$

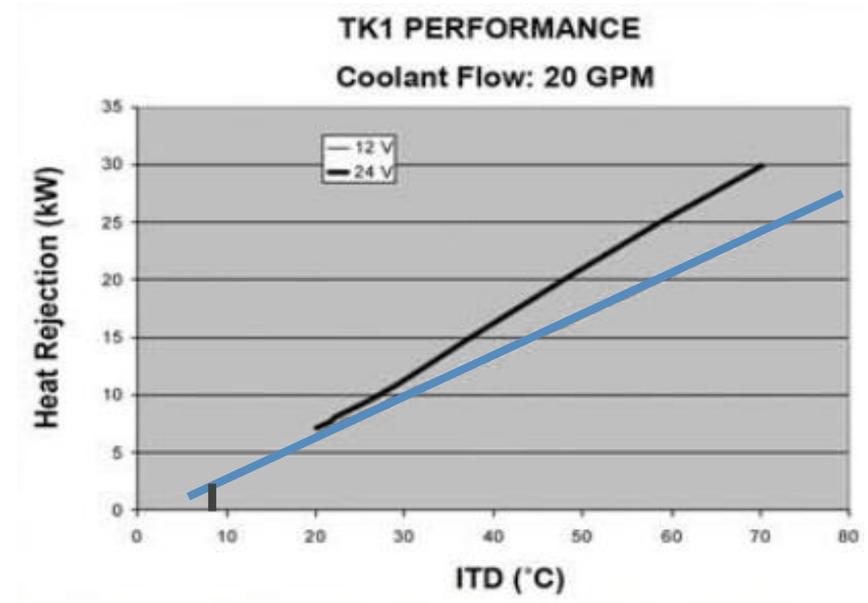
 $\rho = 1080 \text{ kg/m}^3$ (VDI Heat Atlas)

 $C_p = 3260 \text{ J/kgK}$ (VDI Heat Atlas)

ΔT_{bat} :

 $Q = 561,93 \text{ W} = 1,36 \cdot 3260 \cdot \Delta T$

 $\Delta T = 0,1263^{\circ}\text{C}$



Fonte: EMP, 2021.

Para 20 GPM, temos pressão estática de 15 PSI – $\pm 9,76$ m. É suficiente para vencer o circuito hidráulico + radiador?

Specifications

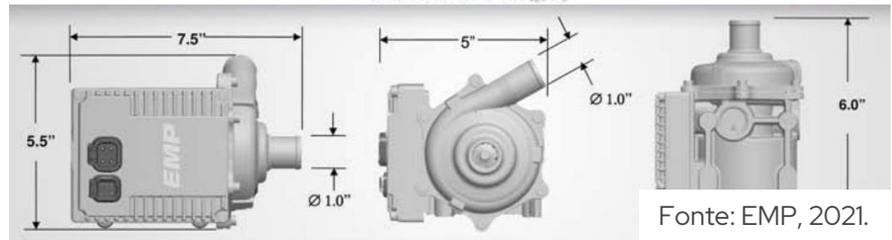
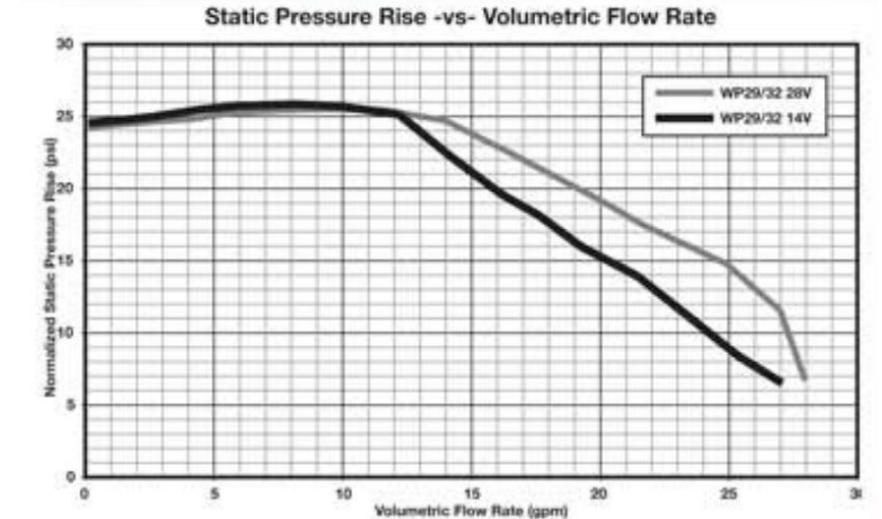
Model	12V
Performance	
Operating Temperature Maximum (fluid)	203 °F (95 °C)
Operating Temperature Minimum (fluid)	-40 °F (-40 °C)
Motor Speed Minimum	750 rpm
Motor Speed Maximum	4600 rpm
Mechanical	
Component Construction	Cast Aluminum
Component Weight	6.7 lbs (3.03 kg)
Electrical	
Input Voltage	9–16 V DC (14 V nominal)
Operating Current Draw Maximum	25 A
Thermal Protection	Auto self-protect shutdown

 $H_{p_{pacotes}} = 0,0376$ m – (simulação = 0,021);

 $H_{p_{radiador}} = 0,22$ m;

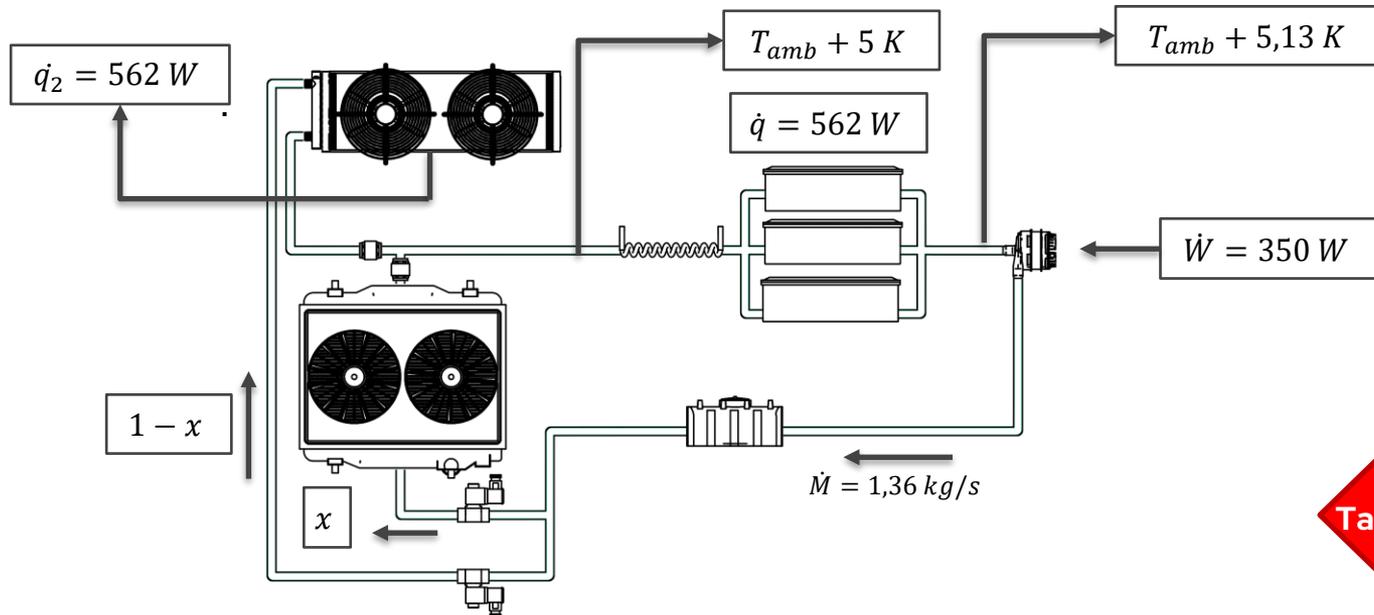
 $H_{p_{serpentina}} = 1,67$ m;

 $H_{p_{tubulações}} = 1,45$ m



Condições de Contorno Térmicas

-  Modelos térmicos com temperatura ambiente constante.
-  Troca térmica bidimensional – Ansys Fluid Flow CFX.
-  $X = 0$; Vazão não passa pelo radiador.



$T_{amb} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Para $T_{amb} \approx 30^{\circ}\text{C}$



$T_{bateria} = 40^{\circ}\text{C}$



$T_{fluido} = 40^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$ [Obtido via CFX] = 35°C



Rejeitar 562 W pro Ar condicionado.



Carga térmica máxima = 32 kW

Portanto seria uma perda de 1,8 % de sua capacidade de arrefecimento da cabine.

Fluxo apenas para o ar condicionado.

DADOS TÉCNICOS

	CC305
Capacidade máxima	108.000 BTU/h (32 kW)
Vazão evaporador	4.400 m ³ /h
Vazão condensador	8.700 m ³ /h
Peso unidade teto *	140 kg
Gás refrigerante **	R134a - 4,3 kg
Peso compressor ***	32 kg
Compressor	Bock FK40 / 554 cm ³
Dimensão (C x L x A) (mm)	3196 x 1696 x 220
Raio de teto (mm)	5.500 - 12.000
Capacidade de aquecimento (opcionais)	136.500 BTU/h (40 kW)
Capacidade de renovação (opcionais) ****	25%

Fonte: Valeo, 2021.

Condições de Contorno Térmicas

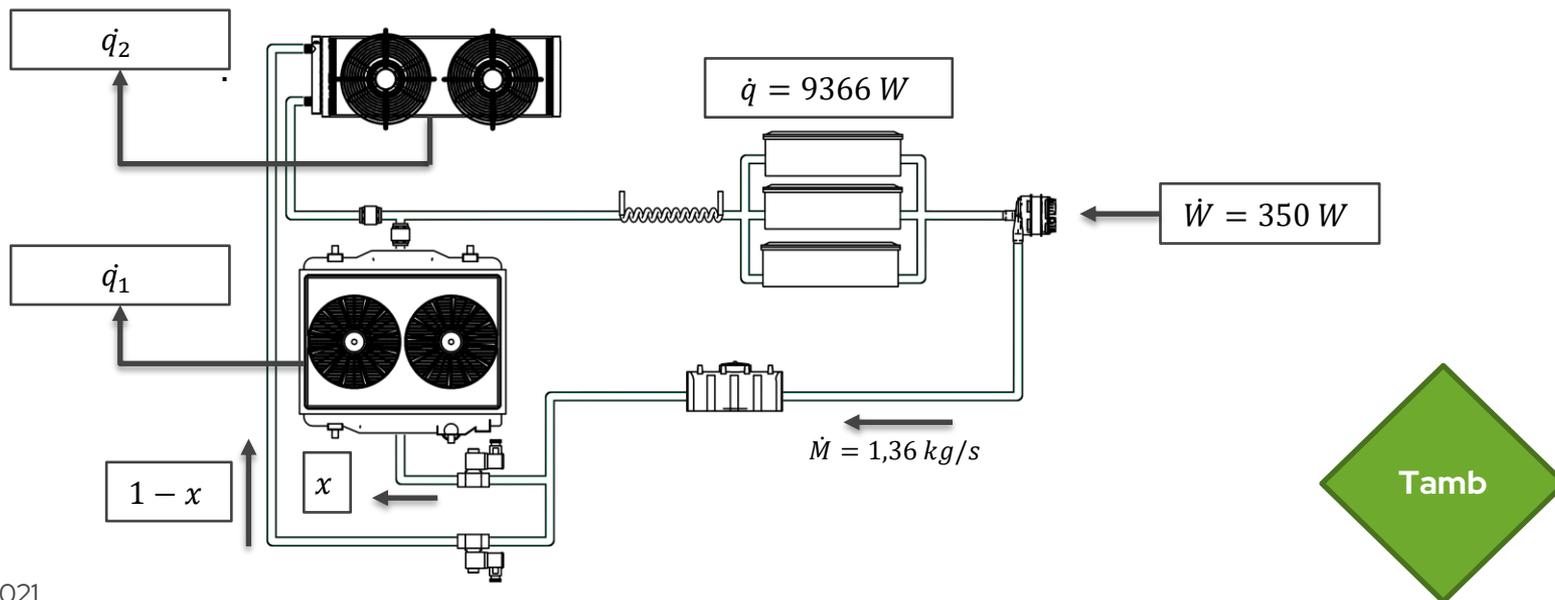
Recarga @ 1C



Modelos térmicos com temperatura ambiente constante.



Troca térmica bidimensional – Ansys Fluid Flow CFX



Fonte: Autor, 2021

Para o radiador escolhido, tem-se:

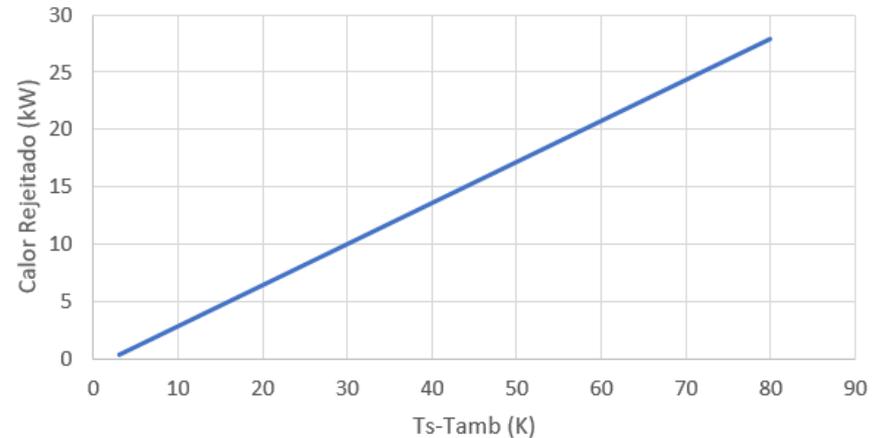


$$ITD = 30^{\circ}\text{C} = T_s - T_{\text{amb}}$$

Se fosse apenas radiador, impossível carregar em temperaturas acima a 15°C , inadmissível.

Qual a fração em massa para direcionar fluido entre o radiador e ar condicionado?

Curva do Radiador (12 V)



Fonte: EMP, 2021.

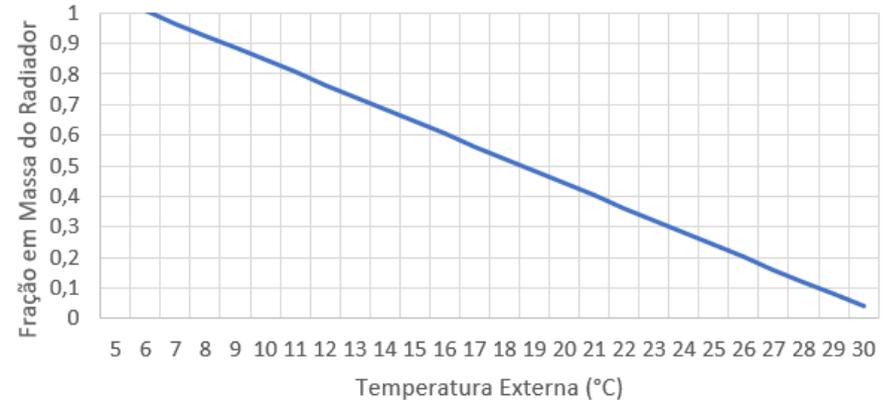
Durante a recarga, $q_1 + q_2 = 9,4$ kW. Igualando curva do radiador com variação térmica no radiador:

$$q_1 = \frac{15}{42} \cdot (33 - T_{ext}) - 0,7149 = 1,36x \cdot 3,26 \cdot 2$$

$$x = \left(\frac{\frac{15}{42} \cdot (33 - T_{ext}) - 0,7149}{1,36 \cdot 3,26 \cdot 2} \right)$$

Portanto, a fração em massa varia em função da temperatura externa, e ao atingir 31 °C, durante a recarga, temos o uso completo do ar condicionado.

Uso do Radiador em Função da Temperatura Externa na Recarga



Fonte: Autores, 2021.

Inicia-se o cálculo através da convecção externa, forçada pelo exaustor do AC:

 $Q = 4200 \text{ m}^3/\text{h}$

 $A = 3,5 \text{ m} \cdot 0,278 \text{ m} \cdot 2 = 1,946 \text{ m}^2$

 $V = 0,628 \text{ m/s}$

 $Re = 1052,31$

 $Nu = 16,626$

 $h = 16,4558 \text{ W/m}^2\text{K}$

Variação térmica do ar:

 $\Delta T = 6,3 \text{ K} \rightarrow$ insuflamento na cabine a $26,3 \text{ }^\circ\text{C}$.



Fonte: Valeo, 2021.

Modelo do Sistema Térmico em Recarga

Cálculo de convecção interna:



$$Re_q = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$



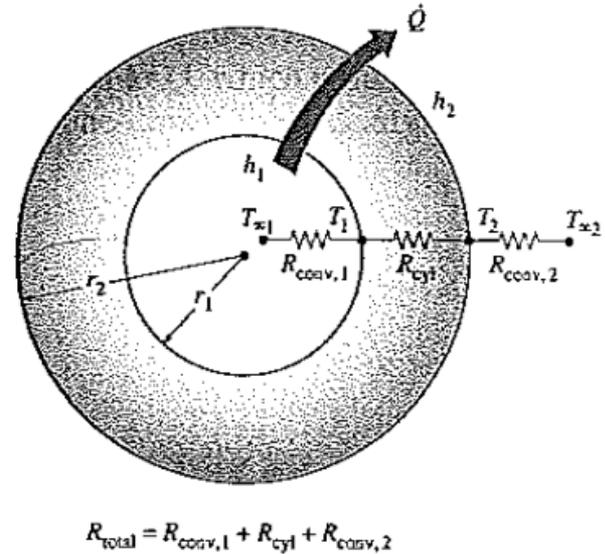
$$U = 12,454 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}$$

$$Nu = 0,125 f Re Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = \frac{hD}{k} \rightarrow h = 2072,129 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{k}}$$

$$R_{eq} = \underbrace{\frac{1}{16,46 \cdot \frac{52,6}{2}}}_{\text{externa}} + \underbrace{\frac{1}{2072,129 \cdot \pi \cdot 22,225 \cdot 10^{-3} \cdot 9,463}}_{\text{interna}} + \underbrace{\frac{\ln\left(\frac{12,7}{11,1125}\right)}{2\pi \cdot 9,463 \cdot 177}}_{\text{condução}}$$



Fonte: Çengel, 2012.

Modelo do Sistema Térmico em Recarga

Média da temperatura do ar passando pelos tubos $\rightarrow 23,15 \text{ }^\circ\text{C}$

Diferença média logarítmica entre o fluido/tubo e ar = $10,8 \text{ K}$



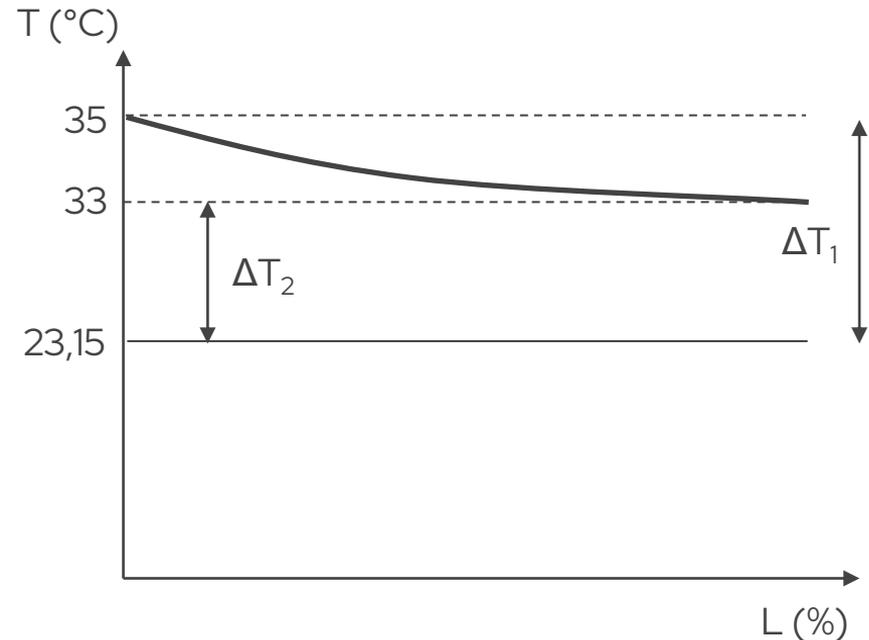
$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} = 9365 \text{ W} = 12,454 \cdot \mathbf{As} \cdot 10,8$$



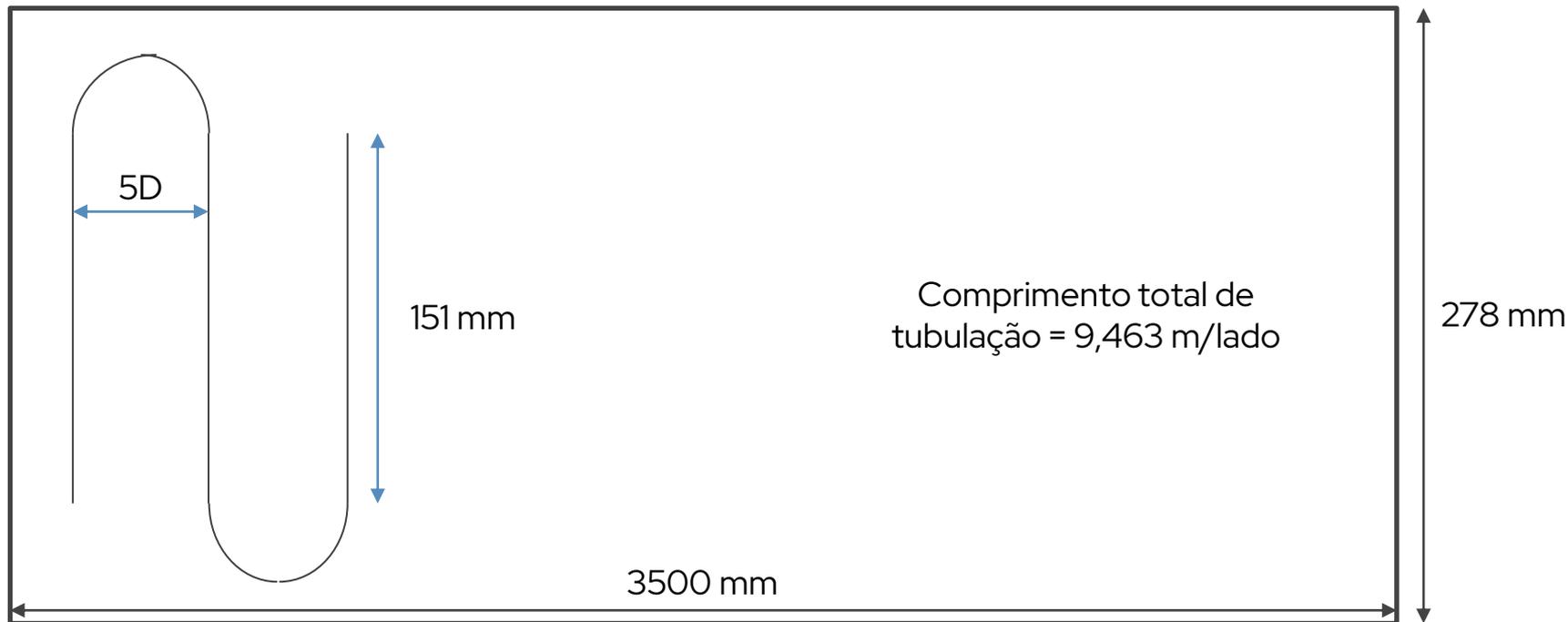
$$\mathbf{As} = 69,51 \text{ m}^2$$



Aletas anelares



Fonte: Autores, 2021.



Modelo do Sistema Térmico em Recarga

Aletas anelares

Considerando tubo liso 1" e diâmetro externo 2", com $t = 0,5$ mm:

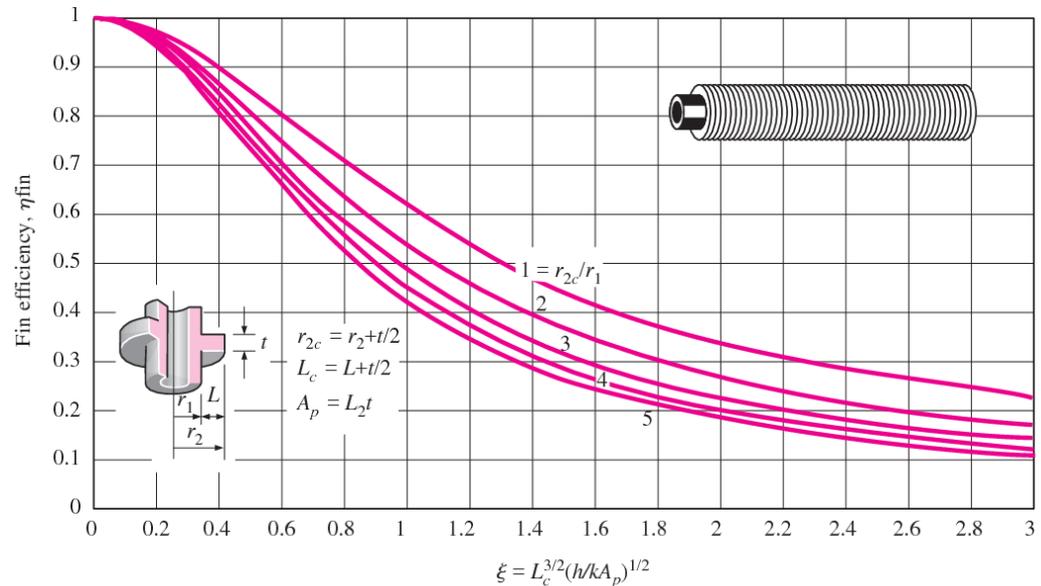
 $K_{si} = \pm 0,18$ (boa eficiência), 97%.

 Área de uma aleta $3,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Em um arranjo tubular com dobras (desenho), com L tubos = 9,463 m/tubo, de quantas aletas precisamos?

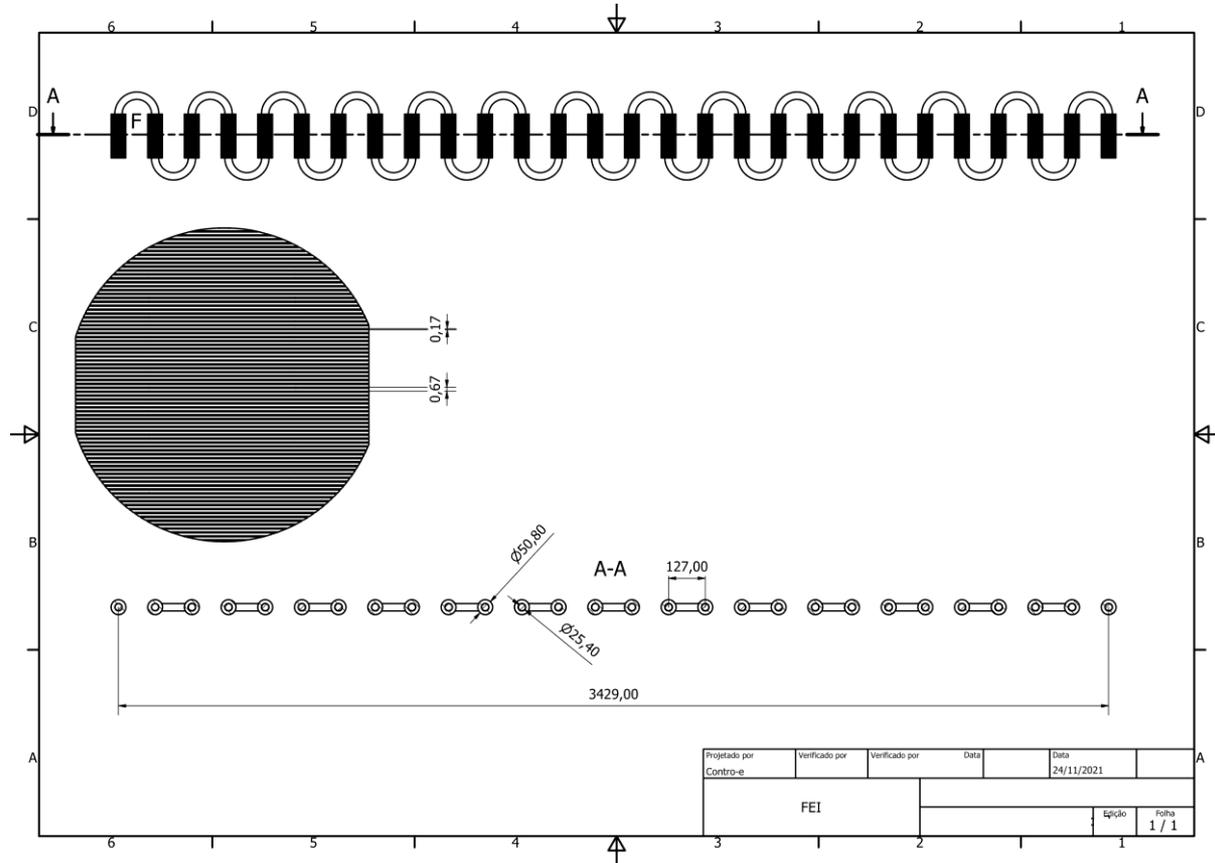
$$\frac{A_{tot}}{\text{lado}} = [(\pi DL - nt) + 2n * A_0] \eta$$

 6286 aletas/lado; $e = 0,2$ mm



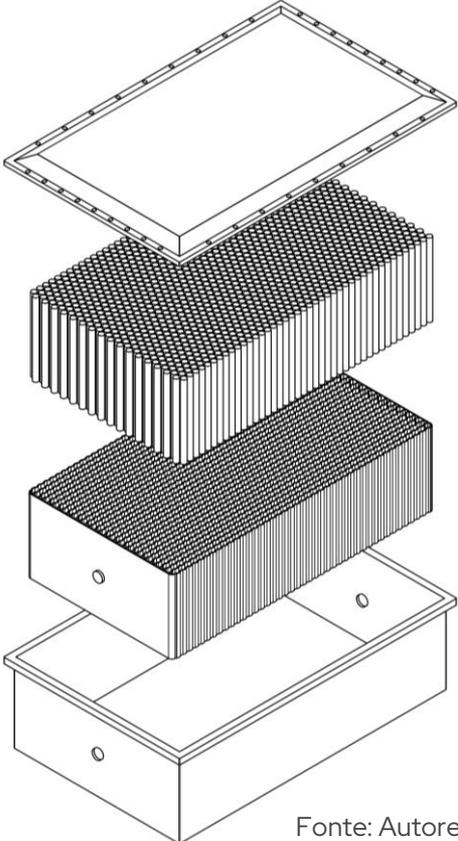
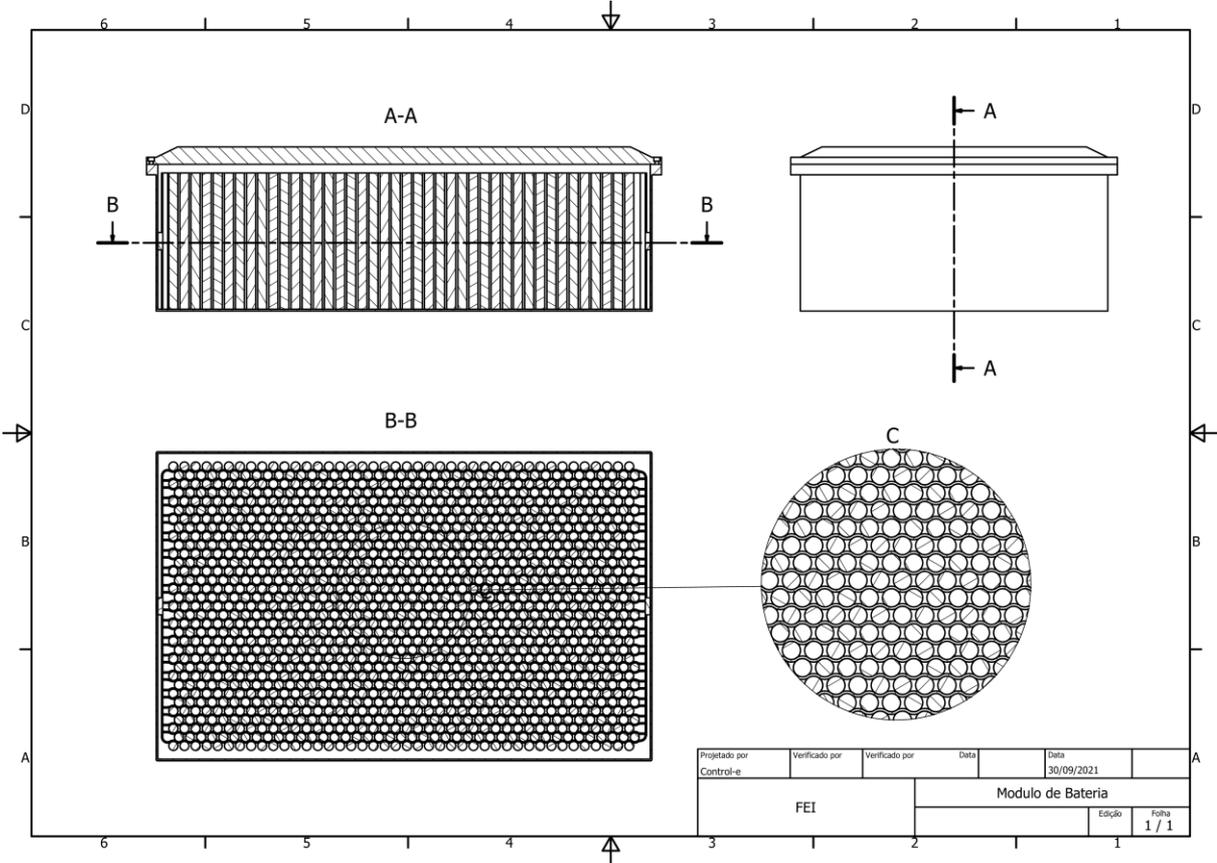
Fonte: Çengel, 2012.

Modelo 2D – Preliminar



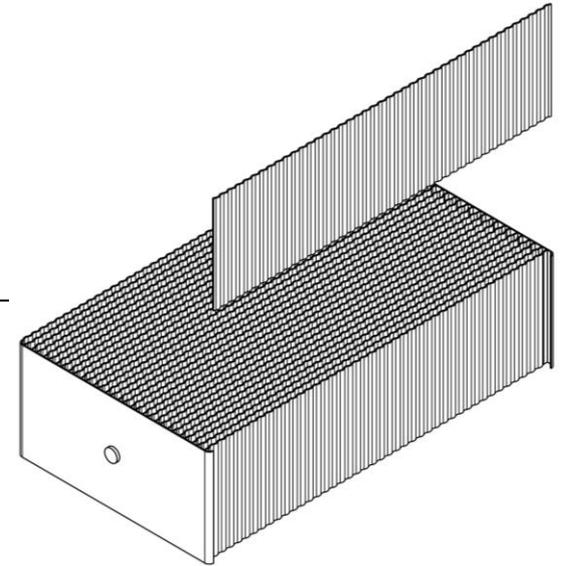
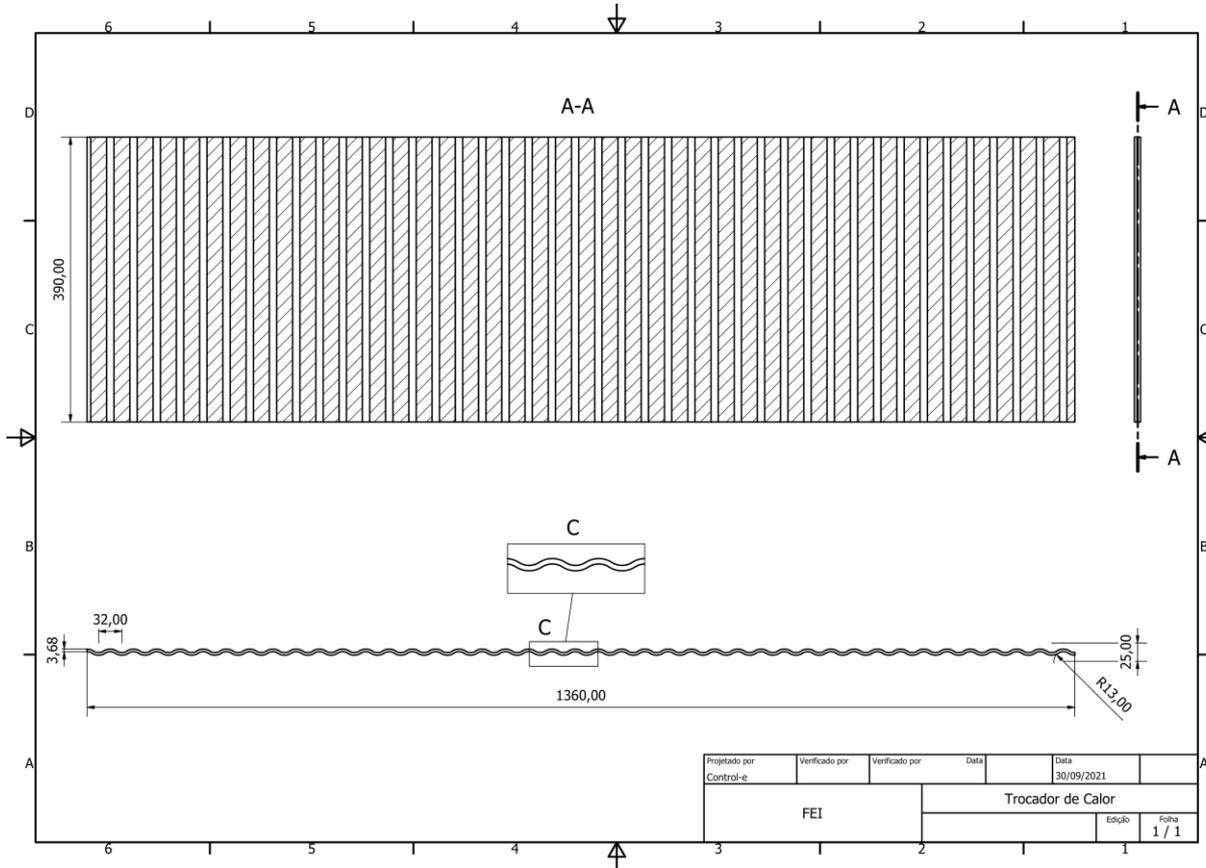
Fonte: Autores, 2021

Modelo 2D



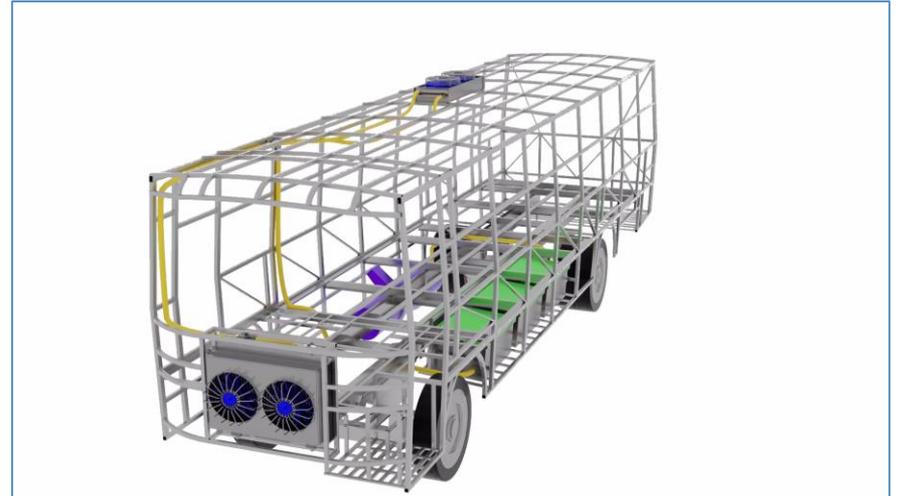
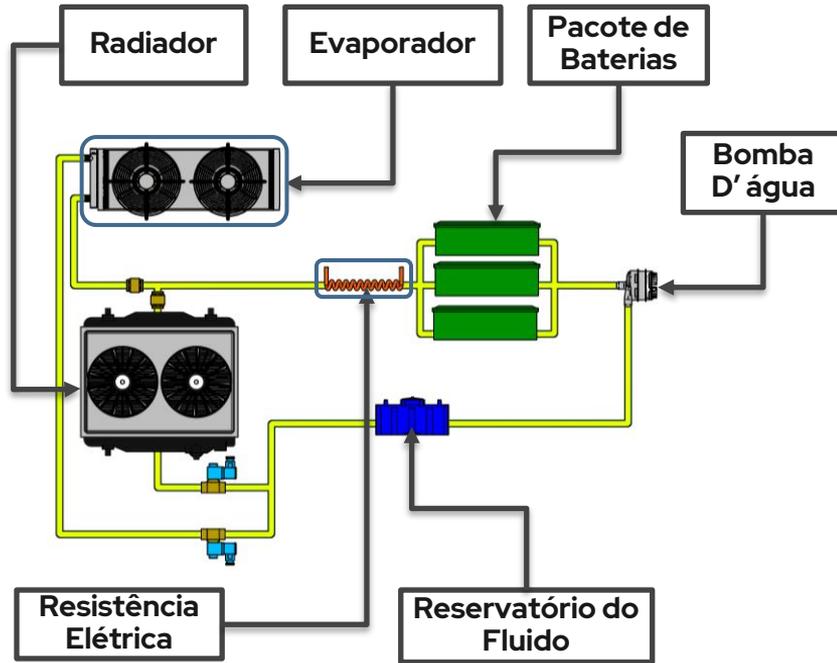
Fonte: Autores, 2021

Modelo 2D



Projetado por Control-e	Verificado por	Verificado por	Data	Data	
				30/09/2021	
FEI			Trocador de Calor		
				Edição	Folha
					1 / 1

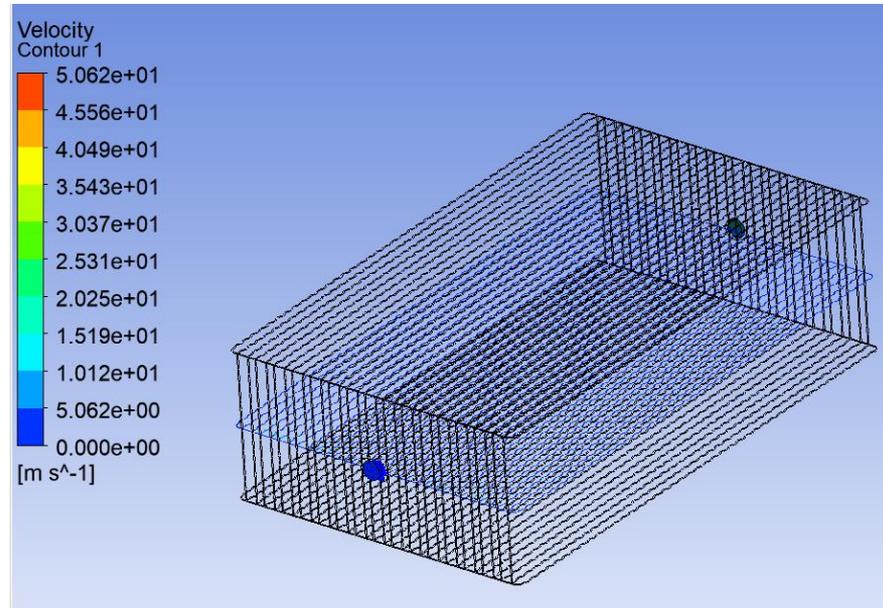
Fonte: Autores, 2021



Fonte: Autores, 2021

15 Resultados da Melhoria Proposta

-  Para a vazão de 1,36kg/s da bomba.
-  3 módulos, equivale a 0,45kg/s.
-  Valor Perda de carga da simulação = 0,02086 [m]



Fonte: Autores, 2021.

Condições:



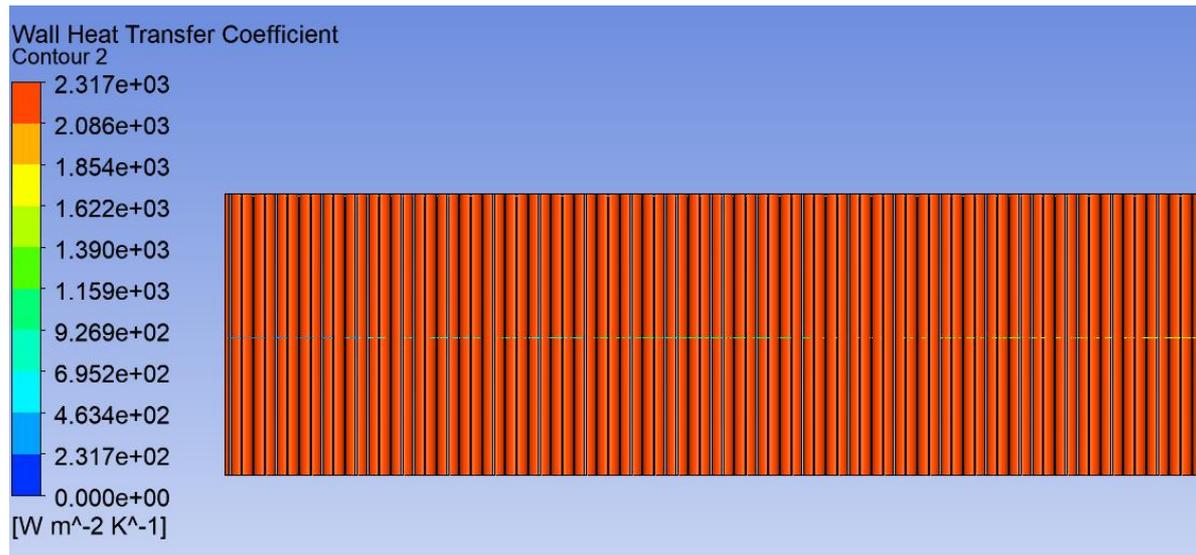
Coeficiente de transferência de calor = $2317 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Taxa de descarga = 1C



ΔT do fluido = 2° C .

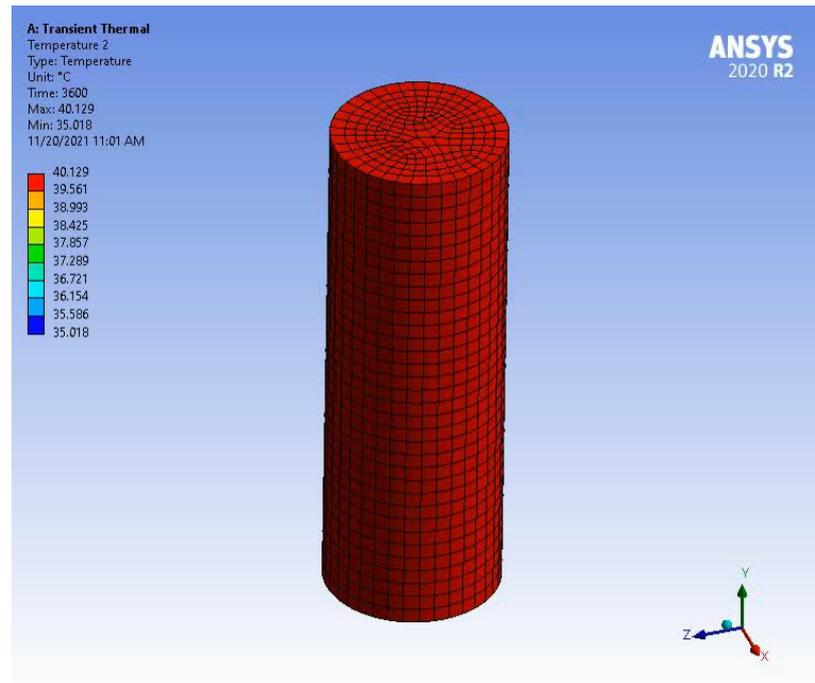


Fonte: Autores, 2021.

Simulação Térmica Transiente da Célula em Carga

Condições:

-  $K_{\text{bateria}} = 1 \text{ W/mK}$ (Chu, Tuan, Zhu, Lu, Zhou, 2020).
-  Tempo para atingir equilíbrio = 720s (12 min)
-  Temperatura inicial do sistema = 40 °C
-  Temperatura do fluido = 35 °C
-  $H_{\text{convecção}} = 2317 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
-  Taxa de carga = 1C

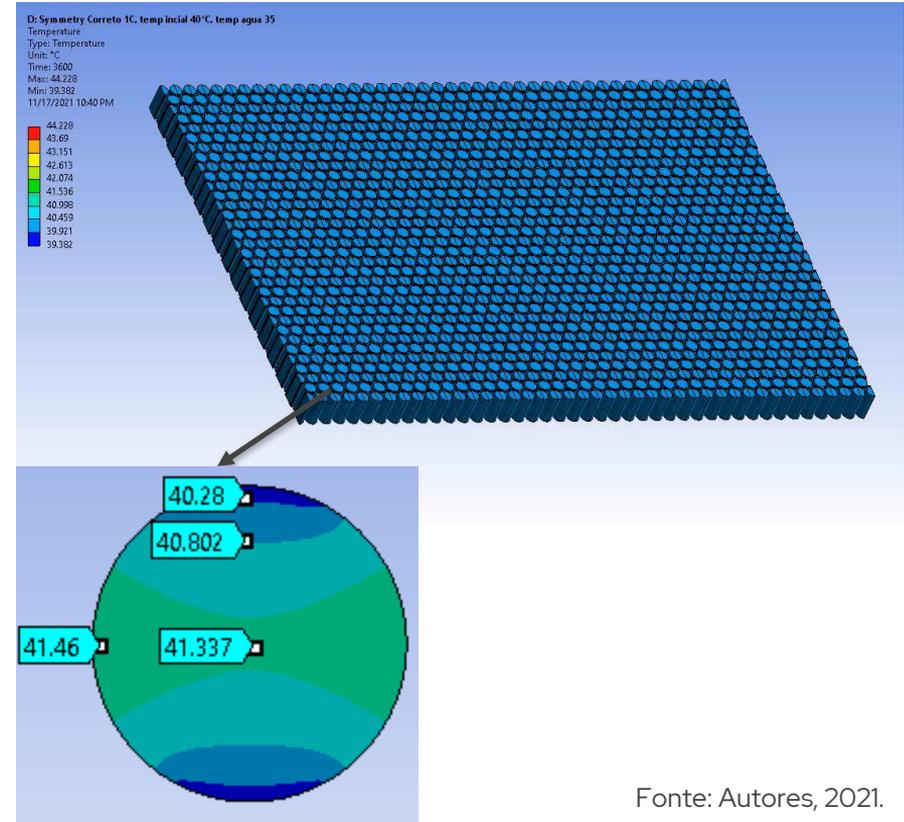


Fonte: Autores, 2021

Simulação Térmica Transiente do Módulo em Recarga

Condições:

-  Fluido = 35°C
-  Temperatura inicial do sistema = 40°C
-  Taxa de carga = 1C
-  Geração de calor interna = 11 kW/m³
-  Coeficiente fluido = 2317 W/m².K
-  Duração da simulação = 1 hora.

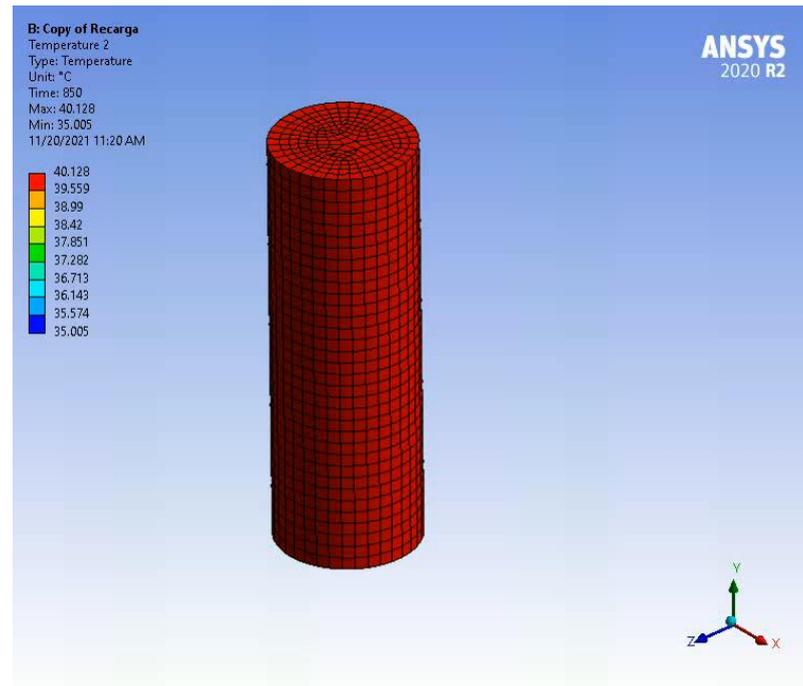


Fonte: Autores, 2021.

Simulação Térmica Transiente da Célula em Descarga

Condições:

-  $K_{\text{bateria}} = 1 \text{ W/mK}$ (Chu, Tuan, Zhu, Lu, Zhou, 2020).
-  Tempo para atingir equilíbrio = 600s (10 min)
-  Temperatura inicial do sistema = 40 °C
-  Temperatura do fluido = 35 °C
-  $H_{\text{convecção}} = 2317 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
-  Taxa de descarga média = 0.2C



Fonte: Autores, 2021

Simulação Térmica Transiente do Módulo em Descarga

Condições:



Fluido = 35°C



Temperatura inicial do Sistema = 40°C



Taxa de carga = 0,2C



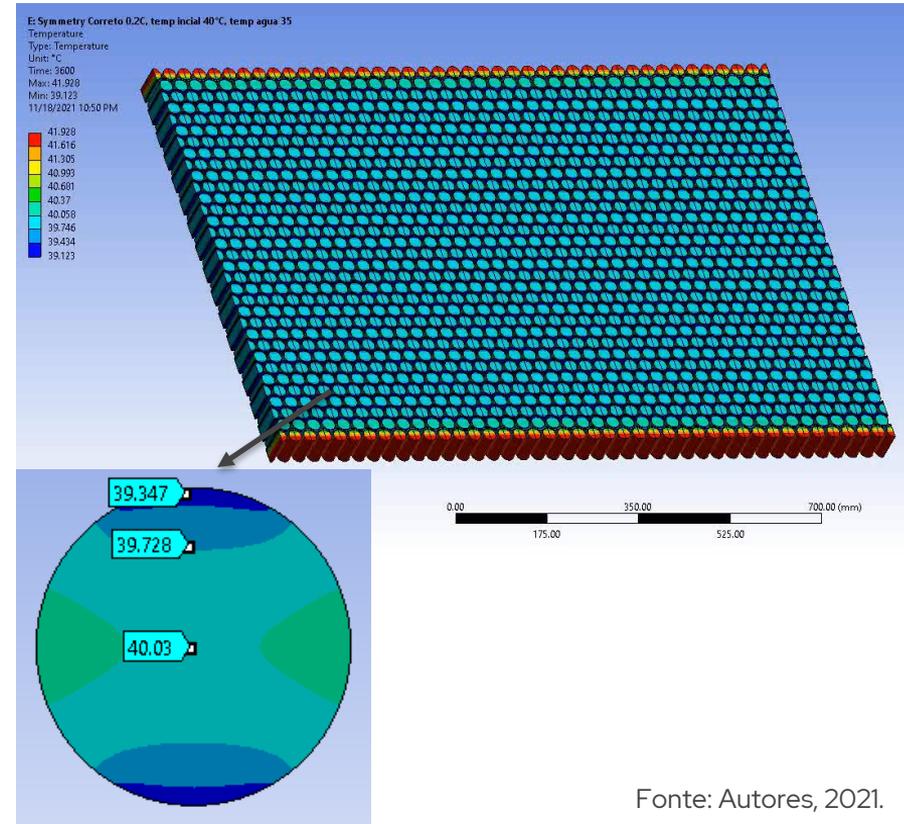
Geração de calor interna = 700 W/m³



Coeficiente fluido = 2317 W/m².K



Duração da simulação = 1 hora.



Fonte: Autores, 2021.



Com base na temperatura média das baterias, como calcular a degradação?

Modelo de Wang et al (LiFePO4)

Fonte: WANG et al, 2011.

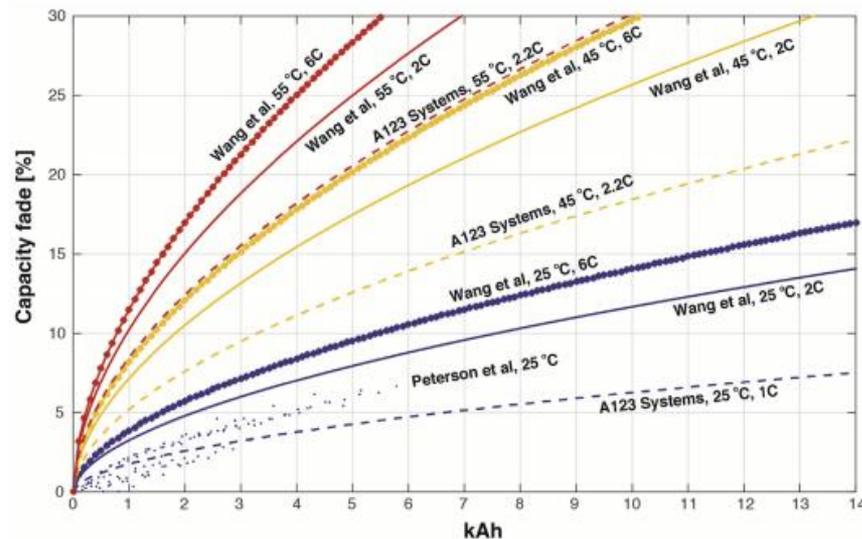
$$\theta^{CYC} = A \cdot \exp \left[\frac{-31700 + 370.3 \times (I^{CELL} / C^{CELL})}{R_{GAS} \cdot T^{CELL}} \right] (\phi^{AH,TH})^{0.55}$$

Taxa de Descarga
(Modelo Dinâmico)

Temperatura da Célula
(Modelo Térmico)

Consumo de Corrente
no Período (Ah)

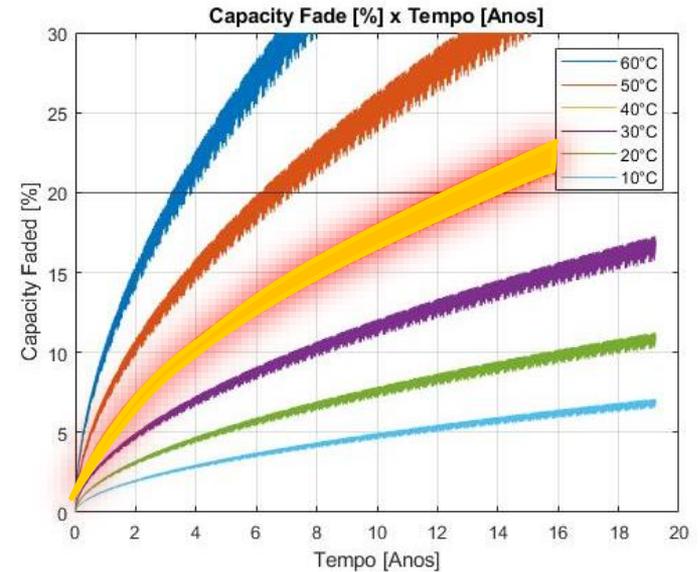
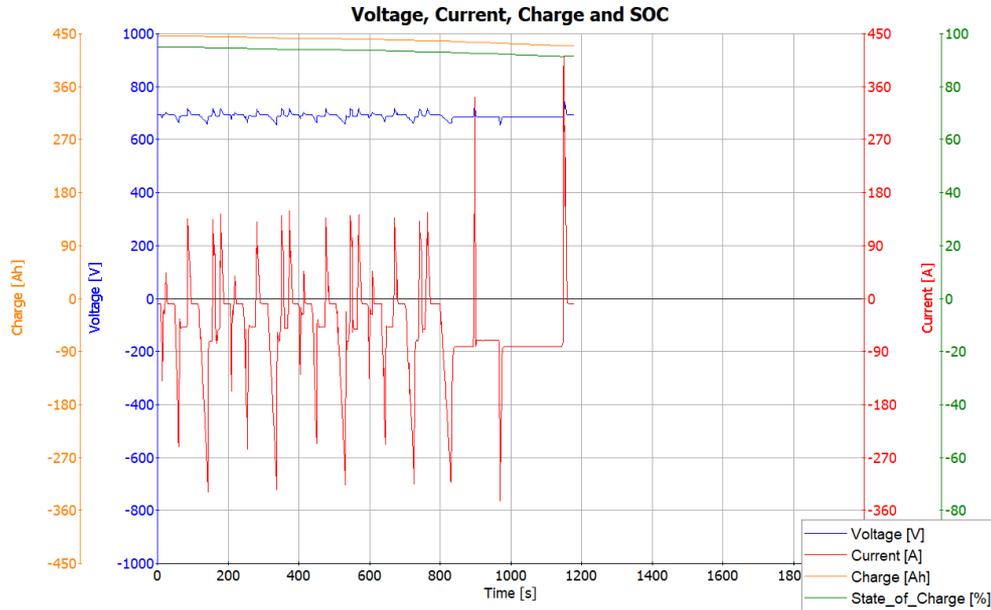
Degradação



Fonte: YUKSEL et al, 2019.



Com base na temperatura média das baterias, como calcular a degradação?



Fonte: Autores, 2021

Conclusão Final



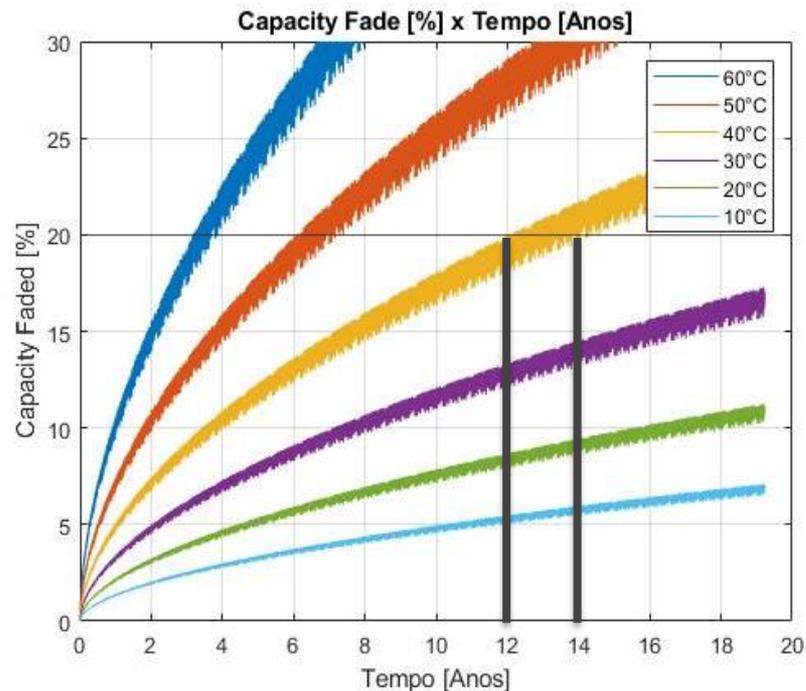
Target inicial = 10 anos.



Em ciclo NEDC, com temperatura constante de 40° C:



Vida atingida = 12 anos.



Fonte: Autores, 2021

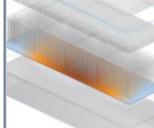
16 Canvas de Negócio



<p>Parcerias Chave </p> <ul style="list-style-type: none"> • Fornecedores de equipamentos, materiais e componentes; • Empresa de Cálculo Estrutural; • Incubadora (Aceleração de Startups). 	<p>Atividades Chave </p> <ul style="list-style-type: none"> • Venda do Produto; • Manutenção e reparos – pós venda; • Desenvolvimento Tecnológico; • Adaptação do produto à necessidade do cliente. 	<p>Proposta de Valor </p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de vida útil do pacote de baterias, reduzindo o descarte prematuro; • Maior segurança ao controlar a temperatura da bateria (evitando Thermal Runaway); • Redução de 40% no custo por quilometro rodado; • Aumento de autonomia do ônibus elétrico urbano. 	<p>Relações com Clientes </p> <ul style="list-style-type: none"> • Meios de contato dedicados aos clientes; • Assistência e acompanhamento destinado aos consumidores. 	<p>Segmentos de Clientes </p> <ul style="list-style-type: none"> • Montadoras de chassis para ônibus elétricos urbanos que utilizem montagem modular.
<p>Estrutura de Custos </p> <ul style="list-style-type: none"> • Custo com os componentes necessários para a montagem do sistema; • Custos fixos com time de Engenharia, Marketing e Financeiro; • Custos variáveis com publicidade e investimento em melhorias. 	<p>Fontes de Renda </p> <ul style="list-style-type: none"> • Venda do produto; • Prestação de serviços de manutenção e assistências. 	<p>Canais </p> <ul style="list-style-type: none"> • Site; • Redes Sociais; • Congressos; • Revistas técnicas. 		

17 Custos

Custos Preliminares

Item										
	Radiador com Fan	Tubulação Hidráulica	Bomba D'Água	Serpentina	Sensor de Temperatura	Thermal Pad	Control Unit	Ar Condicionado	Tubo Aletado	Válvula Direcional
Fornecedor	EMP	Continental	EMP	Trumony Aluminum Limited	Amphenol Advanced Sensors	Saint Gobain	EMUS BMS G1	Valeo	Wintech	VH
Custo	\$ 360,00	\$ 420,00	\$ 800,00	\$ 2.200,00	\$ 652,80	\$ 576,00	\$ 774,00	Incluso	\$ 270,00	\$ 80,27

Custo	Preço (USD \$)	Preço (R\$)
Custo do Arrefecimento + Aditivo	USD\$ 6.209,87	R\$34.464,79

Dólar Comercial a R\$5,55 em 09/11/2021

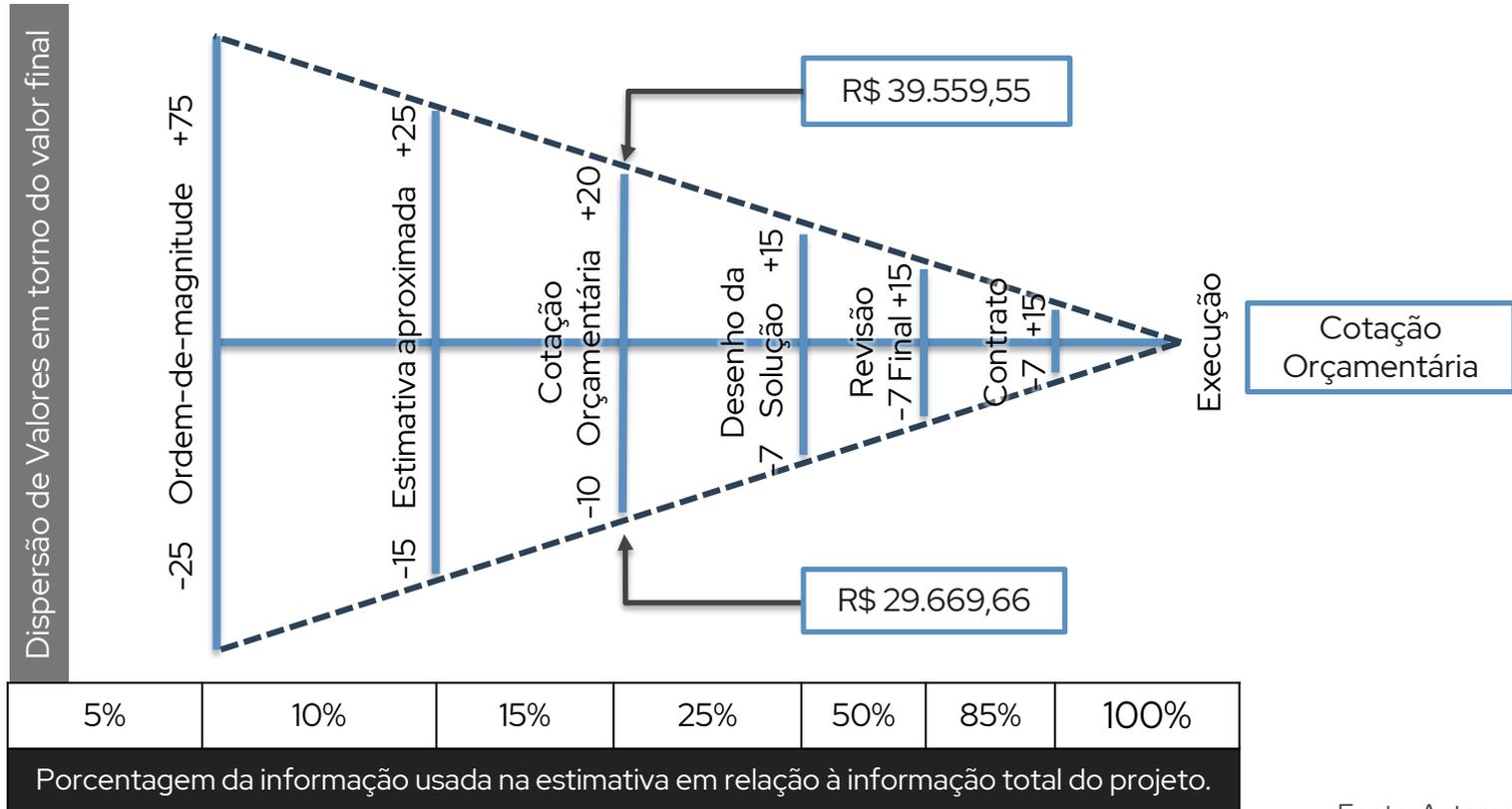
Fonte: EMP, Continental, Trumony, et al. 2021

Custo do Produto

Sistema Arrefecimento (Produto)	-	-	R\$	34.038,54
Etilenoglicol	13,75 R\$/Litro	31 litros	R\$	426,25
Total			R\$	34.464,79

-  Custo da bateria sem arrefecimento (5 anos) = R\$ 177.489,00 X 2 = R\$ 354.978,00 (10 anos)
-  Custo da bateria com arrefecimento (10 anos) = R\$210.029,04 **- R\$144.948,96**
-  **Custo de um veículo elétrico (Cotação em 03/11/2021) = R\$ 2.200.000,00**

Estimativa de Custo do Produto



Fonte: Autores, 2021

ROI e Payback



O ganho é a diferença entre a depreciação linear com e sem arrefecimento.



Second Life – Retorno sobre o capital investido após 80% de *capacity fade*.

Por Ônibus	Ganho	Ganho Mensal
	R\$ 49.842,85	R\$ 415,36
	ROI	Payback
	44,62%	6,91



Lucro do Produto durante os 10 anos de vida útil: R\$ 15.378,06.

<https://control-e.wixsite.com/control-e>



HOME

PROJETO

FICHA TÉCNICA

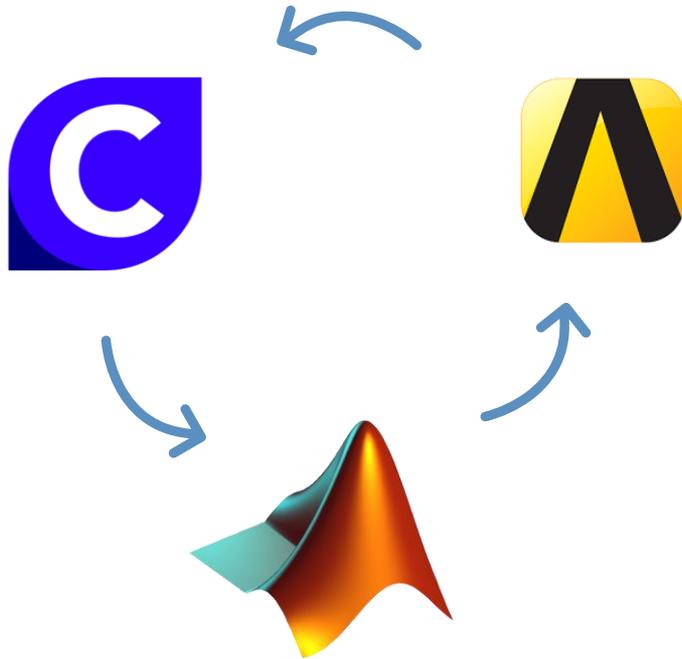
CONTATO

BEM-VINDO À MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

Acreditamos em um futuro mais ecológico em que o aumento de vida útil das baterias para veículos elétricos viabiliza uma maior introdução da mobilidade elétrica nos centros urbanos, minimizando o impacto ambiental.



18 Futuros Estudos e Desenvolvimentos



Fonte: Autores, 2021



Fonte: Austrian Institute of Technology, 2021

19 Referências Bibliográficas

Livros, artigos, revistas e normas técnicas

- KIM, Jaewan; OH, Jinwoo; LEE, Hoseong. **Review on battery thermal management system for electric vehicles**. Applied Thermal Engineering, [S.L.], v. 149, p. 192-212, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.020>.
- ANGERMEIER, Sebastian; KETTERER, Jonas; KARCHER, Christian. Liquid-Based Battery Temperature Control of Electric Buses. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 19, p. 4990-5009, 23 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13194990>.
- COLLIN, Ryan; MIAO, Yu; YOKOCHI, Alex; ENJETI, Prasad; VON JOUANNE, Annette. Advanced Electric Vehicle Fast-Charging Technologies. **Energies**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 1839-1864, 15 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en12101839>.
- SHENG, Lei; SU, Lin; ZHANG, Hengyun; FANG, Yidong; XU, Haifeng; YE, Wen. An improved calorimetric method for characterizations of the specific heat and the heat generation rate in a prismatic lithium ion battery cell. **Energy Conversion And Management**, [S.L.], v. 180, p. 724-732, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.030>.
- PESARAN, Ahmad; SANTHANAGOPALAN, Shriram; KIM, Gi-Heon. **Addressing the Impact of Temperature Extremes on Large Format Li-Ion Batteries for Vehicle Applications**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2013. 30 slides, color.
- GOLUBKOV, Andrey W.; PLANTEU, René; KROHN, Philipp; RASCH, Bernhard; BRUNNSTEINER, Bernhard; THALER, Alexander; HACKER, Viktor. Thermal runaway of large automotive Li-ion batteries. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 8, n. 70, p. 40172-40186, ago. 2018. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c8ra06458j>.
- CHEN, Kaiwei. **Heat Generation Measurements of Prismatic Lithium Ion Batteries**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, University Of Waterloo, Waterloo, 2013
- AGWU, Daberechi David; OPARA, Felix; CHUKWUCHEKWA, Nkwachukwu; DIKE, Damian. **Review Of Comparative Battery Energy Storage Systems (Bess) For Energy Storage Applications In Tropical Enviroments**. Owerri: Federal University Of Technology, Owerri.(Futo), Nigeria, 2018. 7 p.
- LIN, Chunjing; XU, Sichuan; LIU, Jinling. Measurement of heat generation in a 40 Ah LiFePO4 prismatic battery using accelerating rate calorimetry. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [S.L.], v. 43, n. 17, p. 8375-8384, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.057>.

OBRIGADO!

