



SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DE CARROS ELÉTRICOS

Lucas Angelo Carginin¹

Claudio Ernesto Ponce Saldias²

Resumo: O foco no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis está presente entre as principais montadoras de carros e a solução de adotar veículos elétricos tem ganhado destaque mundialmente. Considerando esse cenário, tem-se como proposta desta pesquisa, realizar a análise de atributos dos componentes de veículos elétricos por meio do sistema especialista JEMO. Através de pesquisas bibliográficas sobre veículos elétricos são construídos modelos que representam os sistemas a serem analisados. Estes são convertidos para algoritmo a fim de serem implementados em *templates* em linguagem Java do sistema por meio da plataforma NetBeans IDE, após a apresentação dos algoritmos são realizados treinamentos assistidos e questionários com a ferramenta para construção e validação de sua base de conhecimento. Por fim, concluído o treinamento, são feitas simulações com veículos elétricos de diferentes tecnologias, com o intuito de que o sistema realize uma análise de cada veículo e apresente um relatório informando as principais características e pontuações de cada componente. Os resultados obtidos com o estudo estão de acordo com os dados coletados na pesquisa e modelos desenvolvidos, além disso, demonstram a vantagem de se trabalhar com inteligência artificial, na qual as análises são feitas de maneira rápida e as bases de conhecimento podem ser constantemente atualizadas e aprofundadas.

Palavras-Chave: Veículos elétricos. Análise de desempenho. Tecnologias. Inteligência artificial. JEMO.

1 INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de se reduzir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), e tendo em vista que o setor de transporte é um dos que mais contribuem para sua emissão nos centros urbanos, os investimentos em mobilidade sustentável, visando eficiência energética, tem aumentado consideravelmente. Assim, a projeção

¹ Graduando em Engenharia Elétrica. Ano-2021/1 E-mail: lucas.carginin@outlook.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: claudio.saldias@satc.edu.br



é de que, até 2030, o estoque global de carros elétricos deva atingir 140 milhões, 10% da frota total de veículos leves de passageiros [1].

A opção pelos veículos elétricos (VEs) é motivada pela diminuição no uso de combustíveis fósseis, além da melhora na qualidade do ar nas cidades. Esta mudança foi possível graças ao desenvolvimento de novas tecnologias, o que ocasionou a redução de custos na produção de componentes, como, por exemplo, as baterias.

O tipo mais comum de VEs são os denominados *Battery Electric Vehicles* (BEV), no qual a energia do veículo é fornecida por um conjunto de células de baterias, e sua recarga deve ser feita utilizando a rede elétrica. Considerando a projeção do crescimento na utilização desse meio de transporte, a análise de desempenho dos VEs torna-se essencial [2].

Ferramentas de inteligência artificial, como os sistemas especialistas, são desenvolvidas e utilizadas frequentemente para a solução de problemas em domínios como medicina, engenharia, química, ciência da computação, economia e educação, por meio do conhecimento [3]. Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é desenvolver, por meio de pesquisa bibliográfica, as informações para as bases de conhecimento e modelos dos sistemas que constituem um veículo elétrico a fim de serem implementadas no sistema especialista JEMO, desenvolvido inicialmente para instrução virtual e treinamentos de pilotos de aviões BOEING 737-800, na tese de doutorado de Saldias [4].

A contribuição da aplicação se dará por permitir que seja feita uma análise dos atributos dos componentes dos VEs, a partir da ferramenta de inteligência artificial, sendo possível comparar diferentes modelos e tecnologias de veículos de maneira rápida com processos de pergunta-resposta. Além disso, ao surgirem novos estudos sobre esses veículos bastaria uma atualização nas bases de conhecimento e modelos para aperfeiçoamento da ferramenta e constante melhora nas análises.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, apresenta-se o funcionamento de um BEV, também são descritos os critérios e componentes adotados para a análise de atributos. Em conjunto, serão apresentados os métodos de resolução de problemas na área da

inteligência artificial, suas principais características e uma introdução ao sistema JEMO.

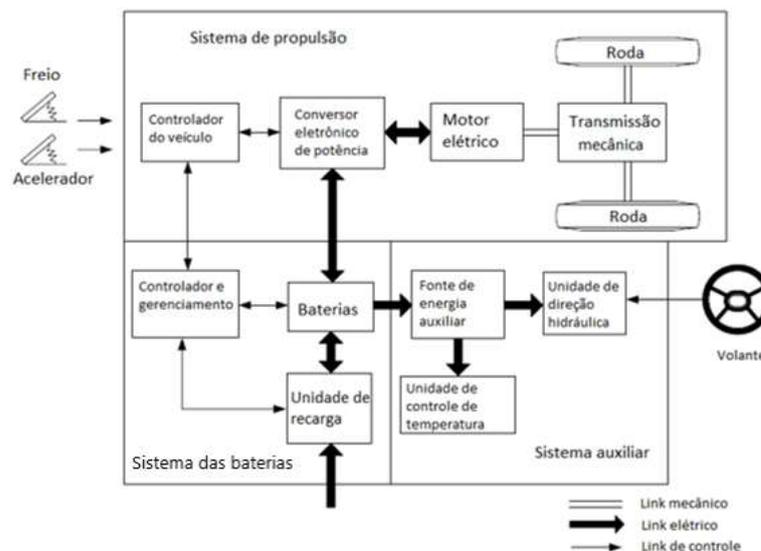
2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos são definidos como veículos automotores que são impulsionados por um ou mais motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis [5].

A tecnologia abordada neste estudo será com foco nos BEVs (*Battery Electric Vehicles*), nos quais toda a propulsão do veículo é realizada pelo motor elétrico e alimentado pelo conjunto de baterias. As baterias são, normalmente, recarregadas pela rede elétrica e, em algumas situações, também por meio da frenagem regenerativa [2].

A estrutura dos BEVs é formada pelo sistema de propulsão, pelo sistema das baterias e pelo sistema auxiliar, conforme Fig. 1 [6].

Figura 1: Estrutura dos BEVs



Fonte: Adaptado de Ehsani et al (2010) [6].

O sistema de propulsão do motor elétrico é constituído pelo sistema de controle do veículo, pelo conversor eletrônico de potência, pelo motor elétrico e pela transmissão. O sistema das baterias é formado pelo pack de baterias, pelo sistema de gerenciamento do pack (BMS) e pela unidade de recarga. Por fim, o sistema



auxiliar é composto pelo sistema de refrigeração e aquecimento e por outros componentes auxiliares eletrônicos do veículo [7].

O princípio de funcionamento dos BEVs é direto: o sistema de controle recebe sinais dos pedais de aceleração e freio, o controlador fornece sinais de controle para o conversor eletrônico de energia com base nos sinais recebidos, este age regulando o fluxo de energia entre o motor e o pack de baterias. O sistema de gerenciamento de energia opera em conjunto com o controlador do veículo para controlar a frenagem e sua recuperação de energia [7].

Para realizar a análise de desempenho serão levados em consideração alguns dos principais componentes dentro de cada um dos sistemas de um BEV, que são listados a seguir.

2.1.1 Baterias

O item que demanda maior custo em um VE é sua bateria, que representa de 25% a 50% do custo total do veículo dependendo da tecnologia utilizada. Uma redução no valor das baterias é estimada para até 2025, o que irá determinar uma queda significativa no preço dos veículos elétricos, deixando-os em paridade com veículos à combustão interna [8].

As principais tecnologias de baterias empregadas em veículos elétricos atualmente são de chumbo ácido, níquel-hidreto metálico (NiMH), íons de lítio (Li-Ion) e baterias ZEBRA [9].

As baterias de chumbo ácido são definidas por sua operação segura e baixa manutenção, porém, sua aplicação nos BEVs é limitada a veículos industriais, como empilhadeiras e outros veículos de baixa velocidade. Isso se deve a sua baixa energia específica (entre $35 - 40 \text{ Wh kg}^{-1}$) e seu ciclo de vida de três a cinco anos [9].

Baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH) também possuem uma baixa energia específica (entre $50 - 70 \text{ Wh kg}^{-1}$), o que prejudica sua aplicação em grande escala nos VEs [9].

Baterias de Li-Ion representam a tecnologia mais empregada em VEs, graças à alta energia específica (maior que 150 Wh kg^{-1}). Outra vantagem é a falta



do “efeito memória”, que faz com que a bateria perca sua máxima capacidade energética no caso de repetidas recargas, sem estar totalmente descarregada. [8]

A desvantagem das baterias de íons de lítio é representada pela alta temperatura durante operação, o que pode afetar a performance energética além de sua vida útil e segurança durante uso. Essa tecnologia requer um sistema de gerenciamento da bateria para monitorar e controlar a temperatura das células [10].

Por fim, as baterias ZEBRA, também denominadas baterias de sal fundido, possuem alta energia específica e custo reduzido se comparadas às baterias de íons de lítio. Um empecilho para seu uso está relacionado a questões de segurança, visto que qualquer dano ao eletrólito cerâmico pode levar a explosões e incêndios, além do fato de operar em altas temperaturas [10].

2.1.2 Sistema de gerenciamento da bateria (BMS)

O sistema da bateria inclui um controlador chamado BMS (*Battery Management System*), que compreende múltiplos sensores, atuadores e controladores com vários algoritmos e conexões de sinais. As principais funções do BMS no monitoramento da bateria e fornecimento das informações necessárias para o bom funcionamento VE são listadas a seguir [11]:

I. O módulo de aquisição de dados (DAQ), coleta os dados da bateria, que incluem corrente, tensão e temperatura na frequência de amostragem e precisão adequadas;

II. Os dados coletados são enviados para o módulo que contém o algoritmo de estimação de estado. Os parâmetros da bateria são identificados usando os dados de entrada e saída. Por fim, os parâmetros atualizados do modelo da bateria são alimentados em um observador de estado para estimar o estado de carga (SOC – *State of Charge*) e estado de saúde (SOH – *State of Health*).

O SOC é estimado, de acordo com as condições de corrente de trabalho, temperatura e tensão, e representa a carga disponível armazenada na bateria em comparação com a capacidade total da bateria. Já o SOH é estimado, de acordo com a degradação de performance das baterias, e prevê o número de vezes que a bateria pode ser carregada e descarregada antes que sua vida útil termine [12].



O BMS garante a segurança da bateria e a protege de operar em condições que sejam prejudiciais aos usuários e a própria bateria. Os limites de segurança para proteger a bateria de funcionar além da faixa de temperatura segura são definidos pelo BMS [13].

2.1.3 Processo de recarga

A comissão internacional eletrotécnica (IEC) define quatro níveis de cargas de veículos elétricos: CA nível I (lento), CA nível II (lento), CA nível III (nível II rápido), e CC nível III, baseados na norma IEC 61851-1 [14].

O carregamento nível I CA utiliza tomadas domésticas padrão em tensão de 120V com uma capacidade de condução de corrente de 15 a 20A, podendo gerar de 1,4 a 1,9kW dependendo do consumo de corrente, levando de oito a dezesseis horas para carregar totalmente uma bateria de um VE, dependendo de seu tipo e tamanho. Este nível é o que implica menos custos para implantação, porém é o mais lento e menos encontrado em residências e edifícios comerciais [15].

Os carregamentos níveis II e III CA são definidos como os principais métodos para instalações privadas e públicas. O nível II atribui tensão de até 240V, monofásico, com uma capacidade de condução de corrente de até 40A para instalações privadas. Já o nível III atribui tensão de até 400V, trifásico, com uma capacidade de condução de corrente de até 80A para instalações públicas [16]. Nestes níveis, a potência gerada pode ser de 7,7 a 25,6kW, respectivamente, e a recarga leva de quatro a oito horas [15].

Usuários geralmente se enquadram no nível II devido a seu tempo de recarga e comodidade. Neste nível não é necessário fazer modificações na instalação da residência, operando nos mesmos circuitos dos eletrodomésticos [17]. Os custos para instalações de nível II são considerados baixos, já em instalações públicas comerciais ou nível III, estes custos aumentam consideravelmente [15]. A conversão de CA para CC nesses níveis de recarga ocorre através de um conversor AC/DC interno do veículo.

Já o carregamento nível III CC é adequado para aplicações comerciais e públicas e destina-se a oferecer aos consumidores uma experiência semelhante a de postos de combustível convencionais, através da recarga rápida. Em geral, o



carregamento rápido fornece 80% da carga em dez a quinze minutos dependendo do tipo de bateria e tamanho. Este carregamento é medido até 80% da carga, pois a carga completa demanda um longo período [15].

No carregamento nível III, a conversão de CA para CC ocorre em um carregador externo. Esse aparelho é utilizado em circuitos trifásicos de 208-600 V e suporta correntes de até 200A, para fornecer o carregamento rápido. A potência gerada pode chegar a 100kW. Os custos para esse tipo de carregamento são altos, além do custo de manutenção do sistema [18].

Além dos níveis de carregamento abordados tem-se o carregamento indutivo, ou carregamento wireless, que usa um campo eletromagnético para transferir energia a bateria do veículo. O principal ponto negativo relacionado a esse tipo de carregamento é sua baixa eficiência que, atualmente, fica na faixa de 86% [15].

2.1.4 Sistema de propulsão

As características mais buscadas em motores de veículos elétricos são uma alta densidade de potência, rápida resposta de torque, alta potência instantânea, baixo custo, robustez, alta eficiência em altas velocidades e confiabilidade [19].

As principais tecnologias de motores para veículos elétricos disponíveis, atualmente, são os motores DC, motores de indução, motores de relutância comutada e motores de ímã permanente.

Os motores DC são utilizados nos veículos elétricos devido ao seu simples controle e robustez. Eles são divididos em motores DC sem escova (Ímã permanente ou BLDC) e motores DC com escova. O motor DC com escova fornece alto torque em baixas velocidades e tem uma característica de torque-velocidade apropriada para o uso em VEs. Por outro lado, ele possui algumas desvantagens como baixa eficiência, baixa confiabilidade e alto custo de manutenção devido a suas escovas [20].

Já o motor de ímã permanente é a opção que vem sendo mais aplicada no projeto de VEs, junto aos motores de indução, principalmente o motor DC sem escovas, devido às suas altas densidades de torque e de potência, especialmente quando são usados ímãs de alta densidade de fluxo magnético [21].

Motores de relutância comutada tem como vantagem para veículos elétricos, a facilidade no controle, uma ampla região de potência constante em altas

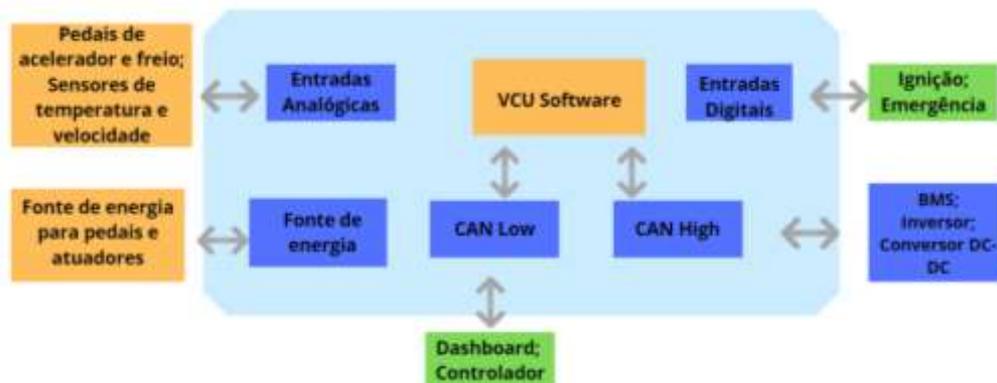
velocidades, tolerância contra falhas, características efetivas de torque-velocidade e construção robusta [19].

Os motores de indução são usados devido a sua estrutura simples, confiabilidade, robustez, pouca necessidade de manutenção, baixo custo e operação em ambientes de más condições. Como pontos negativos podem ser observados: sua baixa eficiência em comparação com os motores de imã permanente e baixo fator de potência [20].

2.1.5 Unidade de controle do veículo

A eficiência do veículo elétrico depende das eficiências do motor, inversor de frequência e transmissão, ou seja, da eficiência do trem de força. Porém, a eficiência do sistema também depende dos algoritmos de controle da unidade de controle do veículo, visto que eles definem os pontos de operação e limites do sistema. A interface de entrada-saída de uma VCU (*Vehicle Control Unit*) genérica é exibida na Fig. 2, os módulos mais importantes e suas funcionalidades são listadas a seguir no Quadro 1:

Figura 2. Interface genérica de uma VCU de veículo elétrico.



Fonte: Adaptado de Karamuk et al (2013) [22].



Quadro 1: módulos de uma VCU.

Máquina de Estado (<i>Software de controle de estado</i>)	O módulo da máquina de estado define o estado da carga do VE, direção, desligamento e desligamento de emergência, e garante que os subsistemas e garante a ativação e desativação segura de subsistemas e componentes. É um módulo de gerenciamento usado para coordenar a sequência do software e as funções do sistema do veículo [22].
Gerenciamento de Energia	Para executar um melhor gerenciamento de energia, a VCU precisa conhecer o ciclo de condução e as informações de níveis, a fim de que este módulo possa prever a energia necessária e distribuir entre as cargas auxiliares e sistema de tração [22].
Gerenciamento de Torque	Fornecer a referência de torque com base no torque exigido pelo motor do veículo e pelos limites do sistema motor-inversor e bateria. A referência de torque do motor elétrico deve ser limitada e filtrada para melhorar a dirigibilidade e reduzir as vibrações no trem de força [22].
Gerenciamento Térmico	Controla a referência de temperatura dos circuitos de refrigeração e aquecimento e mantém a temperatura do motor, bateria em conjunto com o BMS e demais componentes dentro de seus limites de temperatura [22].
Gerenciamento de Segurança	Riscos e metas de segurança precisam ser definidos para cada componente e subsistema do veículo elétrico, tais como a VCU, sistema de frenagem, baterias, inversor de frequência, motor, unidade de recarga, direção elétrica, e protocolo de comunicação CAN [23].

Fonte: Do autor (2021).

Os veículos elétricos, assim como veículos à combustão ou híbridos, possuem diversos protocolos de comunicação que fazem o “link” entre as informações obtidas por cada componente e os enviam para a unidade de controle. As especificidades de cada protocolo, no entanto, não serão abordadas neste estudo.

Os principais problemas relacionados à segurança para VE's são a aceleração ou desaceleração não intencional do veículo, aumento da distância de parada, instabilidade, exposição a tensões perigosas e a substâncias tóxicas ou inflamáveis [24].

Os níveis de eficiência podem ser medidos pelo drive de controle, motor e componentes auxiliares ou pelos níveis de sistema, o algoritmo de controle determina os pontos de operação das cargas elétricas na bateria [24].

A. Drive de controle.



O controle do veículo, em alguns tipos de motor, pode ser realizado por um inversor de tração, neste caso, o processo de gerenciamento de energia, gerenciamento de torque, gerenciamento térmico, gerenciamento de falhas e segurança é feito de acordo com os valores recebidos pelo inversor dos sensores de monitoramento do VE em conjunto com o BMS.

O inversor de tração também está sujeito a ciclos de temperatura e, portanto, pode sofrer reduções de potência em caso de superaquecimento. Os custos, maior potência específica, e eficiência são os principais parâmetros para se avaliar os inversores de tração [25].

2.2 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO.

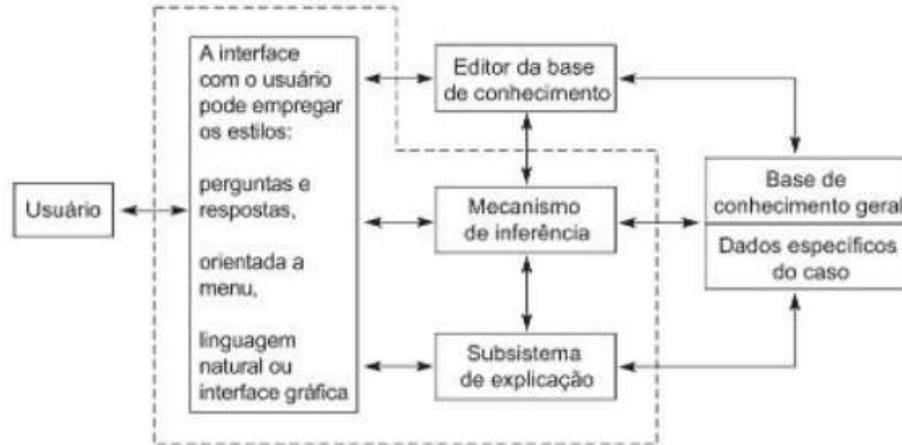
No campo da inteligência artificial existem dois métodos de resolução de problemas denominados como fracos e fortes. Os métodos fracos buscam sanar um subproblema de extrema especificidade, todavia, sozinhos não resolvem todo o problema de forma completa. Com relação aos sistemas baseados em conhecimento, estes são métodos fortes, ou seja, além de trabalharem com as bases de conhecimento, utilizam também unidades de resolução de conflitos, motores de inferência (de regras, modelos e ontologias) e diversas interfaces [26].

A Fig. 3 mostra os módulos que compõem um sistema especialista típico. O usuário interage com o sistema por meio de uma interface, que simplifica a comunicação e oculta boa parte da complexidade, como a estrutura interna da base de regras. As interfaces dos sistemas especialistas empregam uma série de estilos de usuários, como as interfaces do tipo pergunta e resposta, orientadas a menu ou gráficas.

As bases de conhecimento são de extrema importância por serem o núcleo que gerencia a funcionalidade e o controle do sistema, elas são construídas de acordo com informações de “especialistas” no tema estudado ou referenciais bibliográficos, possuindo tanto o conhecimento geral como a informação específica do caso [27].

O mecanismo de inferência aplica o conhecimento à solução de problemas reais. Ele é, essencialmente, um interpretador para a base de conhecimento.

Figura 3. Composição de um sistema especialista.



Fonte: Luger (2013) [3].

O subsistema de explicação faz com que o programa explique quais os passos utilizados para se chegar a tal resultado, resumidamente, o subsistema explica ao usuário a sua forma de raciocínio. As explicações são acompanhadas de justificativas para as conclusões do sistema em resposta as consultas do tipo como, explicações sobre razões, pelas quais o sistema precisa de um dado em particular, do tipo por que e, se for útil, explicações didáticas ou justificativas teóricas mais aprofundadas sobre as ações do programa [3].

Variados tipos de sistemas utilizam um editor da base de conhecimento para auxiliar o programador a localizar e corrigir erros na execução do programa, acessando a informação fornecida pelo subsistema de explicação. Ressalta-se, ainda, que o editor poderá auxiliar na verificação de inconsistência sobre a base de conhecimento atualizada, na adição de novo conhecimento e, a manter correta a sintaxe das regras [3].

Nos sistemas baseados em conhecimento, existem três tipos principais de raciocínio: Raciocínio baseado em regras, Raciocínio baseado em modelos e Raciocínio baseados em casos (CBR).

2.2.1 Raciocínio baseado em regras

Sistemas especialistas baseados em regras representam o conhecimento para resolver o problema como regras (se...então...). A parte se é referente à condição



e à conclusão; a parte *então* corresponde à ação. Assim, quando a condição é satisfeita, o sistema executa a ação de declarar a conclusão verdadeira [3].

2.2.2 Raciocínio baseado em modelos

Um sistema de raciocínio baseado em conhecimento, cuja análise esteja fundamentada diretamente na especificação e na funcionalidade de um sistema físico, é chamado de sistema baseado em modelo.

O raciocínio baseado em modelo inclui uma descrição de cada componente do dispositivo, essas descrições podem simular o comportamento do componente. E uma descrição da estrutura interna do dispositivo, geralmente, uma representação de seus componentes e de suas interconexões com a habilidade de simular interações dos componentes.

Para se obter o diagnóstico de um problema particular, dependerá das observações do real desempenho do dispositivo, a diferença entre as entradas e saídas (eficiência). Essas medidas de entrada/saída são fáceis de serem obtidas, mas, na realidade, qualquer medida poderia ser usada [3].

Uma série de estruturas de comportamento de dados pode ser usada para representar a informação causal e estrutural em modelos. Muitos projetistas de programas baseados em modelo usam regras para refletir a causalidade e a funcionalidade de um dispositivo. Regras podem ser usadas, também, para captar as relações entre componentes [3].

2.2.3 Raciocínio baseado em casos (RBC)

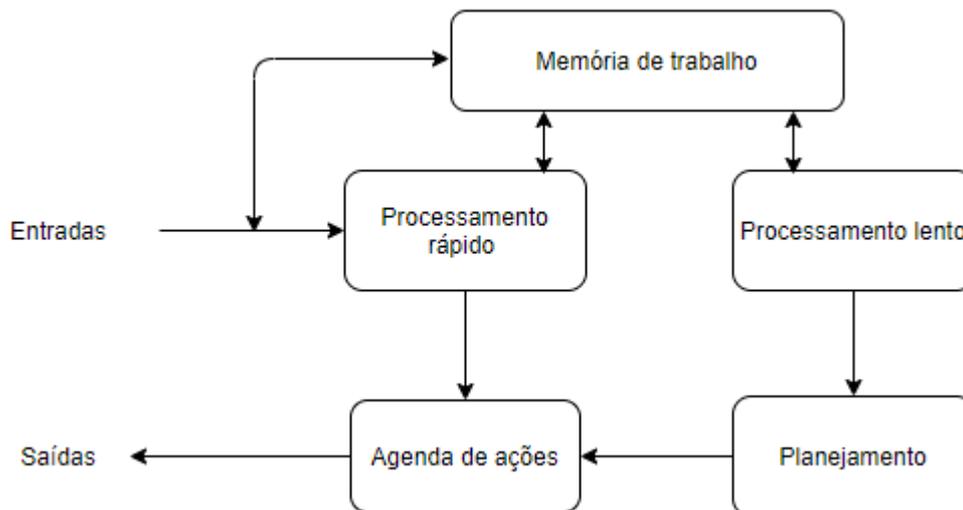
Raciocinar a partir de casos, exemplos de problemas passados e suas soluções, é uma estratégia forte, pois o raciocínio baseado em casos (RBC) utiliza uma base de dados explícita de soluções de problemas para, assim, tratar novas situações de solução de problema [3].

Abordagens baseadas em casos permitem que um sistema especialista aprenda a partir da sua experiência e, ao encontrar uma solução baseada em sua busca para um problema, o sistema pode armazenar essa solução, de modo que, da próxima vez em uma situação similar, não seja mais necessário realizar a busca [3].

2.3 INTRODUÇÃO A FERRAMENTA JEMO

O sistema inteligente JEMO foi desenvolvido na tese de doutorado “Protótipo de Sistema de Instrução Virtual para Treinamento de Pilotos de Aviões BOEING 737-800” [4]. Seu funcionamento ocorre a partir dos raciocínios baseados em regras e em modelos e se baseia na apresentação das informações ao sistema, para então, criar as bases de conhecimento, sua estrutura é exibida na Fig. 4.

Figura 4: Fluxograma de processamento do JEMO.



Fonte: Do autor (2021).

O sistema atua com base em dois tipos de processamento de dados, no módulo de processamento rápido, as entradas (dados externos) são transformadas em informações ou fatos internos (percepções). Neste módulo, estão contidas as redes neurais do sistema e as regras que gerenciam o módulo, nele se trabalha com modelos de aprendizado de máquina e *deep learning*, porém, este processamento não foi utilizado.

No módulo de processamento lento é onde ocorre o raciocínio da máquina, ou seja, as ontologias que representam o conhecimento do sistema são processadas. Neste módulo, é possível obter um relatório dos processos que o sistema executa



para se chegar as suas conclusões, é nele também que uma lista de tarefas é gerada de acordo com as percepções recebidas do módulo de processamento rápido.

Os processamentos rápidos e lentos compartilham uma memória de trabalho, onde é possível verificar o que o sistema compreende das informações que são passadas a ele.

As tarefas geradas pelo módulo de processamento lento são enviadas para o módulo de planejamento e, neste módulo, o sistema executa uma verificação das melhores maneiras a se realizar as tarefas e o planejamento das mesmas. Por fim, as ações planejadas são executadas.

O JEMO consiste em um *framework* (conjunto de códigos prontos) com classes em Java que incluem *templates* (moldes para preencher os códigos). Desta maneira, o framework pode ser utilizado por projetistas no desenvolvimento de instrução e inteligência virtual envolvendo veículos, máquinas e processos. A ferramenta também permite comunicação local e externa por meio de protocolos disponíveis para TCP/IP e UDP [4].

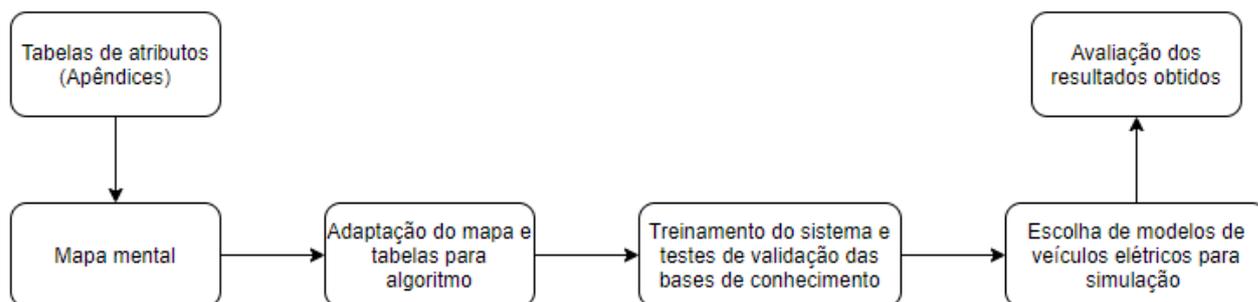
2.3.1 Ontologias

A ontologia é uma representação de conhecimento que pode ser reutilizada e é compreendida por vários sistemas. Ela define um domínio ou uma conceituação sobre o conhecimento, ou seja, descrevem as partes e as subpartes de um sistema e suas relações [3].

3 METODOLOGIA

Esta seção abordará os modelos generalizados desenvolvidos para cada sistema de um veículo elétrico, o mapa mental, a metodologia de treinamento do sistema e os veículos utilizados na validação da ferramenta. Na Fig. 5 é apresentado o fluxograma com as etapas desenvolvidas na metodologia.

Figura 5: Fluxograma da metodologia.



Fonte: Do autor (2021).

A partir das tabelas de atributos o sistema constrói as operações matemáticas que avaliam os componentes, já o mapa mental representa o modelo do sistema, as bases de conhecimento são construídas a partir destes. Após a validação das bases de conhecimento são definidos dois modelos de veículos elétricos para simulação e avaliação de atributos dos seus componentes.

3.1 TREINAMENTO DO SISTEMA

O objetivo desta etapa foi construir as bases de conhecimento para implementação no JEMO. Foram desenvolvidos modelos para cada sistema descrito na revisão bibliográfica com o intuito de se comparar as principais características entre cada conceito definido, conforme exemplo exibido na Tab. 1.

Tabela 1: Exemplo de modelo desenvolvido.

Tipos de baterias	Chumbo Ácido		Li-íon	
	Atributos	Peso	(Valor Típico)	Peso
<i>Energia específica (Wh/kg)</i>	2	40	5	150
<i>Ciclo de vida (Cargas)</i>	4	1000	5	3000
<i>Maturidade tecnológica</i>	5	Ótimo	4	Bom
<i>Vida útil (anos)</i>	3	5	4	10
Total	14		18	

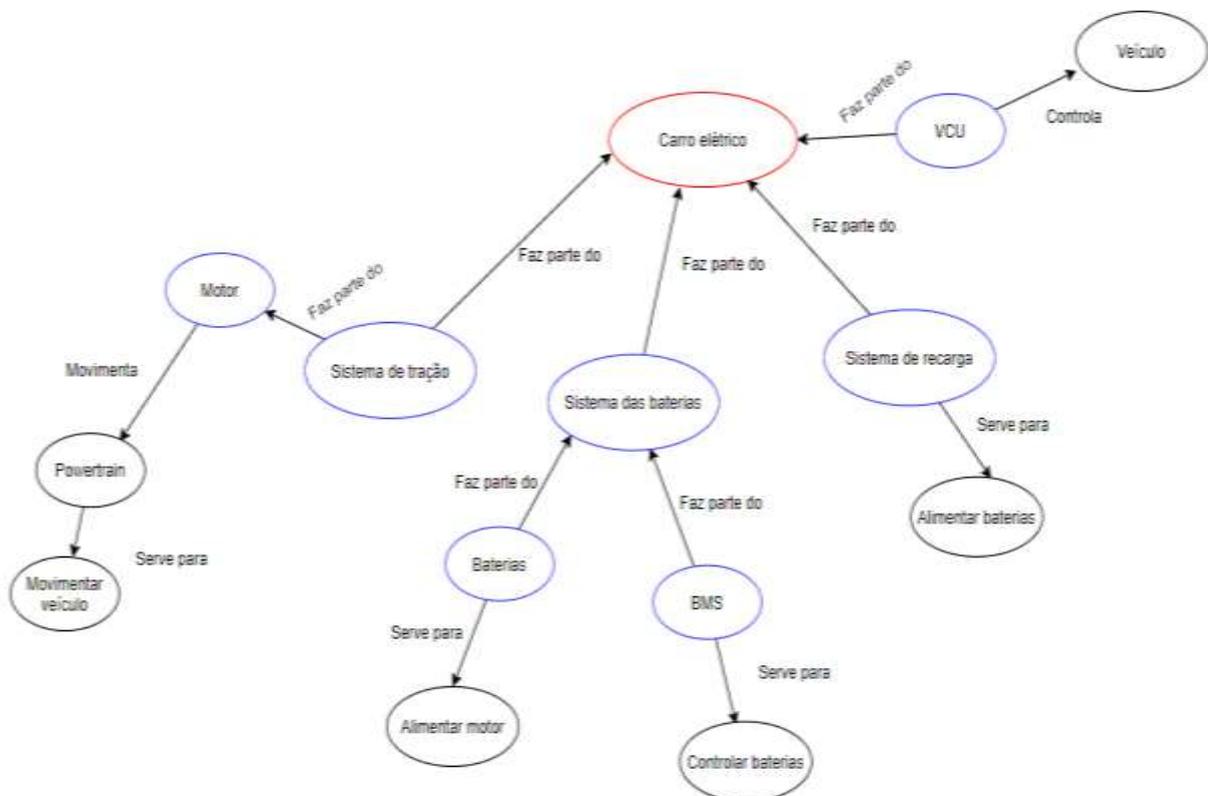
Fonte: Do autor (2021).

As características comparadas são chamadas de atributos, à cada atributo foi estabelecido um peso e um valor típico para análise.

A pontuação para cada componente trabalha com pesos de 0 a 5, sendo 0 péssimo e 5 ótimo. Quanto maior a pontuação obtida, melhor a avaliação da tecnologia em estudo.

Além disso, foi desenvolvido um mapa mental, visando estabelecer as relações entre cada componente que constitui o veículo elétrico, o mapa mental é representado através do conceito de ontologias e, na Fig. 6, pode ser observado uma parte do mapa desenvolvido.

Figura 6: Fragmento do mapa mental para treinamento do sistema.

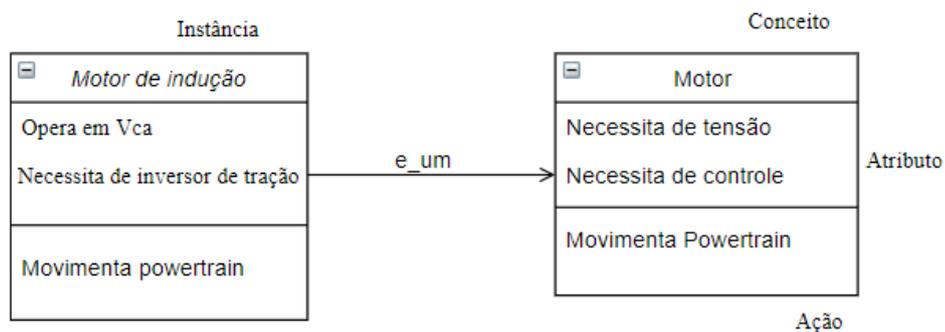


Fonte: Do autor (2021).

O sistema opera com base em conceitos definidos, cada conceito possui seus respectivos atributos e realizam determinadas ações no veículo elétrico. As ações e conceitos foram definidas por meio do mapa mental exibido na Fig. 6; já os atributos foram definidos em modelos conforme o demonstrado na Tab. 1. Por fim, foram levadas em consideração as “instâncias”, que são os equipamentos específicos dentro de cada modelo. Por exemplo:

Ao definir o conceito de motor, seus atributos e suas ações o sistema armazena essas informações, quando uma instância é apresentada como “motor de indução modelo xxx”, ela herda todas as características definidas pelo conceito de motor e mais as novas atribuições apresentadas para o motor de indução, desta maneira o sistema constrói suas bases de conhecimento, conforme Fig. 7.

Figura 7: Conceitos, atributos, ações e instâncias.



Fonte: Do autor (2021).

O mapa mental e os modelos de cada sistema foram adaptados para o algoritmo, a fim de serem inseridos nos *templates* disponíveis da ferramenta, a plataforma utilizada para o treinamento foi o software gratuito NetBeans IDE. Na Fig. 8 é exibido parte do algoritmo implementado referente ao mapa mental (conceitos e ações). No mapa mental tem-se a informação: “Sistema de tração → Faz parte do → Carro elétrico”, a adaptação para algoritmo se deu da seguinte maneira: “parte_de sistema_tracao, carro_eletrico” e, assim, para o restante dos conceitos apresentados.

No começo do algoritmo é definido o “mundo” para a máquina e, a partir daí, são apresentados os conceitos, atributos e instâncias que fazem parte deste mundo. Na Fig. 9 é exibido parte do algoritmo implementado referente aos atributos e instâncias.

Foram definidos os mesmos atributos para todos os sistemas a fim de facilitar o diagnóstico da ferramenta, portanto, quando o atributo não se aplica ao conceito em análise se estabeleceu peso 0 e valor típico “Não se aplica”, quando se aplica é acrescentado o peso e valor típico estipulado.

Figura 8: Fragmento da declaração de ontologia.

```
{//inicio

parte_de energia, mundo
parte_de veiculo, mundo
feito_por humanos, veiculo
e_um carro, veiculo
e_um carro_a_combustao, veiculo
e_um carro_hibrido, veiculo
e_um carro_eletrico, veiculo focus

//sistema de tracao

parte_de sistema_tracao, carro_eletrico
parte_de inversor_de_tracao, sistema_tracao
controla inversor_de_tracao, motor !se_existe vcu
alimenta inversor_de_tracao, motor
parte_de motor, sistema_tracao
parte_de powertrain, sistema_tracao
e_um motor_dc, motor
e_um motor_inducao, motor
e_um motor_ima_permanente, motor
e_um motor_relutaancia, motor
movimenta motor, powertrain
parte_de rodas, powertrain
parte_de eixos_transmissao, powertrain
movimenta rodas, eixos_transmissao
movimenta rodas, veiculo
```

Fonte: Do autor (2021).

Figura 9: Fragmento da declaração de Atributos.

```
//Descrição de atributos - sistemas de propulsao

atributo :: motor_inducao
{
densidade_de_potencia =+3.5 , medio
eficiencia =+3.5 , 94%
confiabilidade =+5 , otimo
maturidade_tecnologica =+5 , otimo
controle_de_operacao =+5 , otimo
seguranca =+0 , nao_se_aplica
manutencao =+5 , otimo
custos_de_controle =+2.5 , ruim
custo =+5 , otimo
energia_especifica =+0 , nao_se_aplica
potencia_especifica =+0 , nao_se_aplica
ciclo_de_vida =+0 , nao_se_aplica
vida_util =+4 , bom
velocidade_de_recarga =+0 , nao_se_aplica
software =+0 , nao_se_aplica
controle_entradas_saidas =+0 , nao_se_aplica
diagnostico_supervisorio =+0 , nao_se_aplica
gerenciamento_de_energia =+0 , nao_se_aplica
gerenciamento_de_torque =+0 , nao_se_aplica
gerenciamento_termico =+0 , nao_se_aplica
gerenciamento_de_seguranca =+0 , nao_se_aplica
monitoramento_de_dados =+0 , nao_se_aplica
facilidade_de_manuseio =+4 , bom
protecao =+0 , nao_se_aplica
controlador_de_carga =+0 , nao_se_aplica
gerenciamento =+0 , nao_se_aplica
nivel_i_ca =+0 , nao_se_aplica
nivel_ii_ca_lento =+0 , nao_se_aplica
nivel_ii_ca_rapido =+0 , nao_se_aplica
nivel_iii_cc =+0 , nao_se_aplica
wireless =+0 , nao_se_aplica
```

Fonte: Do autor (2021).



3.1.2 Simulações

Para construção das bases de conhecimento do sistema foi realizado um treinamento assistido com a máquina, que consiste na apresentação das informações (algoritmo), verificação na memória de trabalho (módulo de processamento lento) se não ocorreram erros ou se a ferramenta apresenta dúvidas, e, caso necessário, devidas correções no código.

Ao apresentar as informações, por meio do algoritmo, o sistema as interpreta como fatos; a partir dos fatos apresentados são gerados na memória de trabalho da ferramenta os fatos próprios da máquina, ou seja, aquilo que ela compreendeu sobre o assunto. Na Fig. 10 é apresentado o resultado na memória de trabalho do sistema de um teste realizado em que foram simulados os conceitos exibidos na Fig. 8.

Figura 10: Memória de trabalho do sistema para conceitos.

```
f-1      (fato energia parte_de mundo)
f-2      (fato veiculo parte_do mundo)
f-3      (fato veiculo feito_por humanos)
f-4      (fato carro e um veiculo)
f-5      (fato carro_a_combustao e um veiculo)
f-6      (fato carro_hibrido e um veiculo)
f-7      (fato carro_eletrico e um veiculo)
f-8      (focar em carro_eletrico)
f-9      (fato sistema_tracao parte_de carro_eletrico)
f-10     (fato inversor_de_tracao parte_de sistema_tracao)
f-11     (fato inversor_de_tracao controla motor)
f-12     (fato inversor_de_tracao alimenta motor)
f-13     (fato motor parte_de sistema_tracao)
f-14     (fato motor_dc e um motor)
f-15     (fato motor_inducao e um motor)
f-16     (fato motor_ima_permanente e um motor)
f-17     (fato motor_reluctancia e um motor)
f-18     (fato rodas movimenta carro_eletrico)
f-19     (fato motor movimenta powertrain)
f-20     (fato rodas parte_de powertrain)
f-21     (fato powertrain parte_de sistema_tracao)
f-22     (fato eixos_transmissao parte_de powertrain)
f-23     (fato eixos_transmissao movimenta rodas)
f-24     (fato rodas movimenta veiculo)
f-25     (fato powertrain tem rodas)
f-26     (fato motor parte_de carro_eletrico)
f-27     (fato carro_eletrico tem motor)
f-28     (fato sistema_tracao tem motor)
f-29     (fato inversor_de_tracao parte_de carro_eletrico)
f-30     (fato carro_eletrico tem inversor_de_tracao)
f-31     (fato sistema_tracao tem inversor_de_tracao)
f-32     (fato carro_eletrico tem sistema_tracao)
f-33     (fato motor movimenta eixo_transmissao)
f-34     (fato mundo tem energia)
```

Fonte: Do autor (2021).



Primeiramente são apresentados os conceitos (ontologias), os fatos gerados pela máquina são revisados, para garantir que as relações foram feitas de maneira correta. Por fim, foram apresentados os atributos e instâncias e o processo de testes repetido. Na Fig. 11 é apresentado o resultado na memória de trabalho do sistema de um teste realizado em que foram simulados os atributos exibidos na Fig. 9.

Figura 11: Memória de trabalho do sistema para atributos.

```
f-1      (motor_inducao)
f-2      (seguranca 0)
f-3      (energia_especifica 0)
f-4      (potencia_especifica 0)
f-5      (ciclo_de_vida 0)
f-6      (velocidade_de_recarga 0)
f-7      (software 0)
f-8      (controle_entradas_saidas 0)
f-9      (diagnostico_supervisorio 0)
f-10     (gerenciamento_de_energia 0)
f-11     (gerenciamento_de_torque 0)
f-12     (gerenciamento_termico 0)
f-13     (gerenciamento_de_seguranca 0)
f-14     (monitoramento_de_dados 0)
f-15     (protecao 0)
f-16     (controlador_de_carga 0)
f-17     (gerenciamento 0)
f-18     (nivel_i_ca 0)
f-19     (nivel_ii_ca_lento 0)
f-20     (nivel_ii_ca_rapido 0)
f-21     (nivel_iii_cc 0)
f-22     (wireless 0)
f-23     (velocidade_transmissao 0)
f-24     (distancia_de_transmissao 0)
f-25     (conexao_de_dispositivos 0)
f-26     (densidade_de_potencia 3.5)
f-27     (eficiencia 4)
f-28     (confiabilidade 5)
f-29     (maturidade_tecnologica 5)
f-30     (controle_de_operacao 5)
f-31     (manutencao 5)
f-32     (custos_de_controle 2.5)
f-33     (custo 5)
f-34     (vida_util 4)
f-35     (facilidade_de_manuseio 4)
```

Fonte: Do autor (2021).

Após o treinamento dos conceitos e atributos foram realizados questionários com perguntas do tipo: “Quem é um motor? Quem controla motor? Quem movimenta veículo? Quem controla veículo?...”, etc.

O objetivo deste teste é verificar as hierarquias de classes dos conceitos e suas relações de agregação. Para a pergunta “Quem é um motor?”, o sistema apresentou a resposta exibida na Fig. 12 e, através das respostas obtidas no questionário, foi possível validar as bases de conhecimento construídas.

Figura 12: Respostas do questionário.



```
mcp.Mcp > main > try >
Saída - mcp (run) x
ok
ok
E um motor: motor_reluctancia
E um motor: motor_ima_permanente
E um motor: motor_inducao
E um motor: motor_dc
```

Fonte: Do autor (2021).

Por fim, foi realizada uma verificação nas regras geradas automaticamente pelo sistema. O JEMO cria regras de acordo com as ontologias formalizadas que são compatíveis com o padrão .clp; este padrão é usado por sistemas especialistas, refere-se a arquivos de regras compatíveis com plataformas como Clips ou Jess e pode ser acessado tanto localmente, como via nuvem [28][29]. Na Fig. 13 são demonstradas as estruturas das regras geradas pelo sistema.



Figura 13: Estrutura das regras geradas compatíveis com o padrão .clp.

```
(defrule regra ( (condição 1), (condição 2)..... => (novo fato)(nova ação).....)

defrule REGRA_motor_relutancia
  (motor_relutancia ?i)
  (instancia carro_eletrico ?carroelet)
  :
  :
  ?p<-(p ?xx)
  ?m<-(m1 0)

  =>
  (retract ?gg1)
  :
  :
  (assert(distancia_de_transmissao (+ ?x33 5)))(retract ?y33)
  (assert(conexao_de_dispositivos (+ ?x34 4)))(retract ?y34)
```

Fonte: Do autor (2021).

O sistema gerou as regras em função das ações das instâncias que foram herdadas dos conceitos, neste caso, operações matemáticas e geração de um relatório (a geração do relatório necessitou de um script adicional).

Para simulação e validação de resultados foram inseridos parâmetros de dois veículos elétricos de diferentes tecnologias, o primeiro modelo adotado foi o Chevrolet Bolt 2019 [30], e o segundo modelo foi o Inowattis, veículo elétrico convertido desenvolvido no núcleo de mobilidade elétrica da Associação Beneficente da Industria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), de Criciúma/SC. As características de cada veículo são exibidas na Tab. 2.

Tabela 2: Veículos elétricos adotados.

<i>Veículos elétricos</i>	Bolt 2019 [30]	Inowattis (Unisatc) [31]
Características	Descrição	Descrição
<i>Tipo de motor</i>	Motor de imã permanente	Motor de indução WEG WTE 300 [32]
<i>Tipo de bateria</i>	Bateria de íon-lítio	Bateria de chumbo Ácido (T1275) [33]
<i>Método de controle</i>	VCU	Inversor de tração WEG CVW 300 [32]
<i>Gerenciamento das baterias</i>	BMS	Não possui BMS

Fonte: Do autor (2021).



A partir dos conceitos, instâncias, atributos, ações e testes de validação realizados com o JEMO sua base de conhecimento foi construída. Ao apresentar dois tipos de veículos elétricos com diferentes características, o sistema realiza uma análise do desempenho de cada tecnologia e apresenta um relatório de cada veículo informando as principais características de cada componente e suas pontuações gerais. Na Fig. 14 é exibida a apresentação dos veículos à ferramenta.

Os atributos considerados para cada componente em avaliação são exibidos no Apêndice A. Para fins de simulação não serão usados os dados técnicos dos componentes, apenas o tipo de tecnologia empregada. Também por convenção, o nível de recarga adotado será o Nível II CA Rápido (Nível III CA).

Figura 14: Veículos em análise.

```
//Definição dos veículos em análise

instance carro_eletrico_inowattis :: carro_eletrico {
  motor_inducao :: modelo_wte300_weg
  inversor_tracao :: modelo_weg_cvw300
  bateria_chumbo_acido:: modelo_trojan_t1275
  sistema_de_recarga :: nivel_ii_ca_rapido
}

instance carro_eletrico_bolt_2019 :: carro_eletrico {
  motor_ima_permanente :: modelo_proprietario
  vcu :: modelo_proprietario
  bateria_li_ion :: modelo_proprietario
  bms_centralizado :: modelo_proprietario
  sistema_de_recarga :: nivel_ii_ca_rapido
}
```

Fonte: Do autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De forma geral, a quantidade de testes de verificação feitos no período de validação gerou uma grande quantidade de documentação, tornando o processo condensá-los complexo, no entanto, serão abordados os resultados mais significativos.

A Ontologia de modelo permite que o sistema atenda às especificações de manter uma representação procedente do funcionamento do veículo. A verificação das estruturas de modelo é complexa devido à necessidade de se formular diversas perguntas relacionando os processos particulares ao veículo. Os resultados dos



testes, tanto para as ontologias como para as regras foram positivos para as relações testadas.

A interface de utilização para treinamento do sistema é amigável e o desenvolvimento dos algoritmos para implementação pode ser feito de maneira simples e objetiva, não necessitando de conhecimento avançado em linguagens de programação.

O sistema pode adquirir conhecimento de duas maneiras: aprendizado de máquina através do módulo de raciocínio e processador de ontologias ou por meio de *deep learning* baseado em redes neurais especializadas. As regras podem ser geradas a partir das ontologias ou a partir dos padrões reconhecidos pelo *deep learning*.

Já as bases de conhecimento permitem desenvolver um protótipo inicial e evoluí-lo de maneira incremental, quantas vezes forem necessárias, até que se chegue a uma versão final satisfatória.

Os relatórios gerados pelo sistema são de fácil entendimento, a primeira tela compete ao veículo elétrico Bolt. Como pode ser observado na Fig. 15, o sistema desconsidera os atributos apresentados a ele com peso 0 e exibe apenas os resultados com peso atribuído.



Figura 15: Relatório de análise Bolt.

Análise Parcial JEMO - BOLT																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Motor Imã Permanente GM</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Densidade de potência</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>5</td><td>97%</td></tr> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Custos de controle</td><td>2,5</td><td>Ruim</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Vida útil</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Facilidade de manuseio</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> </tbody> </table>			Motor Imã Permanente GM			Atributos	Peso	Valor Típico	Densidade de potência	5	Ótimo	Eficiência (%)	5	97%	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	4	Bom	Controle de operação	4	Bom	Manutenção	5	Ótimo	Custos de controle	2,5	Ruim	Custos	3	Médio	Vida útil	4	Bom	Facilidade de manuseio	5	Ótimo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Bateria Li-Ion GM</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>5</td><td>92%</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>3</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>2</td><td>Ruim</td></tr> <tr><td>Energia específica (Wh /kg)</td><td>5</td><td>150</td></tr> <tr><td>Potência específica (W/kg)</td><td>5</td><td>400</td></tr> <tr><td>Ciclo de vida (Cargas)</td><td>5</td><td>3000</td></tr> <tr><td>Vida útil (Anos)</td><td>4</td><td>10</td></tr> <tr><td>Velocidade de recarga</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Nível II CA (rápido)</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> </tbody> </table>			Bateria Li-Ion GM			Atributos	Peso	Valor Típico	Eficiência (%)	5	92%	Maturidade tecnológica	4	Bom	Segurança	3	Regular	Manutenção	5	Ótimo	Custos	2	Ruim	Energia específica (Wh /kg)	5	150	Potência específica (W/kg)	5	400	Ciclo de vida (Cargas)	5	3000	Vida útil (Anos)	4	10	Velocidade de recarga	5	Ótimo	Nível II CA (rápido)	4	Bom	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Protocolo CAN</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>4</td><td>1 Mbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>3</td><td>40m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> </tbody> </table>			Protocolo CAN			Atributos	Peso	Valor Típico	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	5	Ótimo	Segurança	4	Bom	Custos	5	Ótimo	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	4	Bom	Diagnóstico supervisão	5	Ótimo	Proteção	5	Ótimo	Gerenciamento	4	Bom	Velocidade de transmissão	4	1 Mbps	Distância de transmissão	3	40m	Conexões de dispositivos	5	Ótimo									
Motor Imã Permanente GM																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Densidade de potência	5	Ótimo																																																																																																																																							
Eficiência (%)	5	97%																																																																																																																																							
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	4	Bom																																																																																																																																							
Controle de operação	4	Bom																																																																																																																																							
Manutenção	5	Ótimo																																																																																																																																							
Custos de controle	2,5	Ruim																																																																																																																																							
Custos	3	Médio																																																																																																																																							
Vida útil	4	Bom																																																																																																																																							
Facilidade de manuseio	5	Ótimo																																																																																																																																							
Bateria Li-Ion GM																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Eficiência (%)	5	92%																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	4	Bom																																																																																																																																							
Segurança	3	Regular																																																																																																																																							
Manutenção	5	Ótimo																																																																																																																																							
Custos	2	Ruim																																																																																																																																							
Energia específica (Wh /kg)	5	150																																																																																																																																							
Potência específica (W/kg)	5	400																																																																																																																																							
Ciclo de vida (Cargas)	5	3000																																																																																																																																							
Vida útil (Anos)	4	10																																																																																																																																							
Velocidade de recarga	5	Ótimo																																																																																																																																							
Nível II CA (rápido)	4	Bom																																																																																																																																							
Protocolo CAN																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																							
Controle de operação	5	Ótimo																																																																																																																																							
Segurança	4	Bom																																																																																																																																							
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																							
Software	4	Bom																																																																																																																																							
Controle de entradas e saídas	4	Bom																																																																																																																																							
Diagnóstico supervisão	5	Ótimo																																																																																																																																							
Proteção	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento	4	Bom																																																																																																																																							
Velocidade de transmissão	4	1 Mbps																																																																																																																																							
Distância de transmissão	3	40m																																																																																																																																							
Conexões de dispositivos	5	Ótimo																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">VCU - GM</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Vida útil</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de energia</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de torque</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento térmico</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de segurança</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Monitoramento de dados</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>4</td><td>1 Mbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>3</td><td>40m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> </tbody> </table>			VCU - GM			Atributos	Peso	Valor Típico	Maturidade tecnológica	4	Bom	Controle de operação	3	Médio	Segurança	5	Ótimo	Manutenção	5	Ótimo	Custos	3	Médio	Vida útil	5	Ótimo	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	5	Ótimo	Diagnóstico supervisão	5	Ótimo	Gerenciamento de energia	5	Ótimo	Gerenciamento de torque	5	Ótimo	Gerenciamento térmico	5	Ótimo	Gerenciamento de segurança	5	Ótimo	Monitoramento de dados	5	Ótimo	Velocidade de transmissão	4	1 Mbps	Distância de transmissão	3	40m	Conexões de dispositivos	5	Ótimo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Carregamento Nível II CA (Rápido)</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>4</td><td>>90</td></tr> <tr><td>Confiabilidade</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Velocidade de recarga</td><td>4</td><td>4 horas</td></tr> </tbody> </table>			Carregamento Nível II CA (Rápido)			Atributos	Peso	Valor Típico	Eficiência (%)	4	>90	Confiabilidade	5	Ótimo	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Segurança	5	Ótimo	Manutenção	4	Bom	Custos	4	Bom	Velocidade de recarga	4	4 horas	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Protocolo RS232</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Gerenciamento</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>2</td><td>115 Kbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>2</td><td>30m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>2</td><td>Ruim</td></tr> </tbody> </table>			Protocolo RS232			Atributos	Peso	Valor Típico	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	5	Ótimo	Segurança	4	Bom	Custos	5	Ótimo	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	3	Médio	Diagnóstico supervisão	3	Médio	Proteção	4	Bom	Gerenciamento	3	Médio	Velocidade de transmissão	2	115 Kbps	Distância de transmissão	2	30m	Conexões de dispositivos	2	Ruim
VCU - GM																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	4	Bom																																																																																																																																							
Controle de operação	3	Médio																																																																																																																																							
Segurança	5	Ótimo																																																																																																																																							
Manutenção	5	Ótimo																																																																																																																																							
Custos	3	Médio																																																																																																																																							
Vida útil	5	Ótimo																																																																																																																																							
Software	4	Bom																																																																																																																																							
Controle de entradas e saídas	5	Ótimo																																																																																																																																							
Diagnóstico supervisão	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento de energia	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento de torque	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento térmico	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento de segurança	5	Ótimo																																																																																																																																							
Monitoramento de dados	5	Ótimo																																																																																																																																							
Velocidade de transmissão	4	1 Mbps																																																																																																																																							
Distância de transmissão	3	40m																																																																																																																																							
Conexões de dispositivos	5	Ótimo																																																																																																																																							
Carregamento Nível II CA (Rápido)																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Eficiência (%)	4	>90																																																																																																																																							
Confiabilidade	5	Ótimo																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																							
Segurança	5	Ótimo																																																																																																																																							
Manutenção	4	Bom																																																																																																																																							
Custos	4	Bom																																																																																																																																							
Velocidade de recarga	4	4 horas																																																																																																																																							
Protocolo RS232																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																							
Controle de operação	5	Ótimo																																																																																																																																							
Segurança	4	Bom																																																																																																																																							
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																							
Software	4	Bom																																																																																																																																							
Controle de entradas e saídas	3	Médio																																																																																																																																							
Diagnóstico supervisão	3	Médio																																																																																																																																							
Proteção	4	Bom																																																																																																																																							
Gerenciamento	3	Médio																																																																																																																																							
Velocidade de transmissão	2	115 Kbps																																																																																																																																							
Distância de transmissão	2	30m																																																																																																																																							
Conexões de dispositivos	2	Ruim																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">BMS - Centralizado</th> </tr> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Gerenciamento térmico</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Monitoramento de dados</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Facilidade de manuseio</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controlador de carga</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>2</td><td>115 Kbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>2</td><td>30m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>2</td><td>Ruim</td></tr> </tbody> </table>						BMS - Centralizado			Atributos	Peso	Valor Típico	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	4	Bom	Segurança	4	Bom	Software	4	Bom	Diagnóstico supervisão	4	Bom	Gerenciamento térmico	5	Ótimo	Monitoramento de dados	5	Ótimo	Facilidade de manuseio	4	Bom	Proteção	5	Ótimo	Controlador de carga	5	Ótimo	Gerenciamento	5	Ótimo	Velocidade de transmissão	2	115 Kbps	Distância de transmissão	2	30m	Conexões de dispositivos	2	Ruim																																																																																	
BMS - Centralizado																																																																																																																																									
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																							
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																							
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																							
Controle de operação	4	Bom																																																																																																																																							
Segurança	4	Bom																																																																																																																																							
Software	4	Bom																																																																																																																																							
Diagnóstico supervisão	4	Bom																																																																																																																																							
Gerenciamento térmico	5	Ótimo																																																																																																																																							
Monitoramento de dados	5	Ótimo																																																																																																																																							
Facilidade de manuseio	4	Bom																																																																																																																																							
Proteção	5	Ótimo																																																																																																																																							
Controlador de carga	5	Ótimo																																																																																																																																							
Gerenciamento	5	Ótimo																																																																																																																																							
Velocidade de transmissão	2	115 Kbps																																																																																																																																							
Distância de transmissão	2	30m																																																																																																																																							
Conexões de dispositivos	2	Ruim																																																																																																																																							

Fonte: Do autor (2021).

Na segunda tela do relatório, exibida na Fig. 16, são apresentados os resultados referentes ao veículo elétrico Inowattis. Como na definição do veículo para o sistema não foi apresentado BMS para o mesmo, a ferramenta, automaticamente, desconsidera esse item e apenas faz a análise dos componentes apresentados.

Figura 16: Relatório de análise Inowattis.

Análise Parcial JEMO - Inowattis																																																																																																																																			
Motor Indução - WEG WTE300 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Densidade de potência</td><td>3,5</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>4</td><td>94%</td></tr> <tr><td>Confiabilidade</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Custos de controle</td><td>2,5</td><td>Ruim</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Vida útil</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Facilidade de manuseio</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Densidade de potência	3,5	Médio	Eficiência (%)	4	94%	Confiabilidade	5	Ótimo	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	5	Ótimo	Manutenção	5	Ótimo	Custos de controle	2,5	Ruim	Custos	5	Ótimo	Vida útil	4	Bom	Facilidade de manuseio	4	Bom	Bateria Chumbo Ácido T1275 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>3</td><td>85%</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>3</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>3</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Energia específica (Wh /kg)</td><td>2</td><td>40</td></tr> <tr><td>Potência específica (W/kg)</td><td>3</td><td>180</td></tr> <tr><td>Ciclo de vida (Cargas)</td><td>4</td><td>1000</td></tr> <tr><td>Vida útil (Anos)</td><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>Velocidade de recarga</td><td>2</td><td>Ruim</td></tr> <tr><td>Nível II CA (rápido)</td><td>3</td><td>Regular</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Eficiência (%)	3	85%	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Segurança	3	Regular	Manutenção	3	Regular	Custos	5	Ótimo	Energia específica (Wh /kg)	2	40	Potência específica (W/kg)	3	180	Ciclo de vida (Cargas)	4	1000	Vida útil (Anos)	3	5	Velocidade de recarga	2	Ruim	Nível II CA (rápido)	3	Regular	Protocolo CAN <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>4</td><td>1 Mbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>3</td><td>40m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	5	Ótimo	Segurança	4	Bom	Custos	5	Ótimo	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	4	Bom	Diagnóstico supervisão	5	Ótimo	Proteção	5	Ótimo	Gerenciamento	4	Bom	Velocidade de transmissão	4	1 Mbps	Distância de transmissão	3	40m	Conexões de dispositivos	5	Ótimo												
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Densidade de potência	3,5	Médio																																																																																																																																	
Eficiência (%)	4	94%																																																																																																																																	
Confiabilidade	5	Ótimo																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Controle de operação	5	Ótimo																																																																																																																																	
Manutenção	5	Ótimo																																																																																																																																	
Custos de controle	2,5	Ruim																																																																																																																																	
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Vida útil	4	Bom																																																																																																																																	
Facilidade de manuseio	4	Bom																																																																																																																																	
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Eficiência (%)	3	85%																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Segurança	3	Regular																																																																																																																																	
Manutenção	3	Regular																																																																																																																																	
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Energia específica (Wh /kg)	2	40																																																																																																																																	
Potência específica (W/kg)	3	180																																																																																																																																	
Ciclo de vida (Cargas)	4	1000																																																																																																																																	
Vida útil (Anos)	3	5																																																																																																																																	
Velocidade de recarga	2	Ruim																																																																																																																																	
Nível II CA (rápido)	3	Regular																																																																																																																																	
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Controle de operação	5	Ótimo																																																																																																																																	
Segurança	4	Bom																																																																																																																																	
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Software	4	Bom																																																																																																																																	
Controle de entradas e saídas	4	Bom																																																																																																																																	
Diagnóstico supervisão	5	Ótimo																																																																																																																																	
Proteção	5	Ótimo																																																																																																																																	
Gerenciamento	4	Bom																																																																																																																																	
Velocidade de transmissão	4	1 Mbps																																																																																																																																	
Distância de transmissão	3	40m																																																																																																																																	
Conexões de dispositivos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Inversor de Tração CVW300 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>4</td><td>>90</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Vida útil</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de energia</td><td>3</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de torque</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Gerenciamento térmico</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Gerenciamento de segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Monitoramento de dados</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>4</td><td>1 Mbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>3</td><td>40m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Eficiência (%)	4	>90	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	4	Bom	Segurança	4	Bom	Manutenção	4	Bom	Custos	3	Médio	Vida útil	4	Bom	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	4	Bom	Diagnóstico supervisão	4	Bom	Gerenciamento de energia	3	Regular	Gerenciamento de torque	5	Ótimo	Gerenciamento térmico	4	Bom	Gerenciamento de segurança	4	Bom	Monitoramento de dados	4	Bom	Velocidade de transmissão	4	1 Mbps	Distância de transmissão	3	40m	Conexões de dispositivos	5	Ótimo	Carregamento Nível II CA (Rápido) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eficiência (%)</td><td>4</td><td>>90</td></tr> <tr><td>Confiabilidade</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Manutenção</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Velocidade de recarga</td><td>4</td><td>4 horas</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Eficiência (%)	4	>90	Confiabilidade	5	Ótimo	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Segurança	5	Ótimo	Manutenção	4	Bom	Custos	4	Bom	Velocidade de recarga	4	4 horas	Protocolo RS232 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Atributos</th> <th>Peso</th> <th>Valor Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Confiabilidade</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Maturidade tecnológica</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Controle de operação</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Segurança</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Custos</td><td>5</td><td>Ótimo</td></tr> <tr><td>Software</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Controle de entradas e saídas</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Diagnóstico supervisão</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>4</td><td>Bom</td></tr> <tr><td>Gerenciamento</td><td>3</td><td>Médio</td></tr> <tr><td>Velocidade de transmissão</td><td>2</td><td>115 Kbps</td></tr> <tr><td>Distância de transmissão</td><td>2</td><td>30m</td></tr> <tr><td>Conexões de dispositivos</td><td>2</td><td>Ruim</td></tr> </tbody> </table>			Atributos	Peso	Valor Típico	Confiabilidade	4	Bom	Maturidade tecnológica	5	Ótimo	Controle de operação	5	Ótimo	Segurança	4	Bom	Custos	5	Ótimo	Software	4	Bom	Controle de entradas e saídas	3	Médio	Diagnóstico supervisão	3	Médio	Proteção	4	Bom	Gerenciamento	3	Médio	Velocidade de transmissão	2	115 Kbps	Distância de transmissão	2	30m	Conexões de dispositivos	2	Ruim
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Eficiência (%)	4	>90																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Controle de operação	4	Bom																																																																																																																																	
Segurança	4	Bom																																																																																																																																	
Manutenção	4	Bom																																																																																																																																	
Custos	3	Médio																																																																																																																																	
Vida útil	4	Bom																																																																																																																																	
Software	4	Bom																																																																																																																																	
Controle de entradas e saídas	4	Bom																																																																																																																																	
Diagnóstico supervisão	4	Bom																																																																																																																																	
Gerenciamento de energia	3	Regular																																																																																																																																	
Gerenciamento de torque	5	Ótimo																																																																																																																																	
Gerenciamento térmico	4	Bom																																																																																																																																	
Gerenciamento de segurança	4	Bom																																																																																																																																	
Monitoramento de dados	4	Bom																																																																																																																																	
Velocidade de transmissão	4	1 Mbps																																																																																																																																	
Distância de transmissão	3	40m																																																																																																																																	
Conexões de dispositivos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Eficiência (%)	4	>90																																																																																																																																	
Confiabilidade	5	Ótimo																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Segurança	5	Ótimo																																																																																																																																	
Manutenção	4	Bom																																																																																																																																	
Custos	4	Bom																																																																																																																																	
Velocidade de recarga	4	4 horas																																																																																																																																	
Atributos	Peso	Valor Típico																																																																																																																																	
Confiabilidade	4	Bom																																																																																																																																	
Maturidade tecnológica	5	Ótimo																																																																																																																																	
Controle de operação	5	Ótimo																																																																																																																																	
Segurança	4	Bom																																																																																																																																	
Custos	5	Ótimo																																																																																																																																	
Software	4	Bom																																																																																																																																	
Controle de entradas e saídas	3	Médio																																																																																																																																	
Diagnóstico supervisão	3	Médio																																																																																																																																	
Proteção	4	Bom																																																																																																																																	
Gerenciamento	3	Médio																																																																																																																																	
Velocidade de transmissão	2	115 Kbps																																																																																																																																	
Distância de transmissão	2	30m																																																																																																																																	
Conexões de dispositivos	2	Ruim																																																																																																																																	

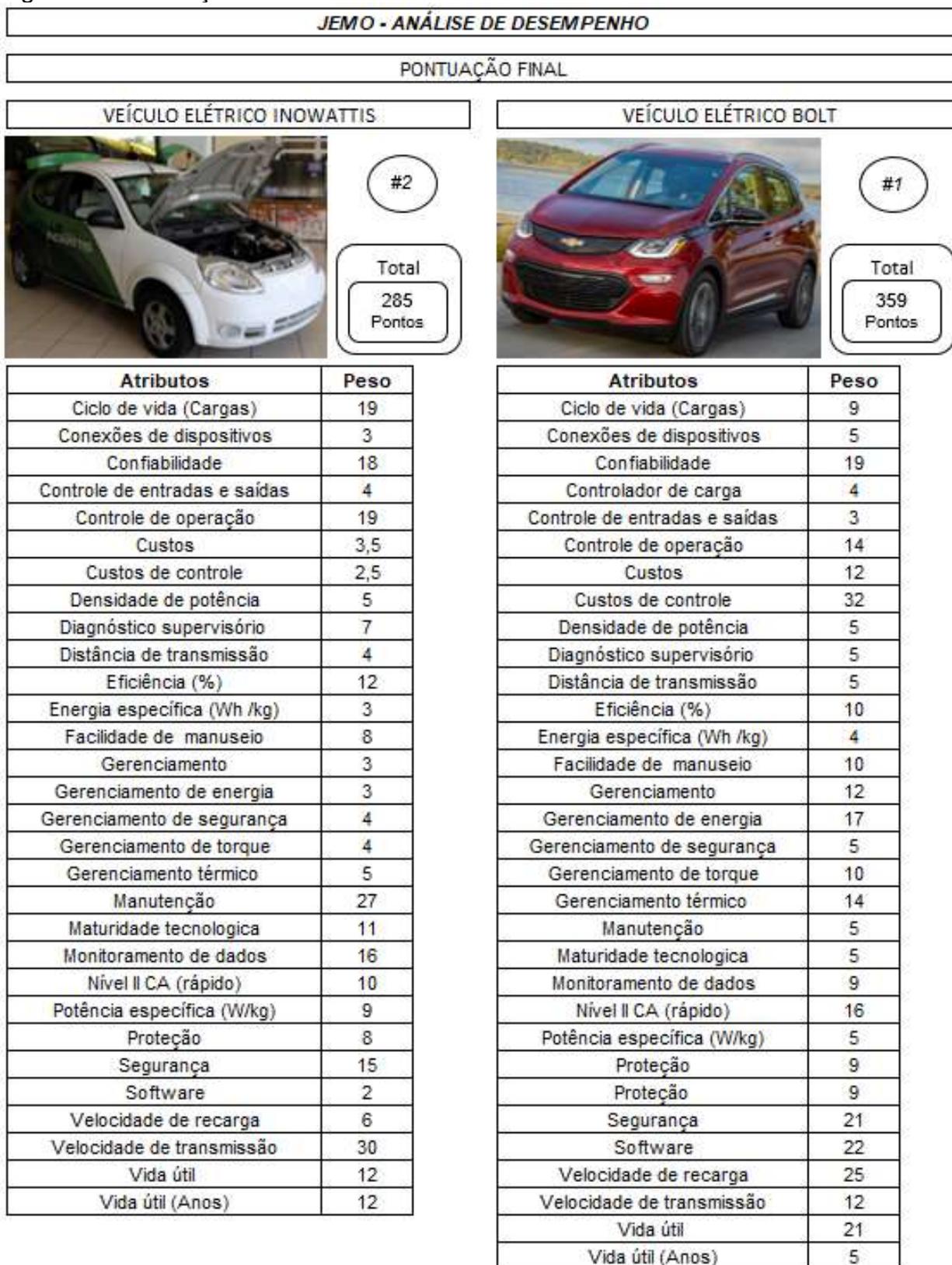
Fonte: Do autor (2021).

Observa-se que os resultados das análises parciais estão de acordo com as bases de conhecimento construídas, tabelas de atributos (considerar Apêndice), e modelos desenvolvidos para cada tipo de tecnologia abordada, além de apresentarem os respectivos valores típicos adotados a fim de tornar a análise mais didática para quem trabalha com a ferramenta.

Por fim, uma comparação final entre os veículos analisados é realizada: o sistema faz uma soma dos atributos com a mesma descrição e apresenta uma pontuação para cada veículo. Na Fig. 17 é exibida a última tela gerada com a pontuação final de cada veículo.

Constata-se que o veículo com maior pontuação, e que apresenta melhor desempenho dentre as tecnologias analisadas foi o Chevrolet Bolt, o que é corroborado pelos atributos informados à máquina.

Figura 17: Pontuação final dos veículos analisados.



Fonte: Do autor (2021).



5 CONCLUSÕES

Os automóveis elétricos se apresentam como valiosa solução para os problemas ambientais enfrentados atualmente, e estudos relacionados a seus componentes evidenciam o constante crescimento na performance destes.

A análise de diferentes tipos de tecnologias, modelagem de sistemas e diagnósticos são tidos como favoritos para a automatização, por meio de processos robóticos. Com o objetivo de se analisar o desempenho entre veículos elétricos de diferentes tecnologias, realizou-se o treinamento do sistema de inteligência artificial JEMO visando tornar o processo de análise simplificado e intuitivo para o operador da ferramenta.

A metodologia de pesquisa aplicada possui caráter qualitativo-quantitativo, com base nos modelos teóricos aplicados ao sistema através do software NetBeans IDE e validados de acordo com dados presentes nos referenciais bibliográficos.

Os resultados obtidos estão em conformidade com os modelos desenvolvidos e bases de conhecimento validadas, são apresentados de maneira simples e descritiva exibindo os pesos e valores típicos apresentados ao sistema e fazendo uma comparação entre os atributos de diferentes tecnologias solicitadas.

Por fim, devido à utilização de ferramenta de inteligência artificial, as bases de conhecimento construídas sobre os componentes estudados podem ser constantemente atualizadas, além disso, em trabalhos futuros pode-se obter os pesos de atributos via *deep learning* acoplando a ferramenta ao sistema de comunicação de um veículo elétrico e lendo os valores dos sensores de monitoramento do mesmo.

REFERÊNCIAS

[1] FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Caderno Energias: Carros Elétricos. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos>> . Acesso em: 20 ago. 2020.

[2] BRAJTERMAN, Olivia. Introdução de Veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro. Tese de mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.



- [3] LUGER, George F. Inteligência Artificial. 6 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- [4] SALDIAS, Claudio P. Protótipo de sistema de instrução virtual para treinamento de pilotos de aviões Boeing 737-800. Tese de Doutorado. Santa Catarina: UFSC, 2019.
- [5] FUELECONOMY. Departamento de Energia dos EUA. Veículos totalmente elétricos (EVs). 2014, disponível em: <<http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>>. Acesso em: 15 set. 2020.
- [6] EHSANI, M., Gao, Y., EMADI, A. “Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cells Vehicles. Fundamentals, Theory and Design Secondary Edition”, 2010.
- [7] POLLET, Bruno G., Iain Staffell, e Jin Lei Shang. 2012. “Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects.” *Electrochimica Acta*, 12 de abril: 235-249.
- [8] B. Nykvist, M. Nilsson, 2015. “Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles” (*Nature Climate Change*, vol 5) p 329
- [9] Sarah J. Gerssen-Gondelach, André P.C. Faaij, 2012. “Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term”. *Journal of Power Sources*, Volume 212, Pages 111-129.
- [10] D. Doughty, E.P. Roth, 2012. “A General Discussion of Li Ion Battery Safety”. (*The Electrochemical Society Interface*, vol 21, no 2) p. 37
- [11] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti and M. Chow, "Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles," in *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 4-16, June 2013, doi: 10.1109/MIE.2013.2250351.
- [12] Languang Lu, Xuebing Han, Jianqiu Li, Jianfeng Hua, Minggao Ouyang. "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles". *Journal of Power Sources*, Volume 226. 2013. Pages 272-288.
- [13] A.Burke, B. Jungers, C.Yang, and J.Ogden, “Battery electric vehicles: An assessment of the technology and factors influencing market readiness,” Public Interest Energy Research (PIER) Program, California Energy Commission, Advanced Energy Pathways (AEP) Project, Sacramento, CA, July 2007.
- [14] Electric Vehicle Conductive Charging System-part 1: General Requirements. 2.0 Ed., IEC 61851-61851; 2010.
- [15] Hussain Shareef, Md. Mainul Islam, Azah Mohamed. A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 64, 2016, Pages 403-420, ISSN 1364-0321. Disponível em:



<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116302568>>. Acesso em: 15 out. 2020.

[16] EV charging infrastructure deployment guidelines BC. Electric Transportation Engineering Corporation; 2009. p. 1–51.

[17] Mwasilu F, Justo JJ, Kim EK, Do TD, Jung JW. Electric vehicles and smart grid interaction: a review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;34:501–16.

[18] Meyboom A. Deploying electric vehicle charging infrastructure in BC. Briefing Note 2011:1–6. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/en/document/view/49315369/deploying-electric-vehicle-charging-infrastructure-in-bc>> Acesso em: 26 out. 2020.

[19] M. Yildirim, M. Polat and H. Kürüm, "A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles," 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, 2014, pp. 218-223, doi: 10.1109/EPEPEMC.2014.6980715.

[20] H., Nasser, A., Behzad, "Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles", IEEE, pp. 1-5, 2008.

[21] RODRIGUES, Giulliene Pereira. Modelagem de um veículo elétrico utilizando Redes de Petri. Trabalho de conclusão de curso. Paraíba: UFPB, 2017.

[22] M. Karamuk, "Review of Electric Vehicle Powertrain Technologies with OEM Perspective," 2019 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) & 2019 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 18-28, doi: 10.1109/ACEMP-OPTIM44294.2019.9007175.

[23] Z.Wu, K. Lu, Y. Zhu, X. Lei et al., "Functional safety and secure CAN in motor control system design for electric vehicles," SAE Technical Paper, 2017-01-1255.

[24] S. Christiaens, J. Ogrzewalla and S. Pischinger, "Functional safety for hybrid and electric vehicles," SAE Technical Paper, 2012-01-0032.

[25] M.Karamuk, M.Cepni and S.Gur, "Electric vehicle powertrain development-conceptual design and implementation," International Conference on Automotive and Vehicle Technologies, AVTECH 2013, Yildiz Technical University Istanbul.

[26] PUPPE, F.. "Systematic introduction to expert systems - knowledge representations and problem-solving methods.", 1993.

[27] RUSSELL, S., NORVIG P. "Inteligência artificial: Uma abordagem moderna", 3ª edição, Elsevier Brasil, 2014.

[28] CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. Disponível em:



<<http://clipsrules.sourceforge.net/>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

[29] Jess, the Rule Engine for the Java Platform - Embedding Jess in a Java Application. Disponível em:
< <http://alvarestech.com/temp/fuzzyjess/Jess60/Jess70b7/docs/index.html>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

[30] Chevrolet Bolt EV - 2019. Disponível em:
<<https://media.chevrolet.com/media/us/en/chevrolet/vehicles/bolt-ev/2019.tab1.html>> Acesso em: 14 abr. 2021.

[31] Carro Elétrico é apresentado em congresso na Inglaterra (engeplus.com.br)
< <http://www.engeplus.com.br/noticia/educacao/2018/carro-eletrico-e-apresentado-em-congresso-na-inglaterra>> Acesso em: 14 abr. 2021.

[32] WEG-solucoes-em-mobilidade-eletrica-folder-50083876-pt.pdf. Disponível em:
<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hd2/h54/WEG-solucoes-em-mobilidade-eletrica-folder-50083876-pt.pdf>> Acesso em: 14 abr. 2021.

[33] T1275_Trojan_Data_Sheets.pdf (trojanbattery.com). Disponível em:
< https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/T1275_Trojan_Data_Sheets.pdf> Acesso em: 14 abr. 2021.

APÊNDICE A – Atributos definidos entre os componentes abordados.

Para cada sistema apresentado na revisão bibliográfica foram definidos atributos específicos com pesos e valores típicos, sendo estes listados a seguir:

Atributos para sistema das baterias:

Tipos de baterias	Chumbo ácido		NiMH		Li-Ion		Zebra (NaNiCl)	
	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)
Eficiência (%)	3	85%	4	90%	5	92%	4	90%
Maturidade tecnológica	5	Ótimo	4	Bom	4	Bom	3	Médio
Segurança	3	Regular	4	Bom	3	Regular	2	Ruim
Manutenção	3	Regular	4	Bom	5	Ótimo	3	Regular
Custos	5	Ótimo	3	Médio	2	Ruim	3	Médio
Energia específica (Wh/kg)	2	40	3	70	5	150	4	130
Potência específica (W/kg)	3	180	4	250	5	400	4	230
Ciclo de vida (Cargas)	4	1000	3	800	5	3000	4	1000
Vida útil (Anos)	3	5	3	5	4	10	5	15
Velocidade de recarga	2	Ruim	3	Médio	5	Ótimo	4	Bom
Nível I CA	1	Péssimo	2	Ruim	2	Ruim	2	Ruim
Nível II CA (lento)	2	Ruim	3	Regular	3	Regular	3	Regular
Nível II CA (rápido)	3	Regular	4	Bom	4	Bom	4	Bom
Nível III CC	4	Bom	4	Bom	5	Ótimo	2	Ruim
Carregamento indução	2	Ruim	3	Médio	3	Médio	3	Médio
Total	45		51		60		50	

Fonte: Adaptado de B. Nykvist et al, Sarah J et al, D. Doughty et al, Languang Lu [8] [9] [10] [12].



Atributos para sistema de propulsão (tipos de motores):

Sistemas de propulsão	Motor DC		Motor indução		Motor imã permanente		Motor Relutância comutada	
Atributos	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)
Densidade de potência	2,5	Ruim	3,5	Médio	5	Ótimo	5	Ótimo
Eficiência (%)	2,5	85%	4	94%	5	97%	3	90%
Confiabilidade	3	Médio	5	Ótimo	4	Bom	4	Bom
Maturidade tecnológica	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	4	Bom
Controle de operação	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	5	Ótimo
Manutenção	3	Médio	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo
Custos de controle	5	Ótimo	2,5	Ruim	2,5	Ruim	3	Médio
Custos	4	Bom	5	Ótimo	3	Médio	4	Bom
Vida útil	3	Médio	4	Bom	4	Bom	4	Bom
Facilidade de manuseio	3	Médio	4	Bom	5	Ótimo	4	Bom
Total	36		43		41,5		41	

Fonte: Adaptado de M. Yildirim et al, H., Nasser et al [19] [20].

Atributos para sistemas de recarga:

Tipos de recarga	Nível I CA		Nível II CA (lento)		Nível II CA (rápido)		Nível III CC		Indução	
Atributos	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	Valor típico	Peso	(Valor típico)
Eficiência (%)	4	>90	4	>90	4	>90	3	>85	2	<85
Confiabilidade	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	3	Médio
Maturidade tecnológica	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	3	Médio
Segurança	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	3	Regular
Manutenção	4	Bom	4	Bom	4	Bom	3	Médio	3	Médio
Custos	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	2	Ruim	2	Ruim
Velocidade de recarga	2	10 horas	3	8 horas	4	4 horas	5	0,2 horas	4	4 horas
Total	30		31		31		25		20	

Fonte: Adaptado de Hussain Shareef et al [15].

Atributos para unidades de controle (VCU e Drive de controle):

Unidade de controle	Inversor		VCU	
Atributos	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)
Eficiência (%)	4	>90	0	N. se aplica
Maturidade tecnológica	5	Ótimo	4	Bom
Controle de operação	4	Bom	3	Médio
Segurança	4	Bom	5	Ótimo
Manutenção	4	Bom	5	Ótimo
Custos	3	Médio	3	Médio
Vida útil	4	Bom	5	Ótimo
Software	4	Bom	4	Bom
Controle de entradas e saídas	4	Bom	5	Ótimo
Diagnóstico supervisão	4	Bom	5	Ótimo
Gerenciamento de energia	3	Regular	5	Ótimo
Gerenciamento de torque	5	Ótimo	5	Ótimo
Gerenciamento térmico	4	Bom	5	Ótimo
Gerenciamento de segurança	4	Bom	5	Ótimo
Monitoramento de dados	4	Bom	5	Ótimo
Velocidade de transmissão	4	1 Mbps	4	1 Mbps
Distância de transmissão	3	40m	3	40m
Conexões de dispositivos	5	Ótimo	5	Ótimo
Total	72		76	

Fonte: Adaptado de M. Karamuk, Z.Wu et al, S. Christiaens et al [22] [23] [24].



Atributos para BMS:

<i>BMS</i>	<i>BMS</i>	
Atributos	Peso	(Valor típico)
<i>Confiabilidade</i>	4	Bom
<i>Maturidade tecnologica</i>	5	Ótimo
<i>Controle de operação</i>	4	Bom
<i>Segurança</i>	4	Bom
<i>Software</i>	4	Bom
<i>Diagnóstico supervisório</i>	4	Bom
<i>Gerenciamento térmico</i>	5	Ótimo
<i>Monitoramento de dados</i>	5	Ótimo
<i>Facilidade de manuseio</i>	4	Bom
<i>Proteção</i>	5	Ótimo
<i>Controlador de carga</i>	5	Ótimo
<i>Gerenciamento</i>	5	Ótimo
<i>Velocidade de transmissão</i>	2	115 Kbps
<i>Distância de transmissão</i>	2	30m
<i>Conexões de dispositivos</i>	2	Ruim
Total	60	

Fonte: Adaptado de H. Rahimi-Eichi et al [11].

Os protocolos de comunicação não foram abordados na revisão bibliográfica, porém, também foram treinados para utilização pelo sistema.

Atributos para protocolos de comunicação:

<i>Protocolos de comunicação</i>	<i>CAN</i>		<i>RS485-Modbus</i>		<i>RS232</i>		<i>Bluetooth</i>	
Atributos	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)	Peso	(Valor típico)
<i>Confiabilidade</i>	4	Bom	4	Bom	4	Bom	3	Médio
<i>Maturidade tecnologica</i>	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo
<i>Controle de operação</i>	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom
<i>Segurança</i>	4	Bom	4	Bom	4	Bom	3	Médio
<i>Custos</i>	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo	5	Ótimo
<i>Software</i>	4	Bom	4	Bom	4	Bom	3	Médio
<i>Controle de entradas e saídas</i>	4	Bom	4	Bom	3	Médio	3	Médio
<i>Diagnóstico supervisório</i>	5	Ótimo	5	Ótimo	3	Médio	5	Ótimo
<i>Proteção</i>	5	Ótimo	5	Ótimo	4	Bom	3	Médio
<i>Gerenciamento</i>	4	Bom	4	Bom	3	Médio	4	Bom
<i>Velocidade de transmissão</i>	4	1 Mbps	5	12 Mbps	2	115 Kbps	4	5 Mbps
<i>Distância de transmissão</i>	3	40m	5	1200m	2	30m	4	240m
<i>Conexões de dispositivos</i>	5	Ótimo	4	Bom	2	Ruim	3	Médio
Total	57		59		46		49	

Fonte: Do autor (2021)