



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**Instituto de Ciência e Tecnologia**  
Câmpus de Sorocaba



GABRIELA BATISTA SILVA

**Estudo e Aprimoramento do Índice de Prioridade Visando Auxiliar o Processo  
de Autorrecuperação em Redes Elétricas de Distribuição**

Sorocaba

2024

GABRIELA BATISTA SILVA

**Estudo e Aprimoramento do Índice de Prioridade Visando Auxiliar o Processo  
de Autorrecuperação em Redes Elétricas de Distribuição**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica Interunidades ICTS/SJBV da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação

Orientador: Prof. Dr. Helmo Kelis Morales Paredes

Coorientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian

Sorocaba

2024

S586e	Silva, Gabriela Batista Estudo e aprimoramento do índice de prioridade visando auxiliar o processo de autorrecuperação em redes elétricas de distribuição / Gabriela Batista Silva. -- Sorocaba, 2024 67 p.  Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba Orientador: Helmo Kelis Morales Paredes Coorientador: Juan Carlos Cebrian Amasifen  1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Energia elétrica - Distribuição. 3. Comportamento do consumidor. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## **IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA**

A pesquisa avaliou métodos de priorização para consumidores durante faltas de energia, capacitando concessionárias a agir de forma mais eficaz, e sugere integração de tecnologias emergentes para fortalecer o sistema energético, com potencial impacto para os ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) da ONU.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

This research evaluated prioritization methods for consumers during power outages, enabling utilities to act more effectively, and suggests the integration of emerging technologies to strengthen the energy system, with potential impacts on the UN's SDG 7 (Affordable and Clean Energy) and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure).



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Câmpus de Sorocaba**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Estudo e Aprimoramento do Índice de Prioridade visando auxiliar o Processo de Autorrecuperação em Redes Elétricas de Distribuição

**AUTORA: GABRIELA BATISTA SILVA**

**ORIENTADOR: HELMO KELIS MORALES PAREDES**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Elétrica, área: Automação pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. HELMO KELIS MORALES PAREDES (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia UNESP Campus de Sorocaba

Profa. Dra. FERNANDA CASEÑO TRINDADE ARIOLI (Participação Virtual)  
Departamento de Sistemas de Energia Elétrica / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Prof. Dr. CARLOS FREDERICO MESCHINI ALMEIDA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas / Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Sorocaba, 11 de abril de 2024

Aos meus pais, cuja dedicação, apoio incondicional e incentivo constante foram fundamentais ao longo da minha jornada acadêmica. A vocês, que sempre valorizaram a educação e me ensinaram a importância de perseguir minha curiosidade e buscar incessantemente o conhecimento, ofereço este trabalho como um tributo ao amor e aos ensinamentos que me proporcionaram. Este é, também, o resultado de tudo o que me ensinaram sobre resiliência, paixão e determinação.

## AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esta dissertação de mestrado, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que, de diversas formas, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço à minha família. A vocês, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional e incentivo na minha educação, pelo amor e pela compreensão durante todos os momentos desta jornada. Vocês foram minha base, meu porto seguro e minha fonte constante de motivação. Sem a força e o incentivo de vocês, este sonho não teria se tornado realidade.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando alegrias e desafios, minha sincera gratidão. A presença de vocês foi essencial para manter o ânimo e a determinação. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada momento de descontração foram fundamentais para que eu pudesse seguir em frente e concluir este trabalho.

Agradeço, com especial deferência, ao meu orientador, Professor Dr. Helmo Kelis Morales Paredes, e a meu coorientador, Professor Dr. Juan Carlos Cebrian. Sua orientação precisa, seus conselhos e sua paciência foram cruciais para o desenvolvimento desta dissertação. Sou grata pela confiança depositada em mim e pela oportunidade de aprender com profissionais de tanta competência e conhecimento. A colaboração e o apoio fornecidos por você foram fundamentais para a qualidade desta pesquisa.

A todos vocês, minha gratidão eterna. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo, onde cada um teve um papel essencial. Muito obrigado por fazerem parte desta jornada e por ajudarem a tornar este sonho uma realidade.

## RESUMO

Determinar a ordem de prioridade durante eventos de falta de energia requer uma avaliação cuidadosa de vários fatores, incluindo a abrangência e a gravidade da interrupção de energia e as características individuais dos consumidores. Surge, nesse sentido, a necessidade de desenvolver estratégias que auxiliem as empresas concessionárias na identificação e priorização eficiente dos consumidores durante esses eventos críticos. Na literatura, existem métodos multicritério como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), que podem combinar parâmetros operacionais e comportamentais visando a categorização dos consumidores com base em seu índice de prioridade. O método AHP permite a tomada de decisões em problemas complexos, enquanto o SMART oferece uma abordagem simplificada para a tomada de decisões multicriterial. Este trabalho analisa e compara o desempenho do AHP e SMART durante a definição de índice de prioridade para cada consumidor existente na rede. Essa abordagem oferece uma estrutura sistemática para a tomada de decisões durante eventos de falta de energia, capacitando as concessionárias a responder de forma mais eficaz e eficiente às necessidades dos consumidores e da comunidade em geral. Esses métodos foram aprimorados e implementados em simulações em duas redes avaliando condições distintas de funcionamento bem como analisando o impacto da variação dos parâmetros considerados na priorização. O método SMART apresentou menor tempo de processamento ao aumentar o número de clientes e a massa de dados em um evento de contingência, enquanto o método AHP, devido às suas comparações hierárquicas, tornou-se mais complexo com mais consumidores, mas ofereceu maior detalhamento e definição na priorização. Os gráficos mostraram distinções claras nos pesos finais por consumidor calculados pelo AHP, em contraste com variações mais sutis no SMART. A escolha do método a ser utilizado deve considerar as necessidades específicas, seja pela rapidez em emergências ou pela precisão na classificação, e pode ser planejada previamente, com recálculos periódicos conforme as características das cargas.

Palavras-chave: AHP; decisão multicritério; priorização de unidades consumidoras; SMART.

## ABSTRACT

Determining the order of priority during power outage events requires a careful assessment of various factors, including the scope and severity of the power interruption and the individual characteristics of the consumers. This highlights the need to develop strategies to help utility companies efficiently identify and prioritize consumers during these critical events. In the literature, there are multicriteria methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP) and Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART), which combine operational and behavioral parameters to categorize consumers based on their priority index. The AHP method facilitates decision-making in complex problems, while SMART offers a simplified approach to multicriteria decision-making. This work analyzes and compares the performance of AHP and SMART in defining the priority index for each consumer in the network. This approach provides a systematic framework for decision-making during power outage events, enabling utility companies to respond more effectively and efficiently to the needs of consumers and the community at large. These methods were refined and implemented in simulations on two networks, evaluating different operating conditions and analyzing the impact of varying parameters on prioritization. The SMART method showed a shorter processing time when increasing the number of clients and the data mass in a contingency event, while the AHP method, due to its hierarchical comparisons, became more complex with more consumers but offered greater detail and definition in prioritization. The graphs showed clear distinctions in the final weights per consumer calculated by AHP, in contrast to more subtle variations in SMART. The choice of method should consider specific needs, whether for quick response in emergencies or for precise classification, and can be planned in advance, with periodic recalculations based on load characteristics.

Keywords: AHP; consumer prioritization; multicriteria decision; SMART.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede de 69 barras utilizada nas simulações. . . . .	41
Figura 2 – Rede de 1946 barras utilizada nas simulações. . . . .	41
Figura 3 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores considerando apenas o tipo de consumidor. . . . .	45
Figura 4 – Classificação dos blocos considerando apenas o tipo de consumidor. . .	45
Figura 5 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> . . . . .	47
Figura 6 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> . . . . .	47
Figura 7 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio e os valores de <i>DIC</i> e <i>FIC</i> . . . . .	48
Figura 8 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio e os valores de <i>DIC</i> e <i>FIC</i> . . . . .	48
Figura 9 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> e horário de funcionamento para uma falta às 10:00. . . . .	49
Figura 10 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> e horário de funcionamento para uma falta às 10:00. . . . .	49
Figura 11 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> e horário de funcionamento para uma falta às 23:00. . . . .	50
Figura 12 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> e horário de funcionamento para uma falta às 23:00. . . . .	50

Figura 13 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> , horário de funcionamento, <i>PIT</i> , <i>TR</i> e <i>CI</i> . . . . .	51
Figura 14 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, <i>DIC</i> e <i>FIC</i> , horário de funcionamento, <i>PIT</i> , <i>TR</i> e <i>CI</i> . . . . .	51
Figura 15 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor e igualando os pesos dos demais critérios. . . . .	52
Figura 16 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor e igualando os pesos dos demais critérios. . . . .	52
Figura 17 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso do consumidor residencial em relação aos demais. . . . .	53
Figura 18 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso do consumidor residencial em relação aos demais. . . . .	53
Figura 19 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso do horário de funcionamento em relação aos demais. . . . .	54
Figura 20 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso do horário de funcionamento em relação aos demais. . . . .	54
Figura 21 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso para <i>DIC</i> e <i>FIC</i> em relação aos demais. . . . .	55
Figura 22 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso para <i>DIC</i> e <i>FIC</i> em relação aos demais. . . . .	55
Figura 23 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores com os métodos SMART (esquerda) e AHP (direita). . . . .	57

Figura 24 – Top 10 da classificação dos consumidores com os métodos SMART (esquerda) e AHP (direita). . . . .	58
Figura 25 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 08:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . .	58
Figura 26 – Top 15 da classificação dos consumidores às 08:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . . . .	59
Figura 27 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 17:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . .	59
Figura 28 – Top 15 da classificação dos consumidores às 17:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . . . .	59
Figura 29 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 22:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . .	60
Figura 30 – Top 15 da classificação dos consumidores às 22:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita . . . . .	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos atribuídos para cada parâmetro avaliado no método SMART . . .	37
Tabela 2 – Pesos atribuídos por tipo de consumidor no método SMART. . . . .	38
Tabela 3 – Escala de preferência relativa proposta por Saaty (1980) . . . . .	39
Tabela 4 – Preferência relativa atribuída a cada parâmetro avaliado no método AHP	40
Tabela 5 – Preferência relativa entre tipos de consumidor . . . . .	40
Tabela 6 – Tempo de processamento, em segundos, verificado para cada método em cada cenário avaliado . . . . .	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	14
1.1	<i>Aplicações da Priorização de Consumidores na Distribuição de Energia</i>	16
1.2	<i>Consumidores Críticos</i> . . . . .	20
1.3	<i>Objetivos</i> . . . . .	22
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> . . . . .	23
2.1	<i>Apoio Multicritério à Decisão</i> . . . . .	23
2.2	<i>O Problema da Priorização</i> . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Metodologia Proposta</b> . . . . .	33
3.1	<i>Métodos de Decisão Multicritério Seleccionados e Metodologias de Cálculo</i>	34
3.1.1	Metodologia de Cálculo SMART . . . . .	35
3.1.2	Metodologia de Cálculo AHP . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussões</b> . . . . .	41
4.1	<i>Simulações com a Rede de 69 barras</i> . . . . .	42
4.1.1	Condições de teste . . . . .	43
4.1.2	Aplicando os Métodos de Priorização . . . . .	44
4.2	<i>Simulações com a rede de 1946 barras</i> . . . . .	54
4.2.1	Considerando apenas atributos disponíveis nas bases de dados da distribuidora . . . . .	57
4.2.2	Considerando também atributos que podem ser fornecidos pelo consumidor . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Conclusões</b> . . . . .	61
5.1	<i>Trabalhos Futuros</i> . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Artigos Publicados</b> . . . . .	64
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	65

## 1 Introdução

Um dos principais objetivos da operação, gestão e planejamento das redes elétricas é garantir a continuidade do fornecimento de energia ainda frente a eventos adversos, sejam eles naturais ou provocados pelo ser humano. Isso envolve lidar com possíveis falhas na confiabilidade do sistema, garantindo, assim, que a energia continue sendo fornecida para o maior número possível de clientes. Entretanto, é preciso reconhecer que nem todos os clientes têm o mesmo sentimento de urgência quanto à manutenção da continuidade do fornecimento de energia. Por exemplo, no caso de consumidores residenciais, a falta de energia está atrelada a conforto e segurança, enquanto em hospitais e serviços públicos, a falta de energia está associada com vidas humanas e fatores em que o tempo de interrupção é crítico. Nesse sentido, ao abordar a resiliência do sistema elétrico, é essencial priorizar as necessidades dos clientes críticos, como centros de controle de energia, serviços de emergência como bombeiros e delegacias, hospitais e outras cargas consideradas fundamentais. Durante a avaliação da resiliência do sistema, é coerente dar destaque adicional a qualquer sistema que consiga manter o fornecimento de energia para esses clientes críticos durante uma perturbação que possa resultar em uma interrupção (CHALISHAZAR *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, o crescimento da demanda e os avanços tecnológicos nos setores energético e industriais têm exigido que as concessionárias de energia aumentem a qualidade de energia fornecida aos consumidores finais. Nesse sentido, no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vem impondo normativas e regras para atender às necessidades dos consumidores e gerenciar o desempenho das concessionárias de energia. Com isso, para ajudar no entendimento da qualidade exigida, a Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 estabelece a versão mais atualizada dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), formada por 11 módulos (ANEEL, 2021). Exclusivamente, no módulo 8 do PRODIST, são definidos os conceitos de qualidade de produto, serviço e atendimento. A qualidade do produto se refere à conformidade de tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão. A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica e está associada a indicadores de continuidade (ANEEL, 2021). A transgressão de

limites regulatórios dos indicadores de qualidade do serviço e do produto acarretam ainda para a concessionária dispêndios financeiros com ressarcimentos ao consumidor.

Seguindo a necessidade de modernizar o setor elétrico – isso com a finalidade de melhorar o fornecimento de energia aos consumidores levando em conta as preocupações climáticas, as mudanças nos perfis de consumo, e a possibilidade de proporcionar ao consumidor final maior participação no planejamento e operação do sistema – as redes elétricas precisam de mudanças nos diferentes níveis, ou seja, comercialização, geração, transmissão e distribuição (BEZERRA, 2018). Essa nova geração de sistemas de energia estabelece um significativo aumento na quantidade e na qualidade de informações relativas ao desempenho das redes de energia, assim como a disponibilidade dessas informações na própria rede e a possibilidade de participação ativa dos consumidores finais para, com base nesses dados, orientar o desempenho da rede otimizando-a. Assim, as redes elétricas modernas passam a ter como características um elevado grau de automação, uso de recursos digitais e inteligência computacional, elas então são denominadas Redes Elétricas Inteligentes (REI), ou, em inglês, *Smart Grids* (FALCÃO, 2010).

No contexto deste trabalho, as REI apresentam diversas vantagens frente às redes convencionais. Uma delas é a capacidade de antecipar a resposta às perturbações do sistema, conhecida como autorrecuperação ou, em inglês *self healing*. Isso é possível por meio da utilização da informação obtida em tempo real por meio de sensores incorporados ao sistema, proporcionando ao controle automatizado, a capacidade de prever, detectar e responder aos problemas do sistema elétrico. Essa capacidade, aliada ao conhecimento mais profundo do comportamento da demanda dos consumidores, possibilita um melhor planejamento operacional da rede elétrica. Além disso, cria um cenário favorável para a implantação da Indústria 4.0 (I4.0) (BEZERRA, 2018; FALCÃO, 2010).

O avanço em direção a sistemas de distribuição de energia elétrica mais inteligentes e resilientes implica não apenas na implementação de rotinas de autorrecuperação e atendimento emergencial eficientes, mas também na necessidade crítica de priorizar ações que atendam de maneira direta e efetiva aos consumidores críticos, como hospitais e serviços de emergência, e consumidores sensíveis que executam atividades de impacto para a sociedade, como indústrias e comércio. As métricas de sucesso para um sistema de energia precisam não apenas considerar o desempenho do sistema durante uma falha, mas também como ele reduziu o estresse e forneceu energia para suas cargas críticas (CHALISHAZAR *et al.*, 2021). Essa abordagem se torna complexa devido à ampla gama de variáveis subjetivas

e qualitativas que influenciam a tomada de decisão, especialmente durante em situações de contingência devido a eventos climáticos extremos, demandando um foco intensificado na priorização dos consumidores dentro do processo de autorrecuperação e no atendimento emergencial.

Durante eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes em nossa realidade, fica evidenciada a vulnerabilidade das redes elétricas e a necessidade de priorização se torna ainda mais notória. Eventos como tempestades, furacões ou inundações podem resultar em interrupções generalizadas no fornecimento de energia, afetando não apenas o conforto e a conveniência dos consumidores, mas também colocando em risco serviços essenciais, como hospitais e centros de emergência.

Notícias recentes no Brasil relatam casos de interrupções generalizadas no fornecimento de energia devido a fortes chuvas e tempestades, destacando a necessidade crítica de garantir o acesso prioritário à energia para serviços essenciais, como hospitais e serviços de emergência. Em novembro de 2023, por exemplo, a cidade de São Paulo foi atingida por fortes chuvas e ventos que causaram interrupções no fornecimento de energia para 2,1 milhões de consumidores. Três dias após as chuvas, 500 mil consumidores ainda estavam sem energia (SCHROEDER; BERNARDES, 2023). Em intempéries climáticas como esta, a estabilidade do fornecimento de energia é frequentemente comprometida, aumentando a necessidade de uma alocação eficiente de recursos para garantir que os consumidores mais críticos tenham o fornecimento de energia restaurado prioritariamente. Portanto, a capacidade de identificar e priorizar esses consumidores críticos torna-se essencial para garantir a segurança e o bem-estar da comunidade durante crises. A eficácia dessa priorização é fundamental para a rápida restauração do fornecimento de energia, mas também para o planejamento estratégico prévio e a alocação de recursos adequados, visando minimizar os efeitos negativos desses eventos climáticos sobre os consumidores e a infraestrutura elétrica.

### *1.1 Aplicações da Priorização de Consumidores na Distribuição de Energia*

Um algoritmo capaz de fazer a priorização de consumidores pode ser uma ferramenta valiosa no setor de distribuição de energia, oferecendo uma gama de aplicações que visam melhorar a eficiência operacional e a confiabilidade do fornecimento de energia.

No **gerenciamento da demanda de energia durante períodos de pico** é essencial para garantir que a oferta de energia seja distribuída de forma equitativa e que consumidores críticos, como instalações médicas e infraestrutura de segurança pública, tenham acesso prioritário à energia quando necessário.

Durante períodos de pico de demanda de energia, como nos dias mais quentes do verão quando o uso de ar condicionado é elevado, ou durante eventos especiais que demandam uma grande quantidade de eletricidade, como jogos esportivos ou festivais, as empresas de distribuição de energia enfrentam o desafio de garantir o atendimento da demanda de todos os consumidores. Nesses momentos, um algoritmo de priorização de consumidores pode ser utilizado para gerenciar essa demanda de energia de maneira mais eficiente. Com base na priorização dos consumidores e na análise dos padrões de consumo, o algoritmo pode implementar medidas de gerenciamento de carga, como incentivos para redução voluntária do consumo, controle remoto de dispositivos para ajustar o consumo de energia, ou até mesmo programação de cortes seletivos de energia em áreas menos críticas.

Durante **situações de emergência, como tempestades severas ou desastres naturais**, o algoritmo pode desempenhar um papel crucial na resposta rápida e eficaz. Ao identificar e priorizar consumidores que dependem de energia para serviços essenciais, como hospitais, bombeiros e polícia, as empresas de distribuição podem garantir que os recursos sejam alocados de forma adequada para minimizar os impactos negativos. Durante uma emergência, os recursos disponíveis, como equipes de manutenção e materiais de reposição, podem ser limitados. O algoritmo pode ajudar na alocação eficiente desses recursos, direcionando-os primeiro para as áreas e consumidores mais críticos, onde sua aplicação terá o maior impacto na restauração do serviço.

O algoritmo pode auxiliar a **identificar automaticamente os consumidores que dependem de energia para serviços essenciais**, como hospitais, estações de bombeiros, centros de emergência e instalações de água e saneamento. Essa identificação pode ser feita com base em dados prévios sobre o tipo de serviço que cada consumidor oferece ou por meio de um sistema de categorização pré-definido. Com base nas informações coletadas, o algoritmo pode priorizar a restauração do fornecimento de energia para esses consumidores críticos. Ele pode considerar fatores como o tipo de emergência, a localização geográfica dos consumidores e a disponibilidade de recursos para garantir que os serviços essenciais sejam restabelecidos o mais rápido possível, dentre outros fatores.

É possível também implementar a priorização de consumidores na **integração com sistemas de despacho de equipes de resposta, ajudando a determinar as rotas mais eficientes** para as equipes de reparo e manutenção. Isso pode reduzir o tempo de resposta e garantir que as equipes cheguem rapidamente aos locais que exigem atenção imediata. Além disso, poderia também ser conectado a sistemas de monitoramento que fornecem dados atualizados sobre o status da rede elétrica, permitindo uma resposta rápida a quaisquer mudanças ou problemas que surjam durante a emergência.

Outra aplicação está na **otimização e uso de recursos como equipes de manutenção e reparo de infraestrutura**. Isso significa que áreas críticas podem receber atenção prioritária, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a eficiência operacional. O algoritmo pode ser projetado para classificar os consumidores e identificar e classificar os diferentes tipos de problemas de infraestrutura com base em sua gravidade e no impacto potencial nas unidades consumidores. Por exemplo, uma falha em uma subestação que afeta milhares de clientes pode ser classificada como uma prioridade mais alta do que uma falha que afeta apenas alguns consumidores residenciais. Com base nas prioridades identificadas, o algoritmo pode ajudar a determinar a alocação ideal de recursos, incluindo equipes de manutenção e reparo. Ele pode considerar fatores como a proximidade das equipes, a disponibilidade de peças sobressalentes e a complexidade da reparação necessária.

Na **micro-geração e armazenamento de energia**, o algoritmo também pode desempenhar um papel importante na gestão da distribuição de energia localmente gerada. Isso permite uma integração mais eficiente de sistemas de energia renovável e uma resposta mais ágil às mudanças na demanda e na oferta de energia. A gestão da distribuição de energia localmente gerada é uma área crucial à medida que a adoção de tecnologias de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, continua a crescer. Um desafio comum nesse contexto é equilibrar a produção local de energia com a demanda dos consumidores e a disponibilidade da rede elétrica principal. Um algoritmo pode analisar dados em tempo real sobre a produção de energia local e a demanda dos consumidores para otimizar a distribuição de energia. Ele pode priorizar o uso de energia gerada localmente sempre que possível, reduzindo a dependência da rede principal e maximizando a utilização de recursos renováveis.

A priorização também pode ser utilizada para **melhorar os serviços de assistência ao cliente**. Ao priorizar consultas e problemas de consumidores críticos, as

empresas de distribuição podem oferecer um atendimento mais eficiente e personalizado, aumentando a satisfação do cliente e a confiança no serviço.

Uma importante aplicação das técnicas de priorização, está na integração desses algoritmos com a **autorrecuperação na redes elétricas**. Autorrecuperação (ou em inglês, *self healing*) é o nome dado a capacidade de uma REI de detectar e analisar as falhas que acontecem na rede elétrica, e responder de forma eficiente visando restaurar o fornecimento de energia ao maior número de consumidores desenergizados executando operações de manobra de forma automática, com a mínima intervenção manual. Para a execução dos procedimentos de autorrecuperação, as redes de distribuição de energia contam com equipamentos de seccionamento tais como chaves seccionadoras, chaves fusíveis e religadores alocados em pontos estratégicos para a proteção e a operação da rede. Esses equipamentos possibilitam que, por um lado, os segmentos do circuito afetados por uma falta sejam detectados e isolados, e por outro lado, segmentos desenergizados que não contenham a falha possam ser reenergizados de forma adequada como consequência da transferência do suprimento de energia para outros ramais do mesmo alimentador, ou ainda para outros alimentadores vizinhos (XUE, 2016).

Os dispositivos que permitem atuação remota são denominados IEDs, do inglês *Intelligent Electronic Devices*. As manobras dos IEDs são realizadas com o objetivo de tornar o sistema de distribuição mais resiliente durante situações de contingência, permitindo uma maior confiabilidade no fornecimento de energia aos consumidores. Essa reconfiguração topológica deve seguir alguns princípios, como: restaurar a maior quantidade de cargas possível sem violar restrições operacionais; garantir o balanceamento de cargas; e proporcionar uma sequência de operações (chaveamentos) que possam ser realizadas com segurança para alcançar a configuração (topologia) desejada, no menor tempo possível (NOGUEIRA, 2016).

O foco na priorização dos consumidores dentro dos sistemas de autorrecuperação representa um passo fundamental na direção de redes de distribuição de energia elétrica mais inteligentes, seguras e resilientes. A integração das tecnologias da REI e da I4.0 é crucial para alcançar esse objetivo, permitindo uma gestão mais eficaz e responsiva das necessidades emergenciais e garantindo a continuidade dos serviços essenciais à sociedade.

Em resumo, um algoritmo de priorização de consumidores é uma ferramenta versátil e eficiente que pode ajudar as empresas de distribuição de energia a enfrentar uma variedade

de desafios, desde o gerenciamento da demanda até a resposta a emergências, melhorando assim a resiliência e a eficiência do sistema elétrico como um todo.

Sendo assim, este trabalho propõe a implementação de dois algoritmos capazes de integrar uma maior quantidade de características dos próprios consumidores visando estimar um único índice de priorização por consumidor com foco em orientar, de maneira mais assertiva, algoritmos de reconfiguração e restauração da rede, bem como equipes de manutenção durante o atendimento a eventos emergenciais.

## 1.2 Consumidores Críticos

Neste trabalho, os consumidores críticos são aqueles essenciais para a garantia da manutenção da vida e da segurança. Isso abrange desde os consumidores da área da saúde, como hospitais e centros médicos, até os que fornecem serviços públicos essenciais, como órgãos governamentais, sistemas de segurança pública, bombeiros e polícia. Podemos ainda incluir no grupo de prioridades consumidores industriais, que incluem fábricas e plantas de produção, e comércios, essenciais para a manutenção de atividades econômicas e geração de empregos e bem-estar social. Apesar de todos serem denominados consumidores críticos, o nível de prioridade dado a cada um deve ser diferenciado (BARIK; CENTENO, 2020).

Diante de interrupções no fornecimento de energia elétrica, a prática atual de priorização de unidades consumidoras considera principalmente o número de consumidores afetados por uma ocorrência. Esse critério é influenciado pelo atendimento aos indicadores de continuidade coletivos definidos pela ANEEL. No entanto, é crucial adotar uma abordagem mais holística que leve em conta não apenas a quantidade de consumidores, mas também a essencialidade dos serviços prestados por cada um deles e seus impactos na sociedade. O objetivo é mitigar a extensão dos danos que as comunidades enfrentam durante esse eventos e acelerar a recuperação das funções críticas (COSTA *et al.*, 2023).

Esta abordagem requer um sistema dinâmico capaz de identificar e priorizar rapidamente diversos tipos de consumidores, desde aqueles que garantem a manutenção da vida e da saúde, como hospitais, até os que fornecem serviços públicos essenciais e os do setor comercial. A integração das tecnologias das REI e da I4.0 proporciona uma comunicação bidirecional mais profunda entre concessionárias e consumidores. O uso de equipamentos inteligentes, como medidores inteligentes, possibilita o monitoramento e gerenciamento do

consumo em tempo real, transformando os consumidores em participantes ativos na gestão da rede elétrica. Esta interatividade pode fornecer dados valiosos às concessionárias para identificar rapidamente os consumidores prioritários durante interrupções, possibilitando uma ação mais direcionada e eficiente.

O desafio de aumentar a resiliência da rede elétrica evolui para um cenário onde é fundamental considerar a priorização de cada consumidor no processo de restauração do fornecimento de energia. Esta nova dimensão requer o desenvolvimento e a aplicação de metodologias de otimização que incorporem a capacidade de diferenciação entre os consumidores, garantindo que a recuperação do fornecimento de energia seja realizada com atenção especial àqueles cuja necessidade é mais crítica. A definição entre os serviços a serem executados traz à tona elementos de complexa comparação e análise. Transportar de forma matemática as diversas regras de prioridade do setor elétrico para um algoritmo de priorização auxilia na eliminação de fatores subjetivos pessoais de necessidade de urgência no momento da distribuição de recursos.

Para os consumidores, principalmente industriais, a necessidade de melhoria de seus processos produtivos levou à aplicação de equipamentos mais eficientes e precisos. Esses tipos de equipamentos são mais sensíveis a distúrbios elétricos (ou seja, transitórios, afundamentos de tensão, interrupções de energia, etc.). Logo, esses consumidores estão mais suscetíveis a perdas financeiras com relação a desligamentos inesperados de equipamentos/processos devido a distúrbios elétricos, seja pela frequência, duração ou intensidade (SILVA, 2021). Ainda no contexto de consumidores industriais, o conceito da I4.0 representa uma transformação na estrutura organizacional e na cultura das indústrias, marcada pelo uso intensivo de tecnologias digitais. Essas tecnologias, como *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data e computação em nuvem, visam construir plantas industriais inteligentes, com processos automatizados e troca de dados entre máquinas e recursos de forma autônoma. No entanto, ao implantar a I4.0, é importante considerar os aspectos técnicos associados ao fornecimento de energia para não criar barreiras ao desenvolvimento natural dessa indústria. Entre esses aspectos, destacam-se os níveis de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) fornecida aos consumidores industriais. Quando a QEE não atinge os níveis aceitáveis, as operações industriais podem sofrer falhas inesperadas, resultando em paradas de operação e perdas financeiras. Portanto, garantir uma QEE adequada é fundamental para manter a continuidade e a eficiência das

operações industriais e garantir o desenvolvimento industrial de uma região, o que por consequência gera empregos e movimenta a economia.

Portanto, é fundamental desenvolver metodologias que avaliem a diferenciação entre os diversos tipos de consumidores, garantindo que a recuperação do fornecimento de energia seja realizada com atenção especial para àqueles cuja necessidade é mais crítica em cada setor da sociedade.

Este trabalho apresenta a seguinte estrutura, no Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre autorrecuperação e sobre métodos de priorização aplicados ao setor de energia. No Capítulo 3 são expostos os objetivos do estudo, no Capítulo 4 é detalhada a metodologia utilizada, no Capítulo 5 os resultados obtidos são discutidos e, finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

### *1.3 Objetivos*

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- Aprimorar técnicas de priorização com o intuito de criar uma classificação de prioridades de unidades consumidoras que oriente o processo de autorrecuperação em redes de distribuição de energia elétrica;
- Propor a inclusão de informações disponibilizadas por consumidores com tecnologias da I4.0 durante o processo de priorização de consumidores de redes elétricas de distribuição. Essas informações visam tornar os consumidores I4.0 possíveis elementos ativos e colaborativos, onde seus estados de priorização possam ser alterados em função das suas condições operacionais.

## 2 Revisão Bibliográfica

Diante da necessidade de tomar decisões assertivas sobre a aplicação estratégica de recursos, diversos estudos na literatura buscam, em diferentes áreas do setor de energia, estabelecer formas de priorização. Nesse contexto, o apoio multicritério à decisão emerge como uma abordagem valiosa, permitindo a consideração e a avaliação de múltiplos critérios relevantes para a seleção e a alocação de recursos de forma mais abrangente e informada. Ao empregar técnicas deste tipo, os tomadores de decisão podem identificar as opções mais adequadas, levando em conta não apenas um único aspecto, mas uma variedade de fatores que impactam a eficácia e a sustentabilidade das decisões estratégicas no setor de energia.

### 2.1 Apoio Multicritério à Decisão

Os métodos de apoio multicritério à decisão ou MCDM, do inglês *Multi-Criteria Decision Making* são uma abordagem utilizada para ajudar na tomada de decisões complexas, nas quais múltiplos critérios precisam ser considerados. Em situações desse tipo, pode haver diversos objetivos conflitantes e diferentes alternativas a serem avaliadas. MCDM é um termo genérico para todos os métodos que ajudam as pessoas a tomarem decisões de acordo com suas preferências em situações onde existem mais de um critério conflitante, é um ramo da pesquisa operacional para encontrar resultados ótimos em cenários complexos com diversos indicadores e objetivos e critérios conflitantes. (ALVAREZ; ISHIZAKA; MARTÍNEZ, 2021).

Essa metodologia envolve a utilização de técnicas e ferramentas que permitem aos tomadores de decisão analisar e comparar diferentes opções, levando em consideração diversos critérios relevantes para o problema em questão que podem incluir aspectos quantitativos e qualitativos, tais como custo, benefício, tempo, risco, impacto ambiental, entre outros (JUNIOR; PIRATELLI; PACHECO, 2022). Tratam-se de métodos que fornecem uma alternativa útil e bem sucedida para lidar com três tipos principais de problemas decisórios: escolha, classificação e ordenação. Os dois primeiros são os problemas mais comumente estudados, mas o terceiro oferece uma maneira de lidar com problemas decisórios do mundo real que requerem alternativas a serem atribuídas a categorias ordenadas (ALVAREZ; ISHIZAKA; MARTÍNEZ, 2021).

O objetivo do apoio à decisão multicritério é fornecer uma estrutura sistemática e transparente para ajudar os tomadores de decisão a avaliar as alternativas disponíveis de forma mais abrangente e informada, facilitando assim a seleção da melhor opção ou o compromisso entre diferentes objetivos.

Diversas técnicas podem ser utilizadas nesse contexto, destacando-se como as mais utilizadas: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Elimination and Choice Translating Reality* (ELECTRE), *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE), *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), *Multiattribute Utility Theory* (MAUT), *Utilités Additives Discriminantes* (UTADIS) (JUNIOR; PIRATELLI; PACHECO, 2022).

O AHP, desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, é uma metodologia robusta e uma das mais utilizadas para apoiar a tomada de decisões em situações complexas. Baseado na decomposição hierárquica de um problema em elementos menores, o AHP permite que os decisores analisem e comparem alternativas de maneira estruturada. Ao atribuir pesos relativos aos critérios e subcritérios envolvidos no processo decisório, o AHP facilita a identificação das opções mais preferíveis. Uma das características distintivas do AHP é sua capacidade de lidar com múltiplos critérios e subjetividades, fornecendo uma estrutura analítica que ajuda a reduzir a ambiguidade e a complexidade inerentes aos problemas de decisão. Sua aplicação abrange uma ampla gama de domínios, incluindo planejamento estratégico, seleção de projetos, alocação de recursos e análise de riscos, tornando-se uma ferramenta valiosa para organizações e indivíduos que buscam decisões mais informadas e eficazes (SAATY, 1980). Da mesma autoria surge também o *Analytic Network Process* (ANP) que se trata de uma generalização do AHP possibilitando analisar as dependências entre os critérios e as influências entre as alternativas (JUNIOR; PIRATELLI; PACHECO, 2022).

A *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) é um método de análise multicritério que foi desenvolvido como uma abordagem para a tomada de decisões complexas em diversas áreas. Criado por Hwang e Yoon em 1981, o TOPSIS destina-se a ajudar os decisores a classificar alternativas com base na proximidade relativa a uma solução ideal. Este método opera comparando as alternativas com dois pontos de referência: a solução ideal e a solução anti-ideal. Com base nessas comparações, o TOPSIS atribui um valor de proximidade para cada alternativa, indicando sua similaridade com a

solução ideal em relação aos critérios estabelecidos. A alternativa escolhida deve estar o mais perto possível da alternativa “positiva ideal” e o mais longe possível da alternativa “negativa ideal”. Essa abordagem intuitiva e eficaz permite que os decisores identifiquem a melhor alternativa, considerando simultaneamente múltiplos critérios de avaliação (SALIH *et al.*, 2019).

O método *Elimination and Choice Translating Reality* (ELECTRE) é uma abordagem desenvolvida na década de 1960 por Bernard Roy para auxiliar na tomada de decisões em contextos de múltiplos critérios (JUNIOR; PIRATELLI; PACHECO, 2022). Este método visa a classificação de alternativas com base em uma análise comparativa das suas características em relação aos critérios estabelecidos e tem por finalidade escolher as alternativas que são preferidas pela maioria dos critérios. O ELECTRE oferece uma estrutura flexível que permite aos decisores lidar com diferentes níveis de precisão e incerteza, o que o torna particularmente útil em situações onde os critérios podem ser qualitativos ou quantitativos. Ao permitir a consideração de preferências parciais e a incorporação de informações imprecisas, o ELECTRE contribui para uma tomada de decisão mais transparente e robusta, possibilitando a seleção da melhor alternativa em conformidade com as necessidades e objetivos do decisor (DEINA; TROJAN; SIQUEIRA, 2020).

O método *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) é uma técnica de análise multicritério desenvolvida por Jean-Pierre Brans e Bertrand Mareschal em meados da década de 1980. Ele utiliza o conceito de pseudocritério para estabelecer um ranking, construindo-o segundo a pontuação recebida de cada alternativa respeito a outra, somando as forças e diminuindo as deficiências. Utilizando uma abordagem baseada em fluxo de informações, o PROMETHEE compara as alternativas em pares, considerando a direção e a intensidade das diferenças entre elas em relação a cada critério. Esse processo resulta em rankings de preferência que fornecem insights claros sobre as vantagens e desvantagens de cada alternativa, facilitando a tomada de decisão informada (ISHAK; ASFRIYATI; AKMALIAH, 2019).

O método PROMETHEE conta com algumas variantes. Ambas as variantes compartilham a mesma base teórica e processo de cálculo de preferências, mas diferem significativamente em sua abordagem final para o ranqueamento das alternativas. O PROMETHEE I é projetado para fornecer um ranqueamento parcial das alternativas. Isso significa que algumas alternativas podem não ser comparáveis, resultando em um ranqueamento que não classifica necessariamente todas as alternativas de forma conclusiva.

É particularmente útil em estágios iniciais da análise de decisão, quando o objetivo é identificar alternativas claramente preferíveis ou rejeitáveis sem necessitar de um ranqueamento completo e definitivo de todas as opções. O resultado do PROMETHEE I é um conjunto de relações de preferência entre as alternativas que podem revelar a existência de alternativas equivalentes ou incomparáveis, indicando situações em que duas ou mais alternativas são igualmente preferidas ou não podem ser diretamente comparadas devido à insuficiência de informação ou conflito entre os critérios (GOSWAMI, 2020).

O PROMETHEE II visa fornecer um ranqueamento completo das alternativas, posicionando todas as opções em uma única lista ordenada de acordo com suas preferências globais. Isso é feito ao calcular um fluxo de preferência líquido para cada alternativa. Esta variante é adequada para a fase final da tomada de decisão, quando é necessário um veredito claro e uma hierarquia definitiva entre todas as alternativas consideradas. O resultado do PROMETHEE II é uma lista sequencial que classifica todas as alternativas, da mais preferida à menos preferida, com base na avaliação dos critérios fornecidos. Isso permite aos decisores ter uma visão clara de qual alternativa é superior, facilitando uma decisão final (GOSWAMI, 2020).

O SMART, é um método prático e intuitivo de apoio à decisão multicritério, que ajuda a avaliar uma série de alternativas com base em diversos critérios. Ele funciona seguindo uma estrutura relativamente simples e direta, tornando-o acessível mesmo para aqueles sem experiência profunda em análise de decisão. O primeiro passo no SMART é identificar e definir claramente os critérios que serão usados para avaliar as alternativas. Esses critérios devem cobrir todas as dimensões importantes da decisão a ser tomada. Uma vez definidos os critérios, o próximo passo é atribuir pesos a cada um deles, refletindo sua importância relativa na decisão final. Existem diversas maneiras de determinar esses pesos, como atribuição direta (onde o decisor simplesmente atribui os pesos baseados em sua experiência ou intuição) ou técnicas mais estruturadas (como comparação par a par). Cada alternativa é então avaliada em relação a cada critério. Isso geralmente é feito atribuindo uma pontuação a cada alternativa em cada critério, o que pode ser baseado em dados quantitativos, quando disponíveis, ou em julgamento qualitativo. As pontuações atribuídas a cada alternativa em cada critério são multiplicadas pelos pesos correspondentes dos critérios, e os resultados são somados para obter uma pontuação total para cada alternativa. Este passo combina os julgamentos sobre todos os critérios em uma única medida de desempenho para cada alternativa. A alternativa com a pontuação total

mais alta é considerada a melhor escolha, assumindo que o objetivo é maximizar a utilidade. No entanto, o processo também permite uma análise detalhada das forças e fraquezas de cada alternativa, baseada em como elas pontuam em cada critério individual. Finalmente, pode ser útil realizar uma análise de sensibilidade para verificar como as alterações nos pesos dos critérios ou nas pontuações das alternativas afetam a decisão final. Isso ajuda a entender a robustez da decisão e a identificar quaisquer áreas de incerteza significativa. O SMART é particularmente valorizado por sua simplicidade e flexibilidade, permitindo aos decisores uma maneira estruturada de decompor decisões complexas em componentes mais gerenciáveis, enquanto ainda proporciona uma análise rigorosa e compreensível (MORGAN, 2015).

O método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH) é uma abordagem para análise multicritério desenvolvida por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vasnick em meados da década de 1990. A ideia principal do método MACBETH é construir uma escala de intervalo a partir das informações de preferência. O método utiliza escalas de comparação fundamentadas em julgamentos comparativos diretos entre as alternativas, possibilitando uma análise detalhada e transparente das preferências do decisor e é usado para estabelecer um modelo quantitativo de valores. O método ajuda a classificar alternativas através da agregação de valores relativos ponderados de atratividade, levando em consideração os critérios decisórios específicos de cada caso. Diferentemente do AHP, que estrutura o problema de decisão em uma hierarquia, o MACBETH organiza-o sob a forma de uma árvore decisória. Enquanto o AHP emprega uma escala de razão de nove pontos para as comparações, o MACBETH opta por uma escala semântica de seis pontos, de natureza ordinal, enfatizando uma abordagem qualitativa nas avaliações (KUNDAKCI, 2019).

A determinação dos pesos no MACBETH é realizada por meio da programação linear, ao contrário do AHP, que utiliza o método de autovalor. Uma das maiores contribuições do MACBETH é oferecer uma ferramenta robusta para a verificação teórica e semântica da consistência dos julgamentos, garantindo uma análise rigorosa e fundamentada. Apesar das divergências metodológicas entre eles, tanto o MACBETH quanto o AHP são extremamente úteis na solução de problemas de decisão multicritério, permitindo a determinação precisa dos pesos dos critérios e um ranqueamento eficaz das alternativas. Essa flexibilidade faz de ambos métodos escolhas valiosas na tomada de decisão complexa, adaptando-se às necessidades específicas de cada análise (KUNDAKCI, 2019).

A *Multiattribute Utility Theory* (MAUT), proposta em 1976 por Ralph Keeney e Howard Raiffa, é um arcabouço teórico que busca representar as preferências dos tomadores de decisão por meio de uma função de utilidade (GRAU, 2017). A teoria ajuda a identificar e avaliar os *trade-offs* entre diferentes critérios, permitindo aos decisores entender melhor as consequências de suas escolhas e como diferentes objetivos interagem entre si e pode ainda incluir a análise de risco e incerteza, permitindo que os decisores avaliem como diferentes cenários ou informações incertas podem impactar a utilidade de cada alternativa. A função de utilidade pode ser personalizada para refletir as preferências específicas e únicas de um decisor (FONTE; ALENCAR; ALMEIDA, 2017).

O método *Utilités Additives Discriminantes* (UTADIS), introduzido por Devaud et al. (1980), é uma variante do método UTA (*Utilités Additives - Utilidade aditiva*), originalmente proposto por Jacquet-Lagrèze e Siskos (1982). Durante a década de 1990, o UTADIS começou a atrair a atenção dos pesquisadores em Análise Multicritério de Decisão (MCDA) devido à sua capacidade de lidar com a avaliação e classificação de alternativas em contextos complexos. A partir de 1997, o UTADIS foi especialmente empregado em modelos de tomada de decisão na área financeira, onde a precisão na classificação de opções e a identificação de padrões relevantes são cruciais para o sucesso das estratégias de investimento e gestão de riscos. Seu enfoque discriminante proporciona uma estrutura analítica robusta para abordar problemas de classificação em um ambiente de múltiplos critérios e incertezas, ampliando assim sua aplicabilidade em diversos domínios de decisão (JUNIOR; PIRATELLI; PACHECO, 2022). Baseia-se na construção de uma ou várias funções de utilidade para discriminar alternativas entre diferentes categorias ou classes. Essas funções são agregadas de modo que cada alternativa é associada a um valor de utilidade global, refletindo sua preferência relativa. A técnica assume que a utilidade global de uma alternativa pode ser representada pela soma ponderada das utilidades parciais, correspondentes a cada critério. Isso implica que os critérios são considerados compensatórios, ou seja, a deficiência em um critério pode ser compensada por um desempenho superior em outro. Os parâmetros do modelo, incluindo os pesos dos critérios e os parâmetros das funções de utilidade parciais, são geralmente determinados com base nas preferências do decisor. Isso é feito por meio da análise de um conjunto de alternativas de decisão previamente classificadas pelo decisor, permitindo que o modelo aprenda e reproduza a lógica de classificação (CARMO, 2017).

## 2.2 O Problema da Priorização

O problema de priorização pode ser enfrentado de várias formas. A priorização pode ser direcionada para definir quais recursos da rede são os mais adequados para serem utilizados no atendimento a uma emergência, neste caso os objetivos são conhecidos. Por outro lado, a priorização pode ser direcionando no ponto de vista do consumidor, ou seja, quais os consumidores receberiam os atendimentos no menor tempo possível, ou seja, qual seria a ordem de atendimento em caso de uma emergência. Soares (2015) apresenta uma metodologia de priorização de investimentos em obras de curto prazo em redes de distribuição utilizando dois métodos de auxílio à tomada de decisão, AHP, para a definição de prioridade entre microrregiões, e PROMETHEE, para a definição de prioridade entre as opções de obras disponíveis, juntamente com métodos de pesquisa operacional. O trabalho utiliza como parâmetros para priorização: *DEC* (Duração Equivalente de Interrupções por unidade consumidora), *FEC* (Frequência Equivalente de Interrupções por Unidade Consumidora), *TMA* (Tempo Médio de Atendimento), *DIC* (Duração de Interrupções por Unidade Consumidora), *FIC* (Frequência de Interrupções por Unidade Consumidora), *DMIC* (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora), *DRP* (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária) e *DRC* (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica), além de dados financeiros, como os valores das pagos de compensações aos clientes por transgressões dos limites regulatórios, e dados relacionados a capacidade e velocidade de execução de obras.

Garcia (2012) propõe um modelo matemático para a priorização no problema de roteamento de veículos para atendimentos de clientes comerciais e emergenciais. A minimização do tempo de atendimento é o critério de avaliação utilizado para o atendimento de emergências. As rotas envolvendo todos os clientes são criadas de modo a reduzir o tempo que decorre do início ao fim do trabalho (*makespan*) e o tempo total percorrido. Assim, no modelo proposto por Garcia (2012), são considerados três objetivos: latência mínima das emergências, minimização do *makespan* e do custo total das rotas. Por sua vez, Desuó M. Bessani (2019) utilizam um algoritmo de otimização por enxame de partículas multi-objetivo visando reduzir principalmente o tempo de deslocamento das equipes. Nesse sentido, Barbosa (2015) aplica uma técnica de otimização por colônia de formigas a partir de dados reais que reduziu, em média, 15,48% o custo total das rotas, possibilitando

que seja equilibrada a carga de trabalho das equipes entre atendimentos emergenciais e comerciais, bem como permitindo que mais serviços sejam executados no mesmo intervalo de tempo.

Garcia (2012) e Barbosa (2015) consideram a prioridade de serviços emergenciais sobre serviços comerciais a serem executados, mas não consideram prioridades entre serviços do mesmo tipo, nem a priorização de atendimentos de acordo com as características dos consumidores. Por sua vez, Cândido (2020) propõe o desenvolvimento de um algoritmo para resolução do problema de otimização combinatória multicritério que trata da roteirização de serviços comerciais e emergenciais de uma distribuidora caracterizando o problema a partir de sete critérios. Esses critérios são selecionados de maneira a definir de forma abrangente todos os aspectos relacionados tanto a desligamentos emergenciais involuntários na rede de energia como também serviços comerciais definidos pela regulação específica do setor. Para a avaliação de criticidade e priorização, foram utilizados os métodos decisórios como AHP e PROMETHEE II respectivamente, em conjunto com pesquisas realizadas junto a agentes do setor e da academia que revelaram suas experiências individuais e percepções de priorização. Primeiro foi desenvolvido um algoritmo auxiliar responsável pela otimização de distâncias percorridas pelos veículos em diferentes cenários de despacho. Em seguida, é aplicada a priorização, que tem como critérios a quantidade de clientes interrompidos, o possível custo de compensações decorrentes da interrupção, a localização, a quantidade de clientes críticos afetados, o tempo de atendimento da ocorrência emergencial e o potencial risco envolvido. Não é considerada uma diferenciação dos tipos de consumidores.

Baumann *et al.* (2017) utilizam uma metodologia que avalia em tempo real uma série de parâmetros para cada tipo de atividade - comercial ou emergencial - na determinação da importância relativa do atendimento de cada serviço, assim como o impacto causado pelo não atendimento, de acordo com as metas da distribuidora. Ainda, são criadas rotas otimizadas em tempo real para as equipes que executarão os serviços. Para os serviços emergenciais foram considerados: a Duração Equivalente de Interrupção (*DEC*) mensal, *DEC* anual, compensação por violação de limites de continuidade, motivo da abertura da ocorrência, importância do cliente, número de chamadas, número de reincidências e tempo restante para violar o prazo de 24 horas de interrupção. Foi utilizado o algoritmo *MACBETH* (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) para a comparação da importância das ordens de serviço de campo, a fim de se determinar a

prioridade entre elas, e a otimização das rotas foi feita utilizando a meta-heurística de colônia de formigas.

Reddy *et al.* (2017) utiliza um método de classificação baseado na teoria fuzzy para tratar a essa complexidade da priorização de consumidores durante faltas de energia e avaliar os pesos dos pontos de carga e, conseqüentemente, sua classificação, de forma a atender a necessidade de corte de carga ou redução, onde as cargas importantes recebem alta prioridade.

Em Barik e Centeno (2020), a priorização é aplicada sustentar sistemas de distribuição de energia durante o ilhamento. O trabalho propõe a implementação de uma técnica para atribuir diferentes níveis de prioridade a várias cargas críticas em tempo real, com base no fator de sensibilidade à voltagem. O módulo proposto decide a ordem de desligamento dessas cargas em tempo real, dependendo das condições operacionais do sistema, a fim de manter uma ilha a partir do ponto de desconexão, estabilizando o balanço de energia dentro da ilha.

Rajbhandari *et al.* (2022) aplica uma técnica de priorização de carga para garantir o fornecimento elétrico contínuo para cargas essenciais em micro-redes rurais. Uma técnica de alocação de energia com um dia de antecedência é formulada matematicamente e otimizada para maximizar o total de horas de energia fornecida. Essa técnica maximizou as horas de energia fornecida para a carga com prioridade mais alta, seguida pela carga com prioridades mais baixas. A partir deste estudo, constatou-se que a estratégia proposta ajuda a melhorar as horas de energia fornecida no sistema geral, melhorando o nível de carga do sistema de bateria. O resultado mostra que o nível de satisfação do usuário foi melhorado em 5% através de 100% de continuidade para as cargas essenciais.

AlMuhaini, Ilius e AlOwaifeer (2022) propõe um modelo de listagem de prioridades dinâmicas para otimizar a restauração de cargas em micro-redes, garantindo a confiabilidade do sistema e a eficácia econômica. O modelo proposto considera a importância das cargas e utiliza técnicas de tomada de decisão inteligente para otimizar a confiabilidade do sistema e calcular os custos das interrupções. A listagem de prioridades proposta inclui quatro níveis de criticidade, três níveis de subcriticidade - que incluem os programas de gerenciamento do lado da demanda - e um nível crítico especial. O modelo gera os índices de confiabilidade da rede bem como o custo das interrupções. Por fim, este modelo é otimizado usando a técnica de tomada de decisão inteligente fuzzy, onde os índices de confiabilidade são calculados usando Simulação de Monte Carlo.

[Costa et al. \(2023\)](#) apresenta uma metodologia que usa o método AHP para priorizar alimentadores em redes de distribuição de energia elétrica. Essa abordagem incorpora dados históricos e a experiência dos especialistas da empresa, junto com o modelo Plan-Do-Check-Action para verificar melhorias. O trabalho focou nos parâmetros *DEC*, *FEC*, quantidade de ocorrências, quantidade de consumidores atendidos e custos para realizar a priorização.

A priorização entre serviços a serem executados, além de ser voltada à minimização dos deslocamentos das equipes e reduzir os impactos nos indicadores de continuidade, traz à tona elementos de complexa comparação e análise para priorização ([CÂNDIDO, 2020](#)). A aplicação de métodos multicritério para a priorização torna mais clara a solução de conflitos existentes entre os critérios e permite aumentar a racionalidade presente no processo de decisão, auxiliando na definição de prioridades.

### 3 Metodologia Proposta

Neste trabalho, o índice de prioridade proposto é avaliado em função de parâmetros operacionais e comportamentais que caracterizam cada consumidor. Para isso serão considerando os dados que estão disponíveis nas empresas concessionárias de energia e os dados que poderiam ser adquiridos com os consumidores. Estes parâmetros são:

- Tempo de imunidade do processo produtivo – *PIT*;
- Tempo de reinício de processo produtivo após falha – *TER*;
- Custo de interrupção de processo produtivo – *CIP*;
- Histórico de duração e frequência de interrupções (*DIC* e *FIC*);
- O tipo de consumidor;
- O horário de funcionamento e o histórico de consumo.

Os três primeiros parâmetros, *PIT*, *TER* e *CIP*, avaliam especificamente os consumidores do tipo industrial, lhes garantindo um maior peso a depender de suas características de operação. O *PIT* avalia o tempo requerido para que um processo produtivo apresente uma eminente falha após uma interrupção de energia. O parâmetro *TER* avalia o tempo necessário para que o processo produtivo retome sua operação normal após a reenergização. O parâmetro *CIP* avalia o custo financeiro obtido como consequência de uma interrupção do processo produtivo. Os indicadores *DIC* e *FIC* conferem um maior peso aos consumidores com um maior histórico de interrupções e protege a concessionária de multas por exceder os limites dos indicadores de continuidade estabelecidos pelo órgão regulador. O tipo de consumidor e o consumo auxiliam na classificação de unidades de atividades essenciais ou estratégicas (hospitais, indústrias e comércios) a fim de que recebam prioridade, podendo ser ainda subclassificadas de acordo com o seu consumo. O horário de funcionamento possibilita priorizar as unidades que estão abertas no momento de um atendimento emergencial. Para realizar as análises, os valores de cada critério foram atribuídos de forma aleatória para cada ponto de carga da rede avaliada. No tipo de consumidor foram consideradas as seguintes categorias: saúde, indústria, serviço público, comércio ou residência. Neste trabalho os consumidores da área da saúde incluem todas as unidades voltadas à manutenção da vida. Em todos os testes realizados buscou-se dar um maior nível de criticidade aos consumidores das categorias de saúde e indústria, dada a importância de suas atividades para a sociedade.

### 3.1 Métodos de Decisão Multicritério Seleccionados e Metodologias de Cálculo

A primeira parte deste trabalho consistiu numa busca geral por métodos de priorização e classificação, extrapolando o setor de energia. Foram utilizados como critérios de avaliação destes modelos: simplicidade de implementação; capacidade de avaliação multicriterial; capacidade de tratar dados qualitativos e quantitativos. A partir destes critérios, foram seleccionados dois métodos: o SMART (*Simple Multi Attribute Rating Technique*) e o AHP. Os dois métodos envolvem a atribuição de pesos para os critérios avaliados, e estes valores podem ser otimizados para refletir a estratégia que melhor atenda às necessidades da concessionária.

O AHP é amplamente reconhecido por sua capacidade de lidar com problemas complexos de decisão, especialmente quando a hierarquia das prioridades é importante e os critérios têm diferentes níveis de importância relativa. Ele é particularmente útil quando há uma necessidade de decompor uma decisão em subproblemas menores e avaliar as alternativas em vários níveis de uma hierarquia.

Por outro lado, o SMART é uma escolha excelente quando a simplicidade e a facilidade de implementação são prioridades. Ele oferece uma abordagem direta e intuitiva para avaliar e priorizar alternativas, o que o torna especialmente útil em situações onde a complexidade do problema não exige uma estrutura hierárquica detalhada.

O método SMART é uma versão simplificada do MAUT (*Multiattribute Utility Theory*). É baseado em um modelo aditivo linear. Isso significa que um valor geral de uma determinada alternativa é calculado como a soma total da pontuação de desempenho de cada critério (atributo) multiplicado pelo peso deste critério. O método AHP, também um método de seleção multicritério, segue fundamentalmente quatro etapas: decomposição do problema em hierarquias, comparação par a par dos elementos em cada nível do sistema, determinação da prioridade relativa de cada elemento e agregação das prioridades relativas para a escolha final. Sendo assim, o método SMART permite uma avaliação simplificada dos parâmetros, observando seus próprios pesos para a composição geral do problema, enquanto o método AHP faz uma avaliação entre pares além de avaliar o impacto individual de cada parâmetro. Os resultados obtidos são apresentados na seção seguinte.

Em ambos os métodos utilizados são atribuídos pesos para cada um dos parâmetros avaliados, bem como para os valores observados em cada parâmetro para cada consumidor.

Para fins experimentais, os mesmos pesos foram atribuídos aos consumidores dos setores de saúde e indústria, sem que isso denote uma priorização das atividades econômicas sobre as atividades de manutenção da vida. O intuito foi enfatizar esses dois segmentos para observar os resultados dos testes nos modelos desenvolvidos. Os pesos dos parâmetros, assim como os pesos dos tipos de consumidor podem ser escolhidos de forma a refletir a estratégia de atuação da concessionária, os demais, podem ser avaliados matematicamente.

Todo o desenvolvimento foi feito utilizando-se a linguagem de programação Python na versão 3.9.13, em um computador com sistema operacional IOS Sonoma 14.2.1 e um processador de 1.6 GHz Dual-Core Intel i5.

### 3.1.1 Metodologia de Cálculo SMART

O método SMART é eficiente para tratar incertezas em situações de médio e alto risco, permitindo uma rápida e precisa tomada de decisão. O método foi originalmente proposto em 1977 por Ward Edwards como uma técnica de 10 etapas ([MORGAN, 2015](#)):

1. Identificar o responsável pela necessidade que precisa ser otimizada;
2. Identificar a questão a ser resolvida;
3. Identificar as alternativas a serem avaliadas;
4. Identificar as dimensões de valor (parâmetros) relevantes para a avaliação das alternativas;
5. Ordenar os parâmetros em ordem de importância;
6. Atribuir pesos aos parâmetros, preservando as proporções;
7. Somar todos os pesos e dividir cada alternativa dentro de cada parâmetro;
8. Atribuir pesos de 0 a 100 para cada alternativa dentro de cada parâmetro;
9. Calcular o valor de cada alternativa;
10. Decidir.

Na proposta original para o método, tanto os pesos dos parâmetros quanto os pesos de cada alternativa dentro de cada parâmetro são atribuídos pelos *stakeholders* envolvidos na atividade que se deseja otimizar aplicando o método de decisão multicritério. Os valores atribuídos são então padronizados de forma a normalizar a importância relativa de cada parâmetro.

Os pesos ( $W$ ) atribuídos para cada parâmetro estão dispostos na Tabela 1. Os pesos mais altos foram atribuídos ao tipo de consumidor, que receberão então sua prioridade de acordo com sua natureza, ao índices  $PIT$ ,  $TER$  e  $CI$  de forma a favorecer na classificação os clientes com maior sensibilidade às faltas de energia, notadamente indústrias e hospitais, e por fim o horário também teve um peso elevado visando favorecer os estabelecimentos que estiverem em funcionamento durante a falta - isto é, um comércio ou indústria que não estejam em horário de funcionamento no momento da falta teriam suas operações menos ou nada afetadas e, portanto, devem ceder a prioridade de atendimento àqueles que foram mais afetados.

Após a atribuição de peso dos parâmetros, foi atribuída uma avaliação ( $R$ ) de 0 a 100 para cada alternativa do parâmetro Tipo de Consumidor. Os valores resultantes foram consolidados na Tabela 2, refletindo a preferência atribuída a cada tipo de consumidor. Durante essa classificação, houve uma clara priorização para indústrias e instituições da área da saúde, reconhecendo a importância crítica desses setores para a sociedade. Em seguida, foram considerados órgãos de serviço público, refletindo o papel essencial que desempenham na prestação de serviços essenciais. O comércio seguiu-se na ordem de prioridade, dada sua relevância econômica e social, enquanto as residências foram classificadas por último, em consonância com sua posição tradicional na cadeia de consumo. Essa abordagem visa garantir uma alocação eficiente de recursos, maximizando o impacto positivo nos setores mais críticos e estratégicos. O baixo peso dado às residências em comparação com os demais também reflete a estratégia de evitar que se tenha a priorização de um determinado ponto de carga pela simples aglomeração de cargas residenciais em detrimento de pontos com menos cargas mas que contenham serviços críticos.

Para a avaliação das alternativas dos demais parâmetros, o método foi aprimorado, substituindo a nota que um avaliador definiria por uma relação matemática simples, respeitando uma distribuição uniforme, onde o maior valor observado dentre os itens avaliados tem peso atribuído como 100 e o menor valor tem peso 0. Estes dois pontos principais fornecem uma equação de uma reta que serve como base para calcular a avaliação para os valores intermediários, conforme as equações de (1) a (5).

$$y = aX + b \tag{1}$$

sendo

$$a = \frac{100}{(Vmax - Vmin)} \quad (2)$$

e

$$b = \frac{-100Vmin}{(Vmax - Vmin)} \quad (3)$$

Quando se deseja priorizar valores crescentes da alternativa (por exemplo, quanto maior o *DIC* do consumidor, maior é sua prioridade no atendimento), ou

$$a = \frac{100}{(Vmin - Vmax)} \quad (4)$$

e

$$b = \frac{-100Vmin}{(Vmin - Vmax)} \quad (5)$$

Quando se deseja priorizar valores decrescentes da alternativa (por exemplo, quanto menor o tempo de imunidade do processo do consumidor, maior deve ser sua prioridade).

Nas equações (1) a (5), as variáveis  $Vmáx$  e  $Vmín$  são o maior e o menor valor observado para as alternativas de um parâmetro, respectivamente;  $y$  é o valor que será atribuído a alternativa que está sendo avaliada e  $a$  e  $b$  são os parâmetros da reta estabelecida pelos pontos  $Vmáx$  e  $Vmín$ . O estabelecimento de uma relação matemática para atribuir os valores dos pesos de cada alternativa reduz a subjetividade do método. Por fim, foi calculada uma média ponderada dos valores atribuídos a cada alternativa (consumidor). Esta etapa permite a normalização da importância relativa em pesos que somam 1.

Tabela 1 – Pesos atribuídos para cada parâmetro avaliado no método SMART

	Peso atribuído (W)	Peso padronizado (w)
Tipo	100	13.33
Consumo	80	9.33
DIC	90	12.00
FIC	90	12.00
Horário	100	13.33
PIT	100	13.33
TER	100	13.33
CI	100	13.33

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2 – Pesos atribuídos por tipo de consumidor no método SMART.

Tipo de Consumidor	R
Indústria	100
Serviço Público	90
Comércio	70
Saúde	100
Residência	10

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.2 Metodologia de Cálculo AHP

No método AHP são atribuídos pesos relativos para cada parâmetro avaliado de acordo com a escala de preferência relativa proposta por (SAATY, 1980), mostrada na Tabela 3, que propôs originalmente o método. De acordo com (SAATY, 1980), o fundamento do AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho. Nesse método, são comparadas em pares as alternativas em cada parâmetro e é calculada a prioridade relativa de cada alternativa quanto a cada parâmetro. Ao final são agregadas as prioridades relativas para compor o peso final de cada consumidor.

Para realizar a comparação relativa utiliza-se uma matriz de decisão  $A$ , na qual o método AHP calcula resultados parciais do conjunto  $A$  dentro de cada critério  $v_i(A_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , denominado valor de impacto da alternativa  $j$  em relação à alternativa  $i$ , em que esses resultados representam valores numéricos das atribuições dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas (SILVA, 2022). Os resultados são normalizados pela expressão:

$$\sum_{i=1} v_i(A_j) = 1, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

onde  $n$  corresponde ao número de alternativas comparadas. Cada parte do somatório consiste em:

$$v_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1} a_{ij}}, j = 1, \dots, n \quad (7)$$

O que faz com que o vetor de prioridades da alternativa  $i$  em relação ao parâmetro  $C_k$  seja

$$v_k(A_j) = \frac{\sum_{j=1} v_i(A_j)}{n}, j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Tabela 3 – Escala de preferência relativa proposta por Saaty (1980)

Intensidade da Preferência	Definição (escala verbal)	Observações
1	Igualdade de preferência	Os dois elementos contribuem igualmente para o alcance do objetivo
3	Fraca de preferência de um dos elementos	Julgamento levemente favorável a um dos dois elementos
5	Forte de preferência de um dos elementos	Julgamento favorável a um dos dois elementos
7	Muito forte de preferência de um dos elementos	Um dos elementos é muito forte e sua dominância pode ser demonstrada na prática
9	Preferência absoluta de um dos elementos	A superioridade de um dos elementos é evidente demais
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	Utilizados quando houver necessidade de uma redução dos valores anteriormente apresentados
Valores recíprocos (não negativos)	Se um elemento $i$ obtiver um dos valores apresentados acima quando comparado com o elemento $j$ , então $j$ possuirá o valor recíproco quando comparado com $i$	

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores finais das alternativas são gerados a partir da agregação dos pesos dos parâmetros com o vetor de prioridades de suas alternativas, tal que

$$f(A_j) = \sum_{i=1} w(C_i) * v_i(A_j), j = 1, \dots, n \quad (9)$$

onde  $w(C_i)$  é o vetor de pesos do parâmetro, e  $n$  é o número de alternativas. Assim é possível estabelecer uma ordenação global de alternativas através de uma função global de valor.

A Tabela 4 mostra os pesos entre cada parâmetro utilizando a escala de preferência de (SAATY, 1980). Assim como no método SMART, os pesos do tipo de consumidor foram atribuídos diretamente, enquanto para os demais itens, a comparação entre pares foi feita por comparação matemática simples, dividindo o valor de uma alternativa por seu par respeitando os limites da escala de preferência adotada. Os valores atribuídos por tipo de consumidor são apresentados na Tabela 5.

Assim como no método SMART, foi claramente estabelecida uma ordem de prioridade, colocando as indústrias e instituições de saúde em destaque. Os critérios de classificação foram cuidadosamente definidos, dando prioridade aos tipos de consumidores com base em suas características específicas. Além disso, os índices *PIT*, *TER* e *CI* foram ponderados para favorecer clientes mais suscetíveis a interrupções de energia, como indústrias e hospitais. Também foi dada atenção ao horário de funcionamento dos estabelecimentos durante falhas de energia. Em seguida, foram considerados os órgãos de serviço público, seguido do setor comercial, enquanto as residências foram colocadas em último lugar. Essa abordagem foi adotada visando garantir uma distribuição eficiente de recursos, priorizando os setores que desempenham um papel fundamental no funcionamento e na sustentação da comunidade.

Tabela 4 – Preferência relativa atribuída a cada parâmetro avaliado no método AHP

	Tipo Consumidor	<i>DIC</i>	<i>FIC</i>	Consumo	Horário	<i>PIT</i>	<i>TR</i>	<i>CI</i>
Tipo Con- sumidor	1.00	2.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00
DIC	0.50	1.00	2.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50
FIC	0.50	0.50	1.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50
Consumo	0.33	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50
Horário	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PIT	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00
TER	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00
CI	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 – Preferência relativa entre tipos de consumidor

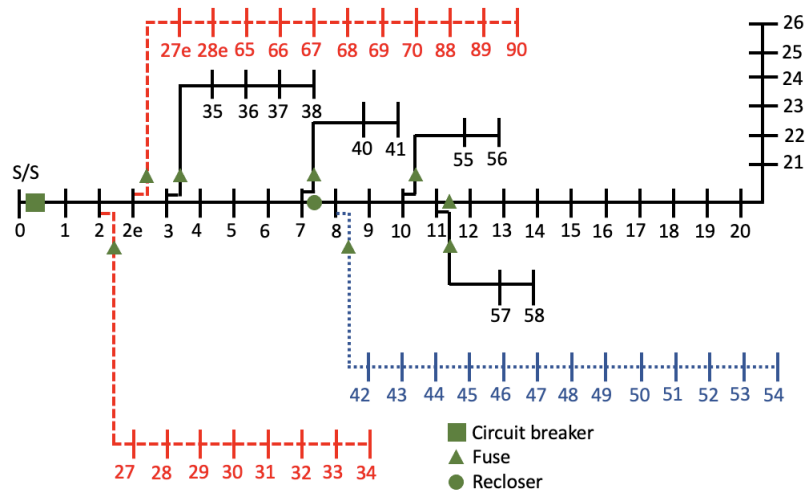
	Comércio	Indústria	Residência	Saúde	Serviço Público
Comércio	1.00	0.11	7.00	0.11	0.20
Indústria	9.00	1.00	9.00	1.00	9.00
Residência	0.14	0.11	1.00	0.11	0.11
Saúde	9.00	1.00	9.00	1.00	9.00
Serviço Público	5.00	0.11	7.00	0.11	1.00

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4 Resultados e Discussões

Para a realização das simulações foram utilizadas duas redes. Uma rede menor, de 69 barras, para a realização de análise de sensibilidade dos métodos estudados, exemplificada na Figura 1, e uma rede de 1946 barras, mostrada na Figura 2, com 672 cargas, divididas entre unidades de saúde, serviço público, indústrias, comércios e residências.

Figura 1 – Rede de 69 barras utilizada nas simulações.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2 – Rede de 1946 barras utilizada nas simulações.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.1 Simulações com a Rede de 69 barras

A rede de 69 barras (Figura 1) foi selecionada com a finalidade de se realizar verificações do impacto das variáveis e pesos escolhidos nas metodologias estudadas. A rede está dividida em 10 blocos com as seguintes características:

- Bloco\_2: 8 estabelecimentos comerciais, 35 residências e 7 estabelecimentos de serviço público, totalizando 50 consumidores;
- Bloco\_3: 5 estabelecimentos comerciais, 4 residências, 11 unidades de saúde e 5 estabelecimentos de serviço público, totalizando 25 consumidores;
- Bloco\_4: 11 indústrias;
- Bloco\_5: 5 residências;
- Bloco\_6: 8 comércios;
- Bloco\_7: 3 estabelecimentos de serviço público;
- Bloco\_8: 2 estabelecimentos de serviço público;
- Bloco\_9: 11 indústrias;
- Bloco\_10: 2 indústrias;
- Bloco\_11: 2 indústrias.

Com esta divisão, o Bloco\_2 representará o critério tradicional de priorização de blocos com maior número de consumidores e, a partir da avaliação de demais parâmetros, será possível comparar como os métodos estudados realizam o compromisso entre as necessidades de se atender indicadores de qualidade e balancear o atendimento às cargas críticas. O Bloco\_3 apresenta uma mistura de diferentes tipos de consumidores, tem metade de quantidade de clientes em relação ao Bloco\_2 mas possui mais cargas críticas. Os blocos de 4 a 11 auxiliaram na avaliação das respostas das metodologias empregadas frente ao acréscimo de critérios de análise. Para realizar as simulações os valores atribuídos de consumo, *PIT*, *CI*, *PIT*, *DIC* e *FIC* foram gerados de forma aleatória, sendo *PIT*, *CI* e *PIT* atribuídos apenas a unidades hospitalares e indústrias. O consumo médio atribuído foi diferenciado por tipo de carga, sendo que para cargas residências foi mantido na faixa entre 20 e 70 kWh, comércios e órgãos de serviço público tiveram uma faixa atribuída entre 100 e 500 kWh e indústrias e unidades hospitalares tiveram valores atribuídos entre 350 e 1500 kWh.

#### 4.1.1 Condições de teste

Para cada um dos métodos estudados, foram simuladas 10 condições de teste:

- Condição 1:** aplicação das técnicas de priorização utilizando apenas o critério de diferenciação dos tipos de consumidores, com os pesos apresentados na Tabela 2. O objetivo dessa condição é avaliar isoladamente o peso que se tem apenas considerando o tipo de consumidor;
- Condição 2:** priorização considerando o tipo de consumidor e os valores de *DIC* e *FIC*. Nessa condição, buscou-se incluir fatores que influenciam nos indicadores chave das concessionárias bem como afetam as multas que possam ser acarretadas;
- Condição 3:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC* e *FIC*. A inclusão do consumo médio gera uma subclassificação dentro dos tipos de consumidores de acordo com o seu porte;
- Condição 4:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC* e horário de funcionamento considerando uma falta às 10:00;
- Condição 5:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC* e horário de funcionamento considerando uma falta às 23:00. O objetivo dessa condição, assim como na Condição 4, é avaliar como o horários de funcionamento dos estabelecimentos pode afetar a priorização de atendimento;
- Condição 6:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC*, horário de funcionamento, *TR*, *PIT* e *CI* considerando uma falta às 10:00. A inclusão desses três parâmetros inclui na avaliação a sensibilidade maior à faltas de energia para consumidores críticos, como hospitais e indústrias;
- Condição 7:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC*, horário de funcionamento, *TR*, *PIT* e *CI* considerando uma falta às 10:00 igualando os pesos de todos os critérios. Com essa condição se pretendeu avaliar como o peso dos parâmetros pode afetar o resultado da priorização;
- Condição 8:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC*, horário de funcionamento, *TR*, *PIT* e *CI* considerando uma falta às 10:00

aumentando o peso do tipo de consumidor do tipo residencial em relação aos demais, assim é possível perceber a importância da calibração dos pesos dos tipos de consumidores de acordo com a estratégia adotada pela concessionária;

**Condição 9:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC*, horário de funcionamento, *TR*, *PIT* e *CI* considerando uma falta às 23:00 aumentando o peso do horário de funcionamento em relação aos demais. Com essa condição se pretendeu avaliar como o peso dos parâmetros pode afetar o resultado da priorização;

**Condição 10:** priorização considerando o tipo de consumidor, consumo médio, *DIC*, *FIC*, horário de funcionamento, *TR*, *PIT* e *CI* considerando uma falta às 10:00 aumentando o peso para *DIC* e *FIC* em relação aos demais. Com essa condição se pretendeu avaliar como o peso dos parâmetros pode afetar o resultado da priorização;

#### 4.1.2 Aplicando os Métodos de Priorização

A partir da metodologia de cálculo explicada na Seção 4, foram aplicadas as técnicas SMART e AHP na rede de 69 barras nas 10 condições de teste a fim de se avaliar a capacidade dos métodos em gerar uma classificação de prioridades bem como avaliar o impacto dos critérios selecionados na comparação dos consumidores.

##### Condição 1

Inicialmente, foram aplicadas as técnicas de priorização utilizando-se apenas o critério de diferenciação dos tipos de consumidores, com os pesos apresentados na Tabela 2, para o método SMART, e as preferências relativas apresentadas na Tabela 5 para o método AHP. As primeiras 20 posições na classificação de consumidores são apresentadas na Figura 3 e a classificação agregada por blocos é mostrado na Figura 4. Como estamos avaliando apenas um critério, o tipo de consumidor, a classificação para os dois métodos apenas separa os consumidores por tipo sem maiores distinções, priorizando indústrias e hospitais de maneira idêntica, seguidos por consumidores do grupo de serviços públicos, comércios e, por fim, residências. Não há uma distinção entre consumidores de um mesmo tipo.

No agrupamento por blocos, o Bloco\_3, mesmo não possuindo a maior quantidade de consumidores, destaca-se devido à combinação entre quantidade e tipo de consumidores críticos presentes; seguido pelo Bloco\_2 composto majoritariamente de residências mas com uma grande quantidade de consumidores quando comparado aos demais. Os blocos 4 e 9 composto por indústrias vêm logo em seguida, e podemos perceber que os demais seguem a ordem de quantidade de unidades consumidoras, exceto pelo Bloco\_5 que contém apenas residências que, mesmo tendo mais consumidores que outros blocos ainda recebe uma prioridade menor.

Figura 3 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores considerando apenas o tipo de consumidor.

CONSUMIDOR_ID	BLOCO	CARGA_ID	CONSUMIDOR_TIPO	RANKING
6947	Bloco_10	55bt	INDUSTRIAL	1
8474	Bloco_4	15bt	INDUSTRIAL	1
1297	Bloco_9	53bt	INDUSTRIAL	1
1314	Bloco_9	42bt	INDUSTRIAL	1
2578	Bloco_9	43bt	INDUSTRIAL	1
2791	Bloco_9	48bt	INDUSTRIAL	1
3708	Bloco_9	42bt	INDUSTRIAL	1
4689	Bloco_9	54bt	INDUSTRIAL	1
6221	Bloco_9	50bt	INDUSTRIAL	1
8601	Bloco_9	44bt	INDUSTRIAL	1
8832	Bloco_9	51bt	INDUSTRIAL	1
2369	Bloco_3	8bt	SAUDE	1
3124	Bloco_3	8bt	SAUDE	1
9891	Bloco_9	42bt	INDUSTRIAL	1
1529	Bloco_11	58bt	INDUSTRIAL	1
3567	Bloco_11	57bt	INDUSTRIAL	1
7999	Bloco_4	19bt	INDUSTRIAL	1
7179	Bloco_4	21bt	INDUSTRIAL	1
9329	Bloco_9	42bt	INDUSTRIAL	1
1429	Bloco_3	9bt	SAUDE	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4 – Classificação dos blocos considerando apenas o tipo de consumidor.

BLOCO	PESO
Bloco_3	0,2717
Bloco_2	0,2157
Bloco_4	0,1541
Bloco_9	0,1541
Bloco_6	0,0784
Bloco_7	0,0378
Bloco_10	0,0280
Bloco_11	0,0280
Bloco_8	0,0252
Bloco_5	0,0070

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 2

Em seguida, foi feita a priorização considerando o tipo de consumidor e os valores de *DIC* e *FIC*. Passamos agora a ponderar na priorização não apenas as características do consumidor e o impacto que a falta de energia poderá causar, mas também fatores regulatórios para a concessionária. Os índices *DIC* e *FIC* dão mais importância aos clientes que experimentaram mais interrupções no fornecimento de energia, ao mesmo tempo em que ajudam a concessionária a evitar multas por ultrapassar os limites de continuidade definidos pela entidade reguladora.

As primeiras 20 posições de consumidores prioritários são apresentadas na Figura 5 e a classificação agregado por blocos é mostrada na Figura 6. Com a inclusão destes valores, temos agora uma classificação com maior distinção entre consumidores de um mesmo tipo.

Na classificação por blocos, temos uma maior priorização dos blocos com consumidores industriais em detrimento dos demais e o Bloco\_2 ainda se mantém nas primeiras posições devido a quantidade de consumidores que atende. No método AHP, com a comparação par a par e a comparação relativa dos critérios, percebe-se que os blocos com consumidores industriais se destacam em relação aos demais, mesmo com a quantidade menor de consumidores. Nota-se então o compromisso entre equilibrar fatores importante do ponto de vista regulatório para a concessionária, ao mesmo tempo que se valoriza aspectos estratégicos em relação aos consumidores. As unidades consumidores com maior prioridade passam a ser aqueles que tem um histórico maior de faltas de energia.

### Condição 3

Acrescentando o consumo médio, obtemos primeiras 20 posições prioritárias de consumidores apresentadas na Figura 7 e a classificação agregada por blocos é mostrado na Figura 8. Observa-se agora um salto nas priorizações de consumidores industriais e que tem sido muito afetados por faltas de energia.

Figura 5 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, *DIC* e *FIC*.

SMART						AHP					
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	RANKING AHP
8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	183	183	1	8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	183	183	1
2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	167	194	2	2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	167	194	2
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	146	200	3	9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	199	139	3
9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	199	139	4	5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	162	4
5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	162	5	3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	146	200	5
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	179	140	6	9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	179	140	6
2039	Bloco_2	SERVICO PUBLICO	150	192	7	6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	123	7
3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	121	200	8	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	158	145	8
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	158	145	9	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	121	200	9
6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	123	10	8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	125	179	10
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	125	179	11	6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	89	198	11
6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	89	198	12	5228	Bloco_4	INDUSTRIAL	197	20	12
7730	Bloco_6	COMERCIAL	162	184	13	3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	106	154	13
3424	Bloco_3	COMERCIAL	157	179	14	6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	155	71	14
3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	106	154	15	7669	Bloco_3	SAUDE	142	84	15
6064	Bloco_3	SERVICO PUBLICO	128	149	16	3124	Bloco_3	SAUDE	114	128	16
3124	Bloco_3	SAUDE	114	128	17	2578	Bloco_9	INDUSTRIAL	154	26	17
2415	Bloco_2	COMERCIAL	118	194	18	2791	Bloco_9	INDUSTRIAL	138	47	18
9487	Bloco_2	SERVICO PUBLICO	130	124	19	8232	Bloco_3	SAUDE	102	103	19
6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	155	71	20	1297	Bloco_9	INDUSTRIAL	136	38	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, *DIC* e *FIC*.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,3368	Bloco_3	0,2893
Bloco_3	0,2108	Bloco_4	0,2458
Bloco_4	0,1343	Bloco_9	0,2454
Bloco_9	0,1270	Bloco_2	0,0748
Bloco_6	0,0717	Bloco_10	0,0449
Bloco_5	0,0299	Bloco_11	0,0441
Bloco_10	0,0266	Bloco_6	0,0249
Bloco_7	0,0261	Bloco_7	0,0178
Bloco_8	0,0193	Bloco_8	0,0121
Bloco_11	0,0176	Bloco_5	0,0010

Fonte: Elaborado pela autora.

#### Condição 4

Outro ponto importante que se pode considerar na priorização de atendimentos e na retomada do fornecimento de energia é o horário de funcionamento dos estabelecimentos afetados. Por exemplo, se uma falta ocorre às 23:00 horas e temos estabelecimentos industriais afetados em pontos diferentes e ambos tem demais características semelhantes, mas um deles funciona em horário comercial apenas, então o estabelecimento que está em operação será mais prejudicado pela falta e, portanto, deve ter prioridade no atendimento. As primeiras 20 posições de consumidores na classificação de prioridades incluindo os

Figura 7 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio e os valores de *DIC* e *FIC*.

SMART							AHP						
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	RANKING AHP
8474	Bloco 4	INDUSTRIAL	1390	183	183	1	8474	Bloco 4	INDUSTRIAL	1390	183	183	1
3708	Bloco 9	INDUSTRIAL	1418	121	200	2	3694	Bloco 4	INDUSTRIAL	1080	146	200	2
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	3	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	3
6947	Bloco 10	INDUSTRIAL	1410	89	198	4	9329	Bloco 9	INDUSTRIAL	797	199	139	4
8601	Bloco 9	INDUSTRIAL	1268	158	145	5	8601	Bloco 9	INDUSTRIAL	1268	158	145	5
8832	Bloco 9	INDUSTRIAL	1185	125	179	6	5636	Bloco 4	INDUSTRIAL	756	176	162	6
9329	Bloco 9	INDUSTRIAL	797	199	139	7	2625	Bloco 4	INDUSTRIAL	523	167	194	7
5636	Bloco 4	INDUSTRIAL	756	176	162	8	8832	Bloco 9	INDUSTRIAL	1185	125	179	8
2625	Bloco 4	INDUSTRIAL	523	167	194	9	6947	Bloco 10	INDUSTRIAL	1410	89	198	9
9500	Bloco 10	INDUSTRIAL	601	179	140	10	9500	Bloco 10	INDUSTRIAL	601	179	140	10
5228	Bloco 4	INDUSTRIAL	1358	197	20	11	5228	Bloco 4	INDUSTRIAL	1358	197	20	11
8232	Bloco 3	SAUDE	1340	102	103	12	6473	Bloco 4	INDUSTRIAL	519	176	123	12
3483	Bloco 4	INDUSTRIAL	885	106	154	13	3483	Bloco 4	INDUSTRIAL	885	106	154	13
6473	Bloco 4	INDUSTRIAL	519	176	123	14	7669	Bloco 3	SAUDE	987	142	84	14
7999	Bloco_4	INDUSTRIAL	1395	87	97	15	8232	Bloco 3	SAUDE	1340	102	103	15
2578	Bloco 9	INDUSTRIAL	1381	154	26	16	2578	Bloco 9	INDUSTRIAL	1381	154	26	16
7669	Bloco 3	SAUDE	987	142	84	17	6221	Bloco 9	INDUSTRIAL	759	155	71	17
2039	Bloco 2	SERVICO PUBLICO	184	150	192	18	7999	Bloco 4	INDUSTRIAL	1395	87	97	18
1529	Bloco 11	INDUSTRIAL	1344	68	106	19	3124	Bloco 3	SAUDE	637	114	128	19
8954	Bloco 3	SAUDE	991	42	164	20	4689	Bloco 9	INDUSTRIAL	1329	124	30	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio e os valores de *DIC* e *FIC*.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,3099	Bloco_3	0,2892
Bloco_3	0,2204	Bloco_4	0,2451
Bloco_4	0,1421	Bloco_9	0,2449
Bloco_9	0,1398	Bloco_2	0,0757
Bloco_6	0,0687	Bloco_10	0,0448
Bloco_10	0,0286	Bloco_11	0,0441
Bloco_5	0,0269	Bloco_6	0,0253
Bloco_7	0,0235	Bloco_7	0,0178
Bloco_11	0,0218	Bloco_8	0,0121
Bloco_8	0,0181	Bloco_5	0,0010

Fonte: Elaborado pela autora.

horários de funcionamento dos estabelecimentos são apresentadas na Figura 9 e a classificação agregada por blocos é mostrado na Figura 10 considerando uma falta às 10:00 horas. Considerando uma falta às 10:00, obtém-se classificações similares ao da condição anterior, pois neste caso todos os consumidores estão dentro do horário de funcionamento e o critério de horário tem menor peso nas tomadas de decisão.

Figura 9 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC* e horário de funcionamento para uma falta às 10:00.

SMART									AHP								
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	RANKING AHP
8474	Bloco 4	INDUSTRIAL	1390	183	183	09:00:00	18:00:00	1	8474	Bloco 4	INDUSTRIAL	1390	183	183	09:00:00	18:00:00	1
3708	Bloco 9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	2	3708	Bloco 9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	2
3694	Bloco 4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	3	3694	Bloco 4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	3
6947	Bloco 10	INDUSTRIAL	1410	89	198	08:00:00	18:00:00	4	8601	Bloco 9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	4
8601	Bloco 9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	5	9329	Bloco 9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	5
8832	Bloco 9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	6	5636	Bloco 4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	6
9329	Bloco 9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	7	8832	Bloco 9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	7
5636	Bloco 4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	8	2625	Bloco 4	INDUSTRIAL	523	167	194	09:00:00	18:00:00	8
2625	Bloco 4	INDUSTRIAL	523	167	194	09:00:00	18:00:00	9	6947	Bloco 10	INDUSTRIAL	1410	89	198	08:00:00	18:00:00	9
9500	Bloco 10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	10	9500	Bloco 10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	10
5228	Bloco 4	INDUSTRIAL	1358	197	20	09:00:00	18:00:00	11	5228	Bloco 4	INDUSTRIAL	1358	197	20	09:00:00	18:00:00	11
8232	Bloco 3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	12	6473	Bloco 4	INDUSTRIAL	519	176	123	09:00:00	18:00:00	12
3483	Bloco 4	INDUSTRIAL	885	106	154	09:00:00	18:00:00	13	3483	Bloco 4	INDUSTRIAL	885	106	154	09:00:00	18:00:00	13
6473	Bloco 4	INDUSTRIAL	519	176	123	09:00:00	18:00:00	14	8232	Bloco 3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	14
7999	Bloco 4	INDUSTRIAL	1395	87	97	09:00:00	18:00:00	15	7669	Bloco 3	SAUDE	987	142	84	09:00:00	18:00:00	15
2578	Bloco 9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	16	2578	Bloco 9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	16
7669	Bloco 3	SAUDE	987	142	84	09:00:00	18:00:00	17	7999	Bloco 4	INDUSTRIAL	1395	87	97	09:00:00	18:00:00	17
2039	Bloco 2	SERVICO PUBLICO	184	150	192	08:00:00	17:00:00	18	6221	Bloco 9	INDUSTRIAL	759	155	71	00:00:00	23:59:59	18
1529	Bloco 11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	19	3124	Bloco 3	SAUDE	637	114	128	09:00:00	18:00:00	19
8954	Bloco 3	SAUDE	991	42	164	09:00:00	18:00:00	20	1529	Bloco 11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC* e horário de funcionamento para uma falta às 10:00.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,2804	Bloco_3	0,2890
Bloco_3	0,2364	Bloco_4	0,2415
Bloco_4	0,1434	Bloco_9	0,2414
Bloco_9	0,1417	Bloco_2	0,0801
Bloco_6	0,0789	Bloco_10	0,0442
Bloco_10	0,0281	Bloco_11	0,0435
Bloco_7	0,0280	Bloco_6	0,0279
Bloco_11	0,0231	Bloco_7	0,0187
Bloco_8	0,0204	Bloco_8	0,0128
Bloco_5	0,0197	Bloco_5	0,0010

Fonte: Elaborado pela autora.

## Condição 5

Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as classificações para uma falta às 23:00 horas. quando observamos os resultados da priorização para uma falta às 23:00, nota-se que a classificação de prioridades foi modificada e favorece agora os estabelecimentos que ainda estão em funcionamento.

Figura 11 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC* e horário de funcionamento para uma falta às 23:00.

SMART									AHP								
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	RANKING AHP
3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	1	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	1
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	2	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	2
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	3	9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	3
9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	4	8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	4
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	5	9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	5
8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	6	8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	6
2578	Bloco_9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	7	2578	Bloco_9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	7
1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	8	6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	759	155	71	00:00:00	23:59:59	8
8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	1390	183	183	09:00:00	18:00:00	9	1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	9
6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	759	155	71	00:00:00	23:59:59	10	4689	Bloco_9	INDUSTRIAL	1329	124	30	00:00:00	23:59:59	10
4689	Bloco_9	INDUSTRIAL	1329	124	30	00:00:00	23:59:59	11	2791	Bloco_9	INDUSTRIAL	850	138	47	00:00:00	23:59:59	11
3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	12	3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	12
1314	Bloco_9	INDUSTRIAL	1011	66	111	00:00:00	23:59:59	13	1314	Bloco_9	INDUSTRIAL	1011	66	111	00:00:00	23:59:59	13
2791	Bloco_9	INDUSTRIAL	850	138	47	00:00:00	23:59:59	14	1297	Bloco_9	INDUSTRIAL	794	136	38	00:00:00	23:59:59	14
1297	Bloco_9	INDUSTRIAL	794	136	38	00:00:00	23:59:59	15	2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	15
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	16	5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	16
2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	17	9891	Bloco_9	INDUSTRIAL	489	83	70	00:00:00	23:59:59	17
6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	1410	89	198	08:00:00	18:00:00	18	8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	1390	183	183	09:00:00	18:00:00	18
5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	19	3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	19
5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	20	5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC* e horário de funcionamento para uma falta às 23:00.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,2861	Bloco_3	0,2866
Bloco_3	0,2216	Bloco_9	0,2642
Bloco_9	0,1788	Bloco_4	0,2332
Bloco_4	0,1312	Bloco_2	0,0721
Bloco_6	0,0634	Bloco_10	0,0455
Bloco_10	0,0310	Bloco_11	0,0448
Bloco_5	0,0248	Bloco_6	0,0242
Bloco_11	0,0247	Bloco_7	0,0169
Bloco_7	0,0217	Bloco_8	0,0116
Bloco_8	0,0167	Bloco_5	0,0010

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 6

Por fim, temos os índices *TR*, *PIT* e *CI* que dizem respeito à sensibilidade que os consumidores industriais e da área da saúde têm às interrupções no fornecimento de energia. Mantendo a simulação de uma falta às 10:00, nas Figuras 13 e 14 pode-se observar as primeiras 20 posições de consumidores com a inclusão deste novos dados e a classificação agregada por blocos, respectivamente. Esses índices foram atribuídos de forma mais rígida às unidades hospitalares visto o risco que as interrupções podem trazer nestes locais, isso se reflete na classificação onde vemos agora a priorização de unidades de saúde, intercaladas com consumidores industriais. No entanto, como o método AHP permite a

comparação entre pares, aqui fica mais evidente a priorização de unidades hospitalares quando comparadas com consumidores industriais.

Figura 13 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC*, horário de funcionamento, *PIT*, *TR* e *CI*.

SMART											AHP												
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	TR	CI	PIT	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	CONSUMO	DIC	FIC	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	TR	CI	PIT	RANKING AHP
8954	Bloco_3	SAUDE	991	42	164	09:00:00	18:00:00	600	85327	0,323	1	2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	417	62115	101,6	1
7669	Bloco_3	SAUDE	987	142	84	09:00:00	18:00:00	534	44963	0,602	2	5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	339	63734	19,36	2
3124	Bloco_3	SAUDE	637	114	128	09:00:00	18:00:00	584	41267	0,099	3	8954	Bloco_3	SAUDE	991	42	164	09:00:00	18:00:00	600	85327	3,101	3
8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	349	52162	0,622	4	3124	Bloco_3	SAUDE	637	114	128	09:00:00	18:00:00	584	41267	10,11	4
3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	509	45283	0,584	5	7669	Bloco_3	SAUDE	987	142	84	09:00:00	18:00:00	534	44963	1,661	5
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	226	5902	3	6	8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	349	52162	1,606	6
2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	417	62115	0,01	7	3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	509	45283	1,711	7
6598	Bloco_3	SAUDE	1163	84	3	09:00:00	18:00:00	450	58882	0,796	8	6598	Bloco_3	SAUDE	1163	84	3	09:00:00	18:00:00	450	58882	1,256	8
5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	339	63734	0,052	9	4309	Bloco_3	SAUDE	941	10	71	09:00:00	18:00:00	331	51253	1,625	9
5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	198	9619	7	10	1429	Bloco_3	SAUDE	1035	14	45	09:00:00	18:00:00	512	37042	1,414	10
6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	519	176	123	09:00:00	18:00:00	293	6601	2	11	9556	Bloco_3	SAUDE	1354	21	22	09:00:00	18:00:00	358	16164	1,282	11
2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	523	167	194	09:00:00	18:00:00	275	3856	8	12	6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	519	176	123	09:00:00	18:00:00	293	6601	0,5	12
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	278	7755	14	13	3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	09:00:00	18:00:00	226	5902	0,333	13
3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	885	106	154	09:00:00	18:00:00	299	9219	6	14	3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	885	106	154	09:00:00	18:00:00	299	9219	0,167	14
1429	Bloco_3	SAUDE	1035	14	45	09:00:00	18:00:00	512	37042	0,707	15	5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	756	176	162	09:00:00	18:00:00	198	9619	0,143	15
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	299	2403	15	16	1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	277	9233	0,143	16
4309	Bloco_3	SAUDE	941	10	71	09:00:00	18:00:00	331	51253	0,615	17	2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	523	167	194	09:00:00	18:00:00	275	3856	0,125	17
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	247	5341	9	18	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	278	7755	0,071	18
8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	1390	183	183	09:00:00	18:00:00	184	4584	24	19	4689	Bloco_9	INDUSTRIAL	1329	124	30	00:00:00	23:59:59	267	6245	0,143	19
1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	277	9233	7	20	9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	247	5341	0,111	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor, seu consumo médio, *DIC* e *FIC*, horário de funcionamento, *PIT*, *TR* e *CI*.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_3	0,2750	Bloco_3	0,3090
Bloco_2	0,2387	Bloco_4	0,2401
Bloco_4	0,1560	Bloco_9	0,2372
Bloco_9	0,1490	Bloco_2	0,0726
Bloco_6	0,0671	Bloco_10	0,0433
Bloco_10	0,0293	Bloco_11	0,0433
Bloco_11	0,0269	Bloco_6	0,0253
Bloco_7	0,0238	Bloco_7	0,0168
Bloco_8	0,0174	Bloco_8	0,0115
Bloco_5	0,0167	Bloco_5	0,0009

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 7

A adição etapa a etapa dos critérios avaliados é uma forma de se mostrar o impacto de cada um deles nos resultados finais, mas este efeito também pode ser obtido regulando os pesos atribuídos a cada um deles bem como aos tipos de consumidores. Essa flexibilidade permite que a estratégia de priorização seja facilmente adaptada à estratégia da concessionária no momento. Se todos os pesos dos critérios forem iguais

e mantivermos a diferenciação entre os tipos de consumidores, obtém-se os resultados apresentados nas Figuras 15 e 16. Nestas classificações, a posição do consumidor se dá pela combinação de todos os fatores associados no cálculo do índice de prioridade.

Figura 15 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita considerando o tipo de consumidor e igualando os pesos dos demais critérios.

SMART										AHP									
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING AHP
8954	Bloco_3	SAUDE	42	164	991	600	85327	0,323	1	2369	Bloco_3	SAUDE	138	16	846	417	62115	101,568	1
7669	Bloco_3	SAUDE	142	84	987	534	44963	0,602	2	8954	Bloco_3	SAUDE	42	164	991	600	85327	3,101	2
8232	Bloco_3	SAUDE	102	103	1340	349	52162	0,622	3	3124	Bloco_3	SAUDE	114	128	637	584	41267	10,113	3
3124	Bloco_3	SAUDE	114	128	637	584	41267	0,099	4	5349	Bloco_3	SAUDE	140	13	533	339	63734	19,359	4
3628	Bloco_3	SAUDE	88	60	1262	509	45283	0,584	5	7669	Bloco_3	SAUDE	142	84	987	534	44963	1,661	5
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	146	200	1080	226	5902	3,000	6	8232	Bloco_3	SAUDE	102	103	1340	349	52162	1,606	6
2369	Bloco_3	SAUDE	138	16	846	417	62115	0,010	7	3628	Bloco_3	SAUDE	88	60	1262	509	45283	1,711	7
6598	Bloco_3	SAUDE	84	3	1163	450	58882	0,796	8	6598	Bloco_3	SAUDE	84	3	1163	450	58882	1,256	8
5349	Bloco_3	SAUDE	140	13	533	339	63734	0,052	9	4309	Bloco_3	SAUDE	10	71	941	331	51253	1,625	9
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	158	145	1268	278	7755	14,000	10	1429	Bloco_3	SAUDE	14	45	1035	512	37042	1,414	10
5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	162	756	198	9619	7,000	11	3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	146	200	1080	226	5902	0,333	11
2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	167	194	523	275	3856	8,000	12	9556	Bloco_3	SAUDE	21	22	1354	358	16164	1,282	12
6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	123	519	293	6601	2,000	13	6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	123	519	293	6601	0,500	13
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	125	179	1185	299	2403	15,000	14	3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	106	154	885	299	9219	0,167	14
3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	106	154	885	299	9219	6,000	15	5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	162	756	198	9619	0,143	15
1429	Bloco_3	SAUDE	14	45	1035	512	37042	0,707	16	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	158	145	1268	278	7755	0,071	16
8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	183	183	1390	184	4584	24,000	17	8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	183	183	1390	184	4584	0,042	17
4309	Bloco_3	SAUDE	10	71	941	331	51253	0,615	18	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	121	200	1418	201	9882	0,040	18
6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	89	198	1410	198	4299	17,000	19	2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	167	194	523	275	3856	0,125	19
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	179	140	601	247	5341	9,000	20	1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	68	106	1344	277	9233	0,143	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 16 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, considerando o tipo de consumidor e igualando os pesos dos demais critérios.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_3	0,2738	Bloco_3	0,3072
Bloco_2	0,2406	Bloco_4	0,2379
Bloco_4	0,1558	Bloco_9	0,2350
Bloco_9	0,1496	Bloco_2	0,0771
Bloco_6	0,0663	Bloco_10	0,0431
Bloco_10	0,0295	Bloco_11	0,0427
Bloco_11	0,0269	Bloco_6	0,0272
Bloco_7	0,0231	Bloco_7	0,0170
Bloco_5	0,0173	Bloco_8	0,0118
Bloco_8	0,0170	Bloco_5	0,0011

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 8

Se todos os pesos dos critérios forem igualados e aumentarmos apenas o peso consumidor do tipo residencial, obtém-se os resultados apresentados nas Figuras 17 e 18. Nesta simulação é possível observar claramente o peso do tipo de consumidor nos resultados

da classificação - todas as primeiras posições e a classificação dos blocos favorecem os consumidores residenciais.

Figura 17 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso do consumidor residencial em relação aos demais.

SMART										AHP									
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING AHP
4054	Bloco_3	RESIDENCIAL	30	191	149	0	0	0,000	1	4054	Bloco_3	RESIDENCIAL	30	191	149	0	0	0,000	1
8253	Bloco_2	RESIDENCIAL	36	170	154	0	0	0,000	2	8253	Bloco_2	RESIDENCIAL	36	170	154	0	0	0,000	2
2011	Bloco_2	RESIDENCIAL	34	147	166	0	0	0,000	3	2011	Bloco_2	RESIDENCIAL	34	147	166	0	0	0,000	3
8950	Bloco_2	RESIDENCIAL	68	188	107	0	0	0,000	4	8950	Bloco_2	RESIDENCIAL	68	188	107	0	0	0,000	4
5254	Bloco_5	RESIDENCIAL	29	152	143	0	0	0,000	5	5254	Bloco_5	RESIDENCIAL	29	152	143	0	0	0,000	5
3842	Bloco_2	RESIDENCIAL	38	73	199	0	0	0,000	6	7615	Bloco_2	RESIDENCIAL	67	126	129	0	0	0,000	6
4607	Bloco_5	RESIDENCIAL	30	85	185	0	0	0,000	7	3842	Bloco_2	RESIDENCIAL	38	73	199	0	0	0,000	7
9494	Bloco_2	RESIDENCIAL	38	173	88	0	0	0,000	8	4607	Bloco_5	RESIDENCIAL	30	85	185	0	0	0,000	8
7615	Bloco_2	RESIDENCIAL	67	126	129	0	0	0,000	9	9494	Bloco_2	RESIDENCIAL	38	173	88	0	0	0,000	9
7804	Bloco_2	RESIDENCIAL	39	126	132	0	0	0,000	10	7804	Bloco_2	RESIDENCIAL	39	126	132	0	0	0,000	10
5304	Bloco_2	RESIDENCIAL	51	198	51	0	0	0,000	11	5304	Bloco_2	RESIDENCIAL	51	198	51	0	0	0,000	11
3973	Bloco_2	RESIDENCIAL	47	195	51	0	0	0,000	12	3973	Bloco_2	RESIDENCIAL	47	195	51	0	0	0,000	12
9069	Bloco_2	RESIDENCIAL	32	168	79	0	0	0,000	13	9069	Bloco_2	RESIDENCIAL	32	168	79	0	0	0,000	13
9461	Bloco_2	RESIDENCIAL	33	148	97	0	0	0,000	14	9461	Bloco_2	RESIDENCIAL	33	148	97	0	0	0,000	14
1137	Bloco_2	RESIDENCIAL	45	98	142	0	0	0,000	15	1137	Bloco_2	RESIDENCIAL	45	98	142	0	0	0,000	15
4280	Bloco_2	RESIDENCIAL	60	62	173	0	0	0,000	16	4280	Bloco_2	RESIDENCIAL	60	62	173	0	0	0,000	16
5977	Bloco_5	RESIDENCIAL	52	48	187	0	0	0,000	17	2217	Bloco_2	RESIDENCIAL	58	140	85	0	0	0,000	17
9496	Bloco_2	RESIDENCIAL	25	39	196	0	0	0,000	18	5977	Bloco_5	RESIDENCIAL	52	48	187	0	0	0,000	18
9527	Bloco_2	RESIDENCIAL	57	72	154	0	0	0,000	19	9527	Bloco_2	RESIDENCIAL	57	72	154	0	0	0,000	19
2217	Bloco_2	RESIDENCIAL	58	140	85	0	0	0,000	20	9496	Bloco_2	RESIDENCIAL	25	39	196	0	0	0,000	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso do consumidor residencial em relação aos demais.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,5470	Bloco_2	0,6190
Bloco_3	0,1731	Bloco_3	0,1525
Bloco_5	0,0701	Bloco_5	0,0827
Bloco_4	0,0686	Bloco_4	0,0477
Bloco_9	0,0659	Bloco_9	0,0461
Bloco_6	0,0322	Bloco_6	0,0219
Bloco_10	0,0130	Bloco_10	0,0086
Bloco_11	0,0119	Bloco_11	0,0084
Bloco_7	0,0106	Bloco_7	0,0076
Bloco_8	0,0078	Bloco_8	0,0054

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 9

Se todos os pesos dos critérios forem igualados e aumentarmos apenas o peso do horário de funcionamento, obtém-se os resultados apresentados nas Figuras 19 e 20, onde os estabelecimentos com funcionamento 24 horas são favorecidos na classificação de prioridades.

Figura 19 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso do horário de funcionamento em relação aos demais.

SMART											AHP													
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	TR	CI	PIT	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	HORARIO INICIO	HORARIO FIM	TR	CI	PIT	RANKING AHP	
8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	349	52162	0,622	1	2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	417	62115	101,568	1	
3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	509	45283	0,584	2	5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	339	63734	19,359	2	
2369	Bloco_3	SAUDE	846	138	16	00:00:00	23:59:59	417	62115	0,010	3	8232	Bloco_3	SAUDE	1340	102	103	00:00:00	23:59:59	349	52162	1,606	3	
5349	Bloco_3	SAUDE	533	140	13	00:00:00	23:59:59	339	63734	0,052	4	3628	Bloco_3	SAUDE	1262	88	60	00:00:00	23:59:59	509	45283	1,711	4	
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	278	7755	14,000	5	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	00:00:00	23:59:59	278	7755	0,071	5	
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	299	2403	15,000	6	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	201	9882	0,040	6	
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	247	5341	9,000	7	1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	277	9233	0,143	7	
1529	Bloco_11	INDUSTRIAL	1344	68	106	00:00:00	23:59:59	277	9233	7,000	8	8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	00:00:00	23:59:59	299	2403	0,067	8	
3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	00:00:00	23:59:59	201	9882	25,000	9	9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	00:00:00	23:59:59	247	5341	0,111	9	
9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	220	9257	20,000	10	9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	797	199	139	00:00:00	23:59:59	220	9257	0,050	10	
2578	Bloco_9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	243	5254	10,000	11	4689	Bloco_9	INDUSTRIAL	1329	124	30	00:00:00	23:59:59	267	6245	0,143	11	
4689	Bloco_9	INDUSTRIAL	1329	124	30	00:00:00	23:59:59	267	6245	7,000	12	2578	Bloco_9	INDUSTRIAL	1381	154	26	00:00:00	23:59:59	243	5254	0,100	12	
1314	Bloco_9	INDUSTRIAL	1011	66	111	00:00:00	23:59:59	218	3956	7,000	13	1314	Bloco_9	INDUSTRIAL	1011	66	111	00:00:00	23:59:59	218	3956	0,143	13	
2791	Bloco_9	INDUSTRIAL	850	138	47	00:00:00	23:59:59	281	9367	17,000	14	2791	Bloco_9	INDUSTRIAL	850	138	47	00:00:00	23:59:59	281	9367	0,059	14	
6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	759	155	71	00:00:00	23:59:59	230	1649	17,000	15	6221	Bloco_9	INDUSTRIAL	759	155	71	00:00:00	23:59:59	230	1649	0,059	15	
9891	Bloco_9	INDUSTRIAL	489	83	70	00:00:00	23:59:59	287	5526	14,000	16	1297	Bloco_9	INDUSTRIAL	794	136	38	00:00:00	23:59:59	229	3276	0,043	16	
1297	Bloco_9	INDUSTRIAL	794	136	38	00:00:00	23:59:59	229	3276	23,000	17	9891	Bloco_9	INDUSTRIAL	489	83	70	00:00:00	23:59:59	287	5526	0,071	17	
8954	Bloco_3	SAUDE	991	42	164	09:00:00	18:00:00	600	85327	0,323	18	4054	Bloco_3	RESIDENCIAL	30	191	149	0	0	0	0	0	0,038	18
7669	Bloco_3	SAUDE	987	142	84	09:00:00	18:00:00	534	44963	0,602	19	8253	Bloco_2	RESIDENCIAL	36	170	154	0	0	0	0	0	0,038	19
3124	Bloco_3	SAUDE	637	114	128	09:00:00	18:00:00	584	41267	0,099	20	2011	Bloco_2	RESIDENCIAL	34	147	166	0	0	0	0	0	0,038	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso do horário de funcionamento em relação aos demais.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_9	0,5789	Bloco_2	0,5007
Bloco_3	0,2361	Bloco_3	0,1670
Bloco_10	0,0545	Bloco_9	0,1668
Bloco_11	0,0540	Bloco_5	0,0674
Bloco_2	0,0461	Bloco_4	0,0361
Bloco_4	0,0172	Bloco_10	0,0185
Bloco_5	0,0054	Bloco_11	0,0183
Bloco_6	0,0053	Bloco_6	0,0158
Bloco_7	0,0014	Bloco_7	0,0055
Bloco_8	0,0012	Bloco_8	0,0039

Fonte: Elaborado pela autora.

### Condição 10

Se todos os pesos dos critérios forem igualados e aumentarmos apenas o peso dos indicadores de *DIC* e *FIC*, obtém-se os resultados apresentados nas Figuras 21 e 22, com uma mistura de consumidores da área da saúde, industriais, comerciais e de serviço público, trazendo como prioridade aqueles historicamente mais afetados por faltas de energia na rede em questão.

#### 4.2 Simulações com a rede de 1946 barras

Na avaliação da rede de 1946 barras, foram aplicados os métodos aprimorados SMART e AHP às mesmas bases de dados explicitadas na Metodologia. Trata-se de

Figura 21 – 20 primeiras posições prioritárias de consumidores com o método SMART à esquerda e AHP à direita aumentando o peso para *DIC* e *FIC* em relação aos demais.

SMART										AHP									
CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING SMART	CONSUMIDOR ID	BLOCO	CONSUMIDOR TIPO	DIC	FIC	CONSUMO	TR	CI	PIT	RANKING AHP
8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	1390	183	183	184	4584	24,000	1	3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	146	200	1080	226	5902	0,333	1
2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	523	167	194	275	3856	8,000	2	8474	Bloco_4	INDUSTRIAL	183	183	1390	184	4584	0,042	2
3694	Bloco_4	INDUSTRIAL	1080	146	200	226	5902	3,000	3	2625	Bloco_4	INDUSTRIAL	167	194	523	275	3856	0,125	3
7730	Bloco_6	COMERCIAL	360	162	184	0	0	26,000	4	5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	162	756	198	9619	0,143	4
2039	Bloco_2	ERVICO PUBLICO	184	150	192	0	0	26,000	5	3124	Bloco_3	SAUDE	114	128	637	584	41267	10,113	5
5636	Bloco_4	INDUSTRIAL	756	176	162	198	9619	7,000	6	9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	199	139	797	220	9257	0,050	6
9329	Bloco_9	INDUSTRIAL	797	199	139	220	9257	20,000	7	6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	176	123	519	293	6601	0,500	7
4054	Bloco_3	RESIDENCIAL	30	191	149	0	0	26,000	8	3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	121	200	1418	201	9882	0,040	8
3424	Bloco_3	COMERCIAL	420	157	179	0	0	26,000	9	9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	179	140	601	247	5341	0,111	9
3708	Bloco_9	INDUSTRIAL	1418	121	200	201	9882	25,000	10	8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	158	145	1268	278	7755	0,071	10
9500	Bloco_10	INDUSTRIAL	601	179	140	247	5341	9,000	11	7669	Bloco_3	SAUDE	142	84	987	534	44963	1,661	11
8253	Bloco_2	RESIDENCIAL	36	170	154	0	0	26,000	12	8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	125	179	1185	299	2403	0,067	12
2415	Bloco_2	COMERCIAL	310	118	194	0	0	26,000	13	8954	Bloco_3	SAUDE	42	164	991	600	85327	3,101	13
2011	Bloco_2	RESIDENCIAL	34	147	166	0	0	26,000	14	8232	Bloco_3	SAUDE	102	103	1340	349	52162	1,606	14
8832	Bloco_9	INDUSTRIAL	1185	125	179	299	2403	15,000	15	6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	89	198	1410	198	4299	0,059	15
8601	Bloco_9	INDUSTRIAL	1268	158	145	278	7755	14,000	16	2369	Bloco_3	SAUDE	138	16	846	417	62115	101,568	16
6473	Bloco_4	INDUSTRIAL	519	176	123	293	6601	2,000	17	3483	Bloco_4	INDUSTRIAL	106	154	885	299	9219	0,167	17
8950	Bloco_2	RESIDENCIAL	68	188	107	0	0	26,000	18	7730	Bloco_6	COMERCIAL	162	184	360	0	0	0,038	18
5254	Bloco_5	RESIDENCIAL	29	152	143	0	0	26,000	19	3424	Bloco_3	COMERCIAL	157	179	420	0	0	0,038	19
6947	Bloco_10	INDUSTRIAL	1410	89	198	198	4299	17,000	20	2039	Bloco_2	ERVICO PUBLICO	150	192	184	0	0	0,038	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 22 – Classificação dos blocos com o método SMART à esquerda e AHP à direita, aumentando o peso para *DIC* e *FIC* em relação aos demais.

SMART		AHP	
BLOCO	PESO	BLOCO	PESO
Bloco_2	0,4203	Bloco_2	0,3879
Bloco_3	0,1688	Bloco_3	0,2120
Bloco_4	0,1211	Bloco_4	0,1133
Bloco_9	0,1074	Bloco_9	0,1078
Bloco_6	0,0671	Bloco_6	0,0642
Bloco_5	0,0461	Bloco_5	0,0397
Bloco_10	0,0259	Bloco_10	0,0218
Bloco_7	0,0178	Bloco_7	0,0212
Bloco_8	0,0149	Bloco_11	0,0166
Bloco_11	0,0105	Bloco_8	0,0154

Fonte: Elaborado pela autora.

um rede extensa o que tornaria a análise manual em períodos de contingência inviável. Inicialmente, consideraram-se apenas parâmetros disponíveis para as concessionárias, como tipo de consumidor, consumo, *DIC* e *FIC*. Posteriormente, foram adicionados parâmetros que poderiam ser coletados junto com os consumidores, incluindo horário de funcionamento, *PIT*, *TER* e *CIP*, abrangendo três momentos do dia (manhã, tarde e noite) para avaliar o impacto da informação de horário de funcionamento.

Todos os consumidores foram considerados simultaneamente no processamento de prioridades, a fim de verificar a capacidade de processamento dos algoritmos em situações extremas de contingência. A comparação do desempenho de cada método nos cenários avaliados está resumida na Tabela 6. Ambos os algoritmos demonstraram um bom tempo de resposta em ambos os cenários.

Tabela 6 – Tempo de processamento, em segundos, verificado para cada método em cada cenário avaliado

	Com informações disponíveis para a concessionária	Com informações adicionais
AHP	7,34	16,85
SMART	0,62	0,64

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se que o método SMART apresentou um tempo de processamento onze vezes menor que o AHP no cenário com apenas informações disponíveis para a concessionária, e 26 vezes menor no cenário com informações adicionais. Isso evidencia a menor complexidade de cálculo envolvida nesse método. Além disso, ao acrescentar informações adicionais, o método SMART teve um aumento de tempo de processamento de apenas 3%, enquanto para o AHP esse aumento foi de 130%.

É importante salientar que, embora o tempo de processamento seja uma variável crucial na avaliação dos métodos, a escolha final depende também da aplicação na qual serão utilizados. Aplicações mais sensíveis ao tempo, como operações emergenciais em situações de contingência ou serviços de autorrecuperação, podem preferir métodos com menor tempo de processamento. No entanto, mesmo nessas situações, a classificação dos consumidores pode ser realizada previamente para ser acessada já calculada no momento necessário. A classificação pode ser recalculada semanalmente ou em intervalos maiores, dependendo das características das cargas da região. Mesmo considerando as informações adicionais que poderiam ser fornecidas pelos consumidores da I4.0, o perfil e as características desses consumidores, mesmo que dinâmicas, não passariam por alterações brutas em um curto espaço de tempo. De maneira geral, a análise dos clientes críticos antes de um evento permite entender as fragilidades do sistema. Além disso, contribui para o planejamento e a execução de operações durante o evento, avaliação do desempenho do sistema após o evento e apoio a um planejamento mais eficiente para eventos futuros (CHALISHAZAR *et al.*, 2021).

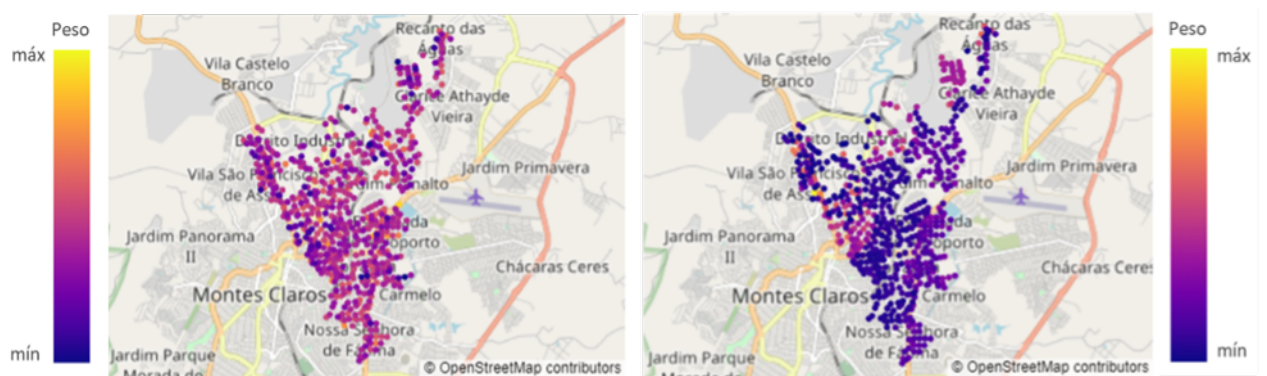
Portanto, ao escolher um método de priorização de consumidores para o setor de distribuição de energia, é essencial avaliar cuidadosamente as necessidades e os requisitos específicos de cada situação. Isso garantirá a seleção do método mais adequado para alcançar os objetivos desejados, seja otimizando o tempo de resposta em situações críticas ou garantindo uma classificação precisa e detalhada dos consumidores.

#### 4.2.1 Considerando apenas atributos disponíveis nas bases de dados da distribuidora

Com os dados conhecidos pela distribuidora, é possível obter uma categorização dos consumidores focada na redução do impacto nos indicadores de continuidade e na redução de multas para a concessionária, além de ser possível refinar a classificação levando em conta o tipo de consumidor e seu perfil de consumo, valorizando àqueles que fornecem serviços essenciais, como hospitais, e indústrias e comércios estratégicos para a região.

Nesta primeira etapa é possível perceber que ambos os métodos priorizam o atendimento a comércios em detrimento de consumidores industriais, como mostram as Figuras 23 e 24, baseando-se nos indicadores de qualidade do serviço, mesmo com a atribuição de pesos por tipo de consumidor. Ainda, essa classificação ocorre independentemente do horário de funcionamento. Assim, mesmo num caso de despacho emergencial fora do horário comercial, os consumidores comerciais seriam favorecidos.

Figura 23 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores com os métodos SMART (esquerda) e AHP (direita).



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2.2 Considerando também atributos que podem ser fornecidos pelo consumidor

Nesta segunda etapa das simulações foram incluídos como critérios: horário de início e fim de funcionamento dos estabelecimentos (quando aplicável), *PIT* para indústrias e hospitais, *TR* e *CI* para indústrias. As simulações foram feitas em três períodos diferentes a fim de se observar a influência dos horários nos resultados dos algoritmos. As Figuras 25, 27 e 29 mostram a Visualização gráfica da classificação de priorização dos consumidores para cada método considerando a necessidade atendimento às 08 horas, 17 horas e às 22 horas, respectivamente. As Figuras 26, 28 e 30 mostram os 15 primeiros consumidores

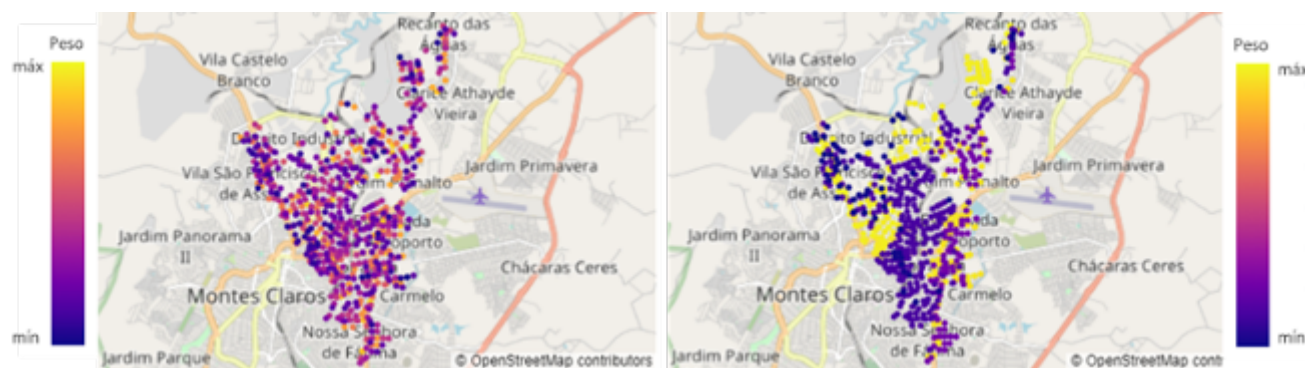
Figura 24 – Top 10 da classificação dos consumidores com os métodos SMART (esquerda) e AHP (direita).

AL_ID	CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	POSIÇÃO	AL_ID	CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	POSIÇÃO
376	5240	COMÉRCIO	1	376	5240	COMÉRCIO	1
1499	5523	COMÉRCIO	2	1499	5523	COMÉRCIO	2
1745	5753	SAÚDE	3	1745	5753	SAÚDE	3
1502	5526	SAÚDE	4	1502	5526	SAÚDE	4
1609	5624	SAÚDE	5	1486	5510	COMÉRCIO	5
1700	5708	INDÚSTRIA	6	367	5231	COMÉRCIO	6
725	5388	COMÉRCIO	7	379	5242	INDÚSTRIA	7
1551	5570	SAÚDE	8	1694	5702	SAÚDE	8
811	5468	SAÚDE	9	370	5234	RESIDÊNCIA	9
419	5279	SAÚDE	10	1700	5708	INDÚSTRIA	10

Fonte: Elaborado pela autora.

priorizados utilizando cada um dos métodos, considerando a necessidade de despacho às 08 horas, 17 horas e às 22 horas, respectivamente.

Figura 25 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 08:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita



Fonte: Elaborado pela autora.

Com a aquisição de informações adicionais, consumidores industriais e do setor de saúde são os principais focos da priorização. A informação de horário permite ainda uma avaliação dinâmica desses consumidores. É possível observar nos resultados que não foram considerados na priorização consumidores que estavam fora do horário de funcionamento durante o horário da simulação. Os dados adicionais trouxeram ainda um maior peso para os consumidores industriais, baseado na sua sensibilidade à ocorrências de falta de energia expressa pelos indicadores *PIT*, *CIP* e *TER*.

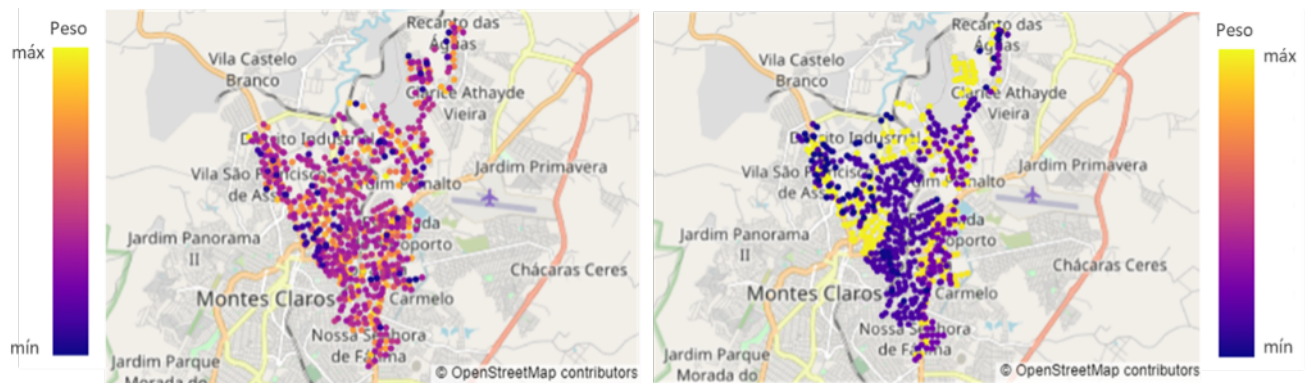
Figura 26 – Top 15 da classificação dos consumidores às 08:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita

CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO
5456	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	1
5308	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	2
5226	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	3
5250	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	4
5614	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	5
5708	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	6
5666	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	7
5192	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	8
5228	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	9
5572	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	10
5315	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	11
5568	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	12
5376	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	13
5318	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	14
5448	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	15

CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO
5456	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	1
5376	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	2
5614	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	3
5708	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	4
5612	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	5
5529	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	6
5226	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	7
5450	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	8
5448	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	9
5632	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	10
5315	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	11
5191	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	12
5308	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	13
5611	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	14
5243	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	15

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 17:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita



Fonte: Elaborado pela autora.

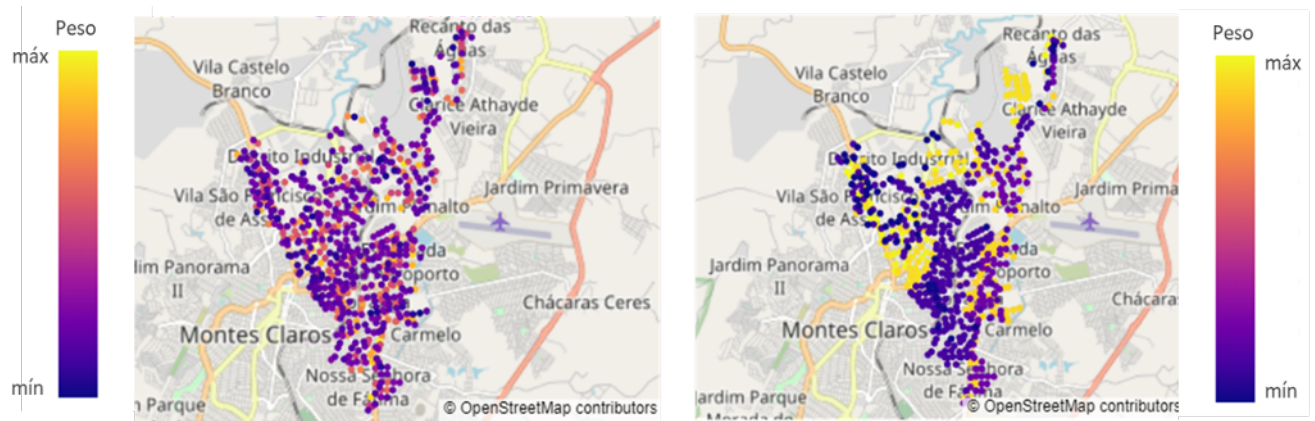
Figura 28 – Top 15 da classificação dos consumidores às 17:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita

CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO
5456	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	1
5308	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	2
5635	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	3
5611	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	4
5191	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	5
5226	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	6
5250	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	7
5614	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	8
5529	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	9
5708	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	10
5666	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	11
5615	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	12
5192	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	13
5228	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	14
5572	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	15

CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO
5456	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	1
5529	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	2
5191	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	3
5376	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	4
5611	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	5
5614	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	6
5708	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	7
5612	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	8
5453	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	9
5635	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	10
5226	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	11
5163	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	12
5450	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	13
5455	INDÚSTRIA	09:00:00	18:00:00	14
5448	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	15

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 29 – Visualização gráfica da classificação dos consumidores às 22:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30 – Top 15 da classificação dos consumidores às 22:00:00 horas com o método SMART, à esquerda, e com o método AHP, à direita

CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO	CONSUMIDOR_ID	CONSUMIDOR_TIPO	HORARIO_INICIO	HORARIO_FIM	POSICÃO
5666	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	1	5315	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	1
5192	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	2	5243	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	2
5315	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	3	5242	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	3
5461	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	4	5309	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	4
5469	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	5	5192	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	5
5465	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	6	5380	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	6
5314	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	7	5666	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	7
5244	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	8	5461	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	8
5242	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	9	5314	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	9
5462	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	10	5244	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	10
5309	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	11	5316	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	11
5243	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	12	5246	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	12
5456	INDÚSTRIA	08:00:00	17:00:00	13	5386	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	13
5382	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	14	5469	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	14
5386	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	15	5561	INDÚSTRIA	00:00:00	23:59:59	15

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5 Conclusões

O conhecimento dos consumidores prioritários, que precisam ser restaurados no menor tempo possível durante uma contingência, permite direcionar ações e recursos durante o planejamento de operação de forma mais adequada, atendendo as necessidades particulares dos consumidores. Nesse sentido, os métodos de priorização aprimorados permitiram estabelecer uma avaliação mais profunda da prioridade de cada consumidor, observando não apenas critérios de impacto para a concessionária, mas que permitem também avaliar estratégias de atendimento aos consumidores que destaquem e valorizem clientes críticos ou de peso estratégico, a depender do plano de desenvolvimento da distribuidora.

Os dois métodos estudados, SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) e AHP (*Analytic Hierarchy Process*), se mostraram adequados no cálculo dos índices de prioridade, tendo desempenhos aproximadamente equivalentes num cenário de poucos clientes afetados. Tanto o AHP quanto o SMART são métodos de tomada de decisão multicritério, mas diferem em suas abordagens e processos.

O AHP é uma abordagem baseada em hierarquia, onde os critérios são estruturados em uma hierarquia de níveis, que vai desde os objetivos gerais até os critérios mais específicos. Os decisores atribuem pesos para cada critério e, em seguida, comparam as alternativas em pares, utilizando uma escala de comparação. Essas comparações são então agregadas e sintetizadas para calcular a pontuação final de cada alternativa, levando em consideração a importância relativa de cada critério.

Já o SMART é uma abordagem baseada em atributos, onde os critérios são avaliados em uma escala única de importância. Os decisores atribuem uma pontuação para cada alternativa em relação a cada critério, sem a necessidade de comparações em pares. As pontuações são então agregadas e ponderadas para calcular uma pontuação geral para cada alternativa.

Portanto, as principais diferenças entre o AHP e o SMART estão na forma como os critérios são estruturados e avaliados, bem como na abordagem geral de comparação e avaliação das alternativas. Enquanto o AHP utiliza uma abordagem hierárquica e comparações em pares para determinar pesos e pontuações, o SMART adota uma abordagem mais direta e simplificada, avaliando os critérios em uma escala única de importância e

atribuindo pontuações diretamente às alternativas. Essa diferença de abordagem afeta o nível de detalhamento de cada método e, como consequência, seu tempo de processamento.

Ao se aumentar o número de clientes e a massa de dados analisada, simulando um evento de contingência, o método SMART apresentou um tempo de processamento menor, visto que os cálculos do método AHP, ao se tratar de comparações hierárquicas, tornam-se mais complexos com um número maior de consumidores a serem avaliados. Apesar do custo em processamento, o método *AHP* consegue um nível de detalhamento maior na priorização e traz índices mais bem definidos ao incluir a comparação de pares. Essa diferença fica clara também na comparação gráfica, onde é possível visualmente observar distinções claras entre os pesos finais por consumidor calculado através do método AHP, enquanto no método SMART essa variação se torna um pouco mais sutil.

Embora métodos com menor tempo de processamento possam ser preferidos em situações de emergência, é crucial realizar uma análise cuidadosa das necessidades individuais de cada situação na qual será aplicado. Isso permite a seleção do método mais adequado para atingir os objetivos desejados, seja priorizando uma resposta rápida em momentos críticos ou garantindo uma classificação precisa dos consumidores. Além disso, a classificação pode ser realizada previamente para ser acessada já calculada no momento necessário. A classificação pode ser recalculada semanalmente ou em intervalos maiores, dependendo das características das cargas da região. Mesmo considerando as informações adicionais que poderiam ser fornecidas pelos consumidores da I4.0, o perfil e as características desses consumidores, mesmo que dinâmicas, não passariam por alterações bruscas em um curto espaço de tempo.

É importante destacar que o índice de prioridade poderá mudar em função dos dados informados pelo consumidor, ou seja, o *PIT* pode ser menor (mais sensível à perturbação) em alguns meses do ano e maior em outros (menos sensível a perturbações). O *CIP*, por sua vez, pode mudar (aumentar ou diminuir) em função de contratos a serem honrados em alguns períodos do ano. Os métodos apresentados constituem então modelos matemáticos que permitem avaliar, de forma dinâmica, o índice de prioridade de cada consumidor levando em consideração a características dos seus próprios processos produtivos.

Espera-se com este trabalho contribuir com uma metodologia que possa ajudar aos consumidores e as concessionárias de energia a evitar impactos negativos técnicos e econômicos durante a aplicação conjunta das tecnologias I4.0 e REI em condições de

contingência, contribuindo com o aumento da confiabilidade do sistema de distribuição de energia.

### 5.1 *Trabalhos Futuros*

Os parâmetros *PIT*, *TER* e *CIP* podem ser tratados em trabalhos futuros por meio de métodos que permitam aos consumidores informar diretamente às empresas concessionárias de energia, utilizando tecnologias da I4.0 como sistemas ciber-físicos, computação em nuvem e sistemas de segurança digital, isto com o intuito de avaliar e contribuir na seleção de melhores alternativas na tomada de decisão. Pode-se ainda utilizar tecnologias de *blockchain* para garantir a segurança e a integridade dos dados fornecidos pelos consumidores, bem como para assegurar a transparência e rastreabilidade das decisões de priorização.

Também em trabalhos futuros, os critérios das simulações podem ser refinados por meio de pesquisas com empresas do setor de distribuição de energia, incorporando a percepção das prioridades utilizadas pelos agentes do setor. Os parâmetros utilizados na priorização podem ainda levar em consideração não apenas dados históricos, mas também a construção de modelos preditivos que utilizem dados históricos e em tempo real. Isso permitirá prever necessidades de consumo e priorizar unidades consumidoras de forma dinâmica e adaptativa. Além disso, modelos que considerem o risco associado a falhas de fornecimento de energia para diferentes tipos de unidades consumidoras podem ser desenvolvidos.

Pode-se ainda explorar a aplicação de métodos de priorização multicriterial em outros campos de atuação, como na decisão de priorização de obras de melhoria da rede, bem como a integração do índice de prioridade proposto em sistemas de autorrecuperação que possam automaticamente reconfigurar a rede de energia em resposta a falhas ou eventos imprevistos.

A inclusão dessas novas abordagens e tecnologias pode não apenas melhorar a eficácia da priorização de unidades consumidoras em redes de energia, mas também contribuir para a construção de um sistema energético mais resiliente, sustentável e responsivo às necessidades dos consumidores.

## 6 Artigos Publicados

- AMASIFEN, J. C. C.; GIACOMINI JUNIOR, J.; CARNEIRO, C. A.; SILVA, G. B.; MORALES-PAREDES, H. K. A novel methodology to estimate probability density function of voltage sag duration and failure rates on power distribution systems. **IEEE Access**, [Piscataway], v. 11, p. 16863-16874, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3243552. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10040645>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- CARNEIRO, C. A.; SILVA, G. B.; GIACOMINI JUNIOR, J.; AMASIFEN, J. C. C.; MORALES-PAREDES, H. K. Impact of distributed energy resources on fault location, isolation, and service restoration. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROBABILISTIC METHODS APPLIED TO POWER SYSTEMS, 17., 2022, Manchester. **Proceedings**[...]. [Piscataway]: IEEE, 2022. DOI: 10.1109/PMAPS53380.2022.9810565. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9810565>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- SILVA, G. B.; MORALES-PAREDES, H. K.; AMASIFEN, J. C. C. Aplicação de algoritmo de clusterização para priorização de equipamentos na manutenção de redes de distribuição. *In*: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 14., 2021, [s. l.]. **Anais eletrônicos** [...]. Campinas: Galoá, 2021. DOI: 10.17648/cbqee-2021-130584. Disponível em: <https://proceedings.science/cbqee/cbqee-2021/trabalhos/aplicacao-de-algoritmo-de-clusterizacao-para-priorizacao-de-equipamentos-na-manu?lang=pt-br>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- SILVA, G. B.; MORALES-PAREDES, H. K.; AMASIFEN, J. C. C. Estudo e aprimoramento de índice de prioridade para consumidores em redes de distribuição de energia elétrica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 24., 2022, Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...]. [Campinas]: Sociedade Brasileira de Automática, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20906/CBA2022/3454>. Disponível em: [https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/cba/article/view/3454](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/3454). Acesso em: 10 mar. 2024.

## REFERÊNCIAS

- ALMUHAINI, M.; ILIUS, P.; ALOWAIFEER, M. Intelligent load prioritization sequence for distribution system reconfiguration. In: *2022 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (TD)*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–5. Citado na página 31.
- ALVAREZ, P. A.; ISHIZAKA, A.; MARTÍNEZ, L. Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey. *Expert Systems with Applications*, v. 183, p. 115368, 2021. ISSN 0957-4174. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417421007958>. Citado na página 23.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: PRODIST. Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica*. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>. Citado na página 14.
- BARBOSA, D. F. Aplicação da otimização por colônia de formigas ao problema de múltiplos caixeros viajantes no atendimento emergencial em uma empresa de distribuição de energia elétrica. *Dissertação de Mestrado*, Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná., 2015. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- BARIK, T. K.; CENTENO, V. A. Dynamic prioritization of critical loads for sustaining power distribution systems upon islanding. In: *2020 IEEE Power Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 31.
- BAUMANN, P.; MIRANDA, T.; ROMERO, F.; NETO, J. C.; ANTUNES, A.; TAKAHATA, D.; NETO, L.; ALVES, ; AZEVEDO, L.; VALINHO, S. Técnicas avançadas e protótipo de sistema para inovação da gestão e execução de serviços de campo de uma distribuidora de energia elétrica. In: . [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 30.
- BEZERRA, E. C. C. S. e. F. J. C. A. I. V. Redes inteligentes no contexto da indústria 4.0. IX Simpósio de engenharia de Produção da Região Nordeste, 2018. Citado na página 15.
- CÂNDIDO, G. V. Otimização multicritério para roteirização de serviços de uma distribuidora de energia elétrica. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- CARMO, P. F. B. D. *Modelos e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério-aplicações em avaliação de imóveis*. [S.l.]: XIX COBREAP, Foz do Iguaçu, 2017. Citado na página 28.
- CHALISHAZAR, V. H.; POUDEL, S.; HANIF, S.; MANA, P. T. Power system resilience metrics augmentation for critical load prioritization. *Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States)*, 2021. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/1764623>. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 56.
- COSTA, R. dos S.; PEREIRA, P. R. da S.; MADRUGA, E. P.; ARANDA, J. A. S.; BARBOSA, J. L. V. A hybrid model for investment prioritization and performance analysis in electrical power distribution systems. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, Springer, v. 34, n. 2, p. 420–428, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 32.

DEINA, C.; TROJAN, F.; SIQUEIRA, H. Aplicação do método electre i para seleção de variáveis que influenciam a demanda de energia. Galoá, 2020. Citado na página 25.

DESUÓ M. BESSANI, R. F. T. G. C. D. M. L. A multi-objective swarm intelligence approach for field crews patrol optimization in power distribution systems restoration. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, p. 338–346, 2019. Citado na página 29.

FALCÃO, D. M. *Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid*. 2010. Disponível em: [http://www.eletrica.ufpr.br/odilon/te339/artigo\\_SMART\\_GRID.PDF](http://www.eletrica.ufpr.br/odilon/te339/artigo_SMART_GRID.PDF). Citado na página 15.

FONTE, M. I. S. da; ALENCAR, M. H.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo multicritério para alocação de recursos em uma planta de energia elétrica: uma abordagem baseada na problemática de portfólio. 2017. Citado na página 28.

GARCIA, V. J. Problema de roteamento de veículos para atendimento de ordens emergenciais em concessionária de distribuição de energia elétrica. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 1222–1231, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

GOSWAMI, S. S. Outranking methods: Promethee i and promethee ii. *Foundations of Management*, v. 12, n. 1, p. 93–110, 2020. Citado na página 26.

GRAU, C. para a obtenção do. *Uma proposta de avaliação integrada do uso energético dos resíduos sólidos urbanos por meio da teoria de utilidade multiatributo (MAUT)*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Citado na página 28.

ISHAK, A.; ASFRIYATI; AKMALIAH, V. Analytical hierarchy process and promethee as decision making tool: a review. In: IOP PUBLISHING. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [S.l.], 2019. v. 505, n. 1, p. 012085. Citado na página 25.

JUNIOR, C. A.; PIRATELLI, C. L.; PACHECO, B. C. S. Métodos de apoio à decisão multicritério: uma revisão sobre aplicações em avaliação da educação multiple-criteria decision-making: a review applications in education assessment. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, p. 6129–6143, 2022. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 25 e 28.

KUNDAKCI, N. An integrated method using macbeth and edas methods for evaluating steam boiler alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Wiley Online Library, v. 26, n. 1-2, p. 27–34, 2019. Citado na página 27.

MORGAN, A. S. Otimização multicritério para roteirização de serviços de uma distribuidora de energia elétrica. *Dissertação de Mestrado Profissional em Produção*, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 103, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 35.

NOGUEIRA, C. E. R. Autorrestauração de redes de distribuição com foco na operação da distribuição - ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Citado na página 19.

RAJBHANDARI, Y.; MARAHATTA, A.; SHRESTHA, A.; GACHHADAR, A.; THAPA, A.; GONZALEZ-LONGATT, F.; GUERRERO, J. M.; KORBA, P. Load prioritization technique to guarantee the continuous electric supply for essential loads in rural microgrids. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, v. 134, p. 107398, 2022. ISSN 0142-0615. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061521006372>). Citado na página 31.

REDDY, G. H.; CHAKRAPANI, P.; GOSWAMI, A. K.; CHOUDHURY, N. B. D. Prioritization of load points in distribution system considering multiple load types using fuzzy theory. In: *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6. Citado na página 31.

SAATY, T. The analytic hierarchy process (ahp) for decision making. Kobe, Japan, p. 1–69, 1980. Citado 3 vezes nas páginas 24, 38 e 39.

SALIH, M. M.; ZAIDAN, B.; ZAIDAN, A.; AHMED, M. A. Survey on fuzzy tospis state-of-the-art between 2007 and 2017. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 104, p. 207–227, 2019. Citado na página 25.

SCHROEDER, L.; BERNARDES, V. *SP: Cerca de 500 mil clientes continuam sem luz 3 dias após chuva, diz Enel*. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sp-cerca-de-500-mil-pessoas-continuam-sem-luz-3-dias-apos-chuva-diz-enel/>. Citado na página 16.

SILVA, G. B. Application of clusterization algorithm for prioritizing equipment to maintenance in distribution networks. *XVI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica, 2021. Citado na página 21.

SILVA, M. C. N. B. R. M. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. Instituto Tecnológico de Aeronáutica., p. 1–69, 2022. Citado na página 38.

SOARES, B. N. Metodologia para priorização de investimentos em redes de distribuição de energia elétrica com focos em ganhos operacionais e financeiros. Universidade Federal de Santa Maria, 2015. Citado na página 29.

XUE, X. Y. e Y. Smart grids: A cyber–physical systems perspective. *Proceedings of the IEEE*, v. 4, n. 5, p. 1058–1070, 2016. Citado na página 19.