

Brasília - DF - Brazil

Agosto de 2024

Abordagens multiagentes para resiliência e reestabelecimento do fornecimento de energia elétrica:

Uma perspectiva logística na colaboração entre bases de atendimento durante eventos climáticos severos

James Gustavo Black Rebelato – Aluno de Mestrado Gustavo Giménez Lugo – Orientador Cesar Augusto Tacla – Co-orientador

Pesquisa alinhada com:

Projeto de P&D 02866-054/2023











[1]

Introdução MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS







Eventos climáticos severos (ECS) afetam a rede de distribuição de energia elétrica, provocando interrupções no fornecimento que impactam a população e a economia.



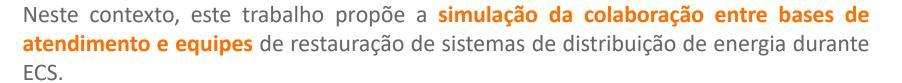
Durante os temporais, a quantidade de emergências e solicitações de atendimento aumenta **exponencialmente**, sobrecarregando as equipes de campo responsáveis pelo restabelecimento do serviço.



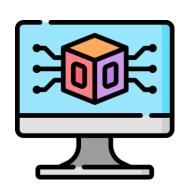


Na literatura, o tema do restabelecimento do fornecimento de energia elétrica durante ECS é abordado de maneira ampla, destacando-se a importância do **restabelecimento automático** e da colaboração entre as equipes de campo.









Através de simulações baseadas em **Multiagentes**, buscamos identificar estratégias eficazes de alocação de recursos e coordenação entre as equipes, visando otimizar o tempo de restabelecimento e minimizar os impactos sobre os consumidores.

[1]

Introdução MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS









Evento Climático Severo

Impactos na Rede de Distribuição de Energia

Serviços Emergenciais





Bases de atendimento

Conectividades entre bases de atendimento

Equipes de campo e execução das emergências





Simulações utilizando Multiagentes

Otimização da colaboração entre bases e recursos

Diminuição no tempo de reestabelecimento do sistema





















Fundamentação Teórica

Fundamentação Teórica REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA





Sobre a Copel - Companhia Paranaense de Distribuição de Energia

Atende 393 municípios e 1.115 localidades do Paraná

São mais de **5,1 milhões** de consumidores

Possui 41 agências de atendimento

Conta com cerca de 1.700 eletricistas

Com 1 centro de operação da distribuição

Executa mensalmente em média 65 mil emergências

















Fundamentação Teórica

>>>

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA



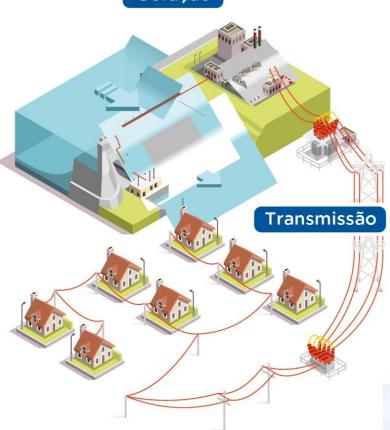








Geração



Distribuição

https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/setor-eletrico-brasileiro/



Aeroporto Internacional Afonso Pena - Paraná







Fundamentação Teórica **EVENTO CLIMÁTICO SEVERO**













Representam uma preocupação cada vez maior devido ao seu impacto significativo nas infraestruturas e na sociedade em geral.

Cada vez com mais frequência e maior intensidade.



Chuvas intensas

Raios

















Fundamentação Teórica FALTA DE ENERGIA E RISCO DE VIDA

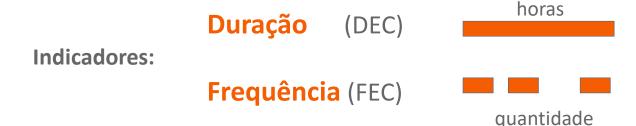




Geração de quantidade atípica de serviços emergenciais de falta de energia e risco de vida.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), monitora a qualidade do serviço de distribuição de energia:

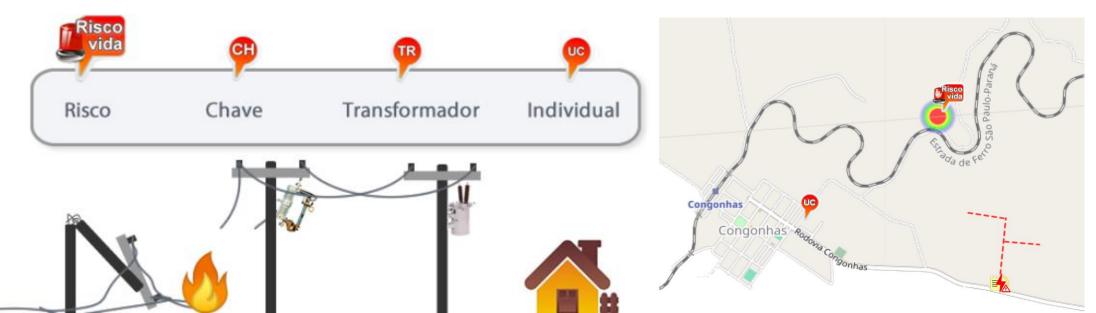




(Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)









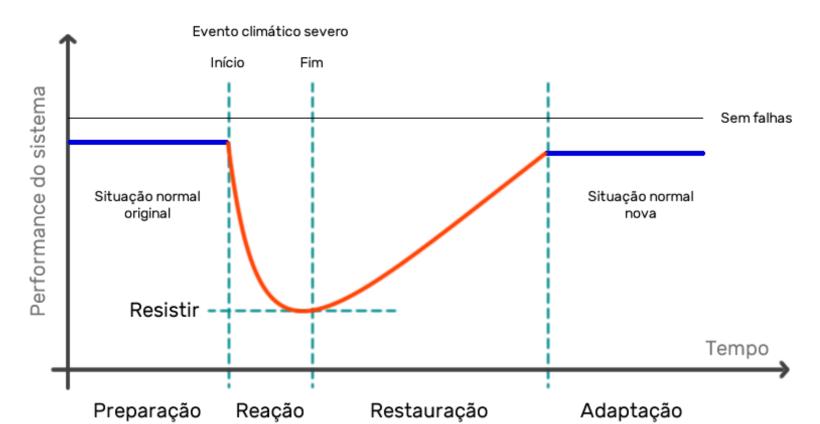
Fundamentação Teórica RESILIÊNCIA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO





"Trapézio da Resiliência"











É a capacidade do sistema de distribuição resistir, utilizando uma gama de estratégias destinadas a mitigar os impactos. Essa abordagem busca reduzir a probabilidade de falhas físicas nos elementos da rede, tornando-a mais resistente.



Fundamentação Teórica RESTABELECIMENTO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA





Restabelecer a energia após uma **interrupção** é uma operação crucial que demanda a atuação ágil e coordenada de equipes de campo compostas por eletricistas [IBRE, 2024].



Religação por atuação remota Religador automático



Necessidade de enviar equipe até o local do defeito











Fundamentação Teórica

SISTEMAS MULTIAGENTES NETLOGO





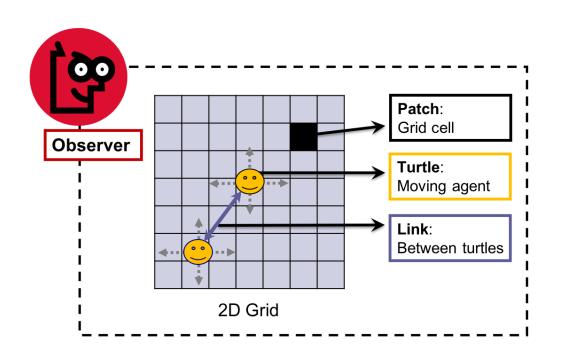
Os sistemas multiagentes têm se mostrado uma abordagem poderosa e versátil para modelar e simular **sistemas complexos onde múltiplos agentes autônomos** interagem entre si e com o ambiente, visando objetivos comuns ou individuais.













- Programação baseada em Java
 - Muitos exemplos
 - Diversos tutoriais













[3]

Metodologia desenvolvida

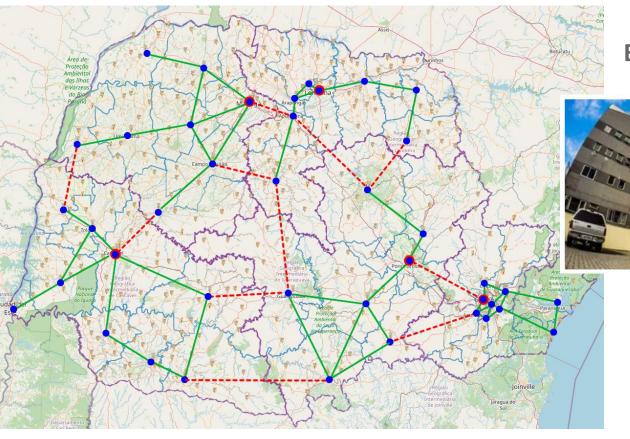
[3]

Metodologia desenvolvida

>>>







Bases de atendimento:











- Agência da Regional (+ recursos)
- Agência



Conectividade entre as bases:

Conexão de apoio por proximidade. Mesma Regional



Conexão de apoio. Regional diferente



Metodologia desenvolvida INICIALIZAÇÃO DO MODELO

Wesaac ←

Equipes de campo:







Ociosa e parada Alocada em deslocamento Atendendo demanda Apoiando outra agência Equipe adicional

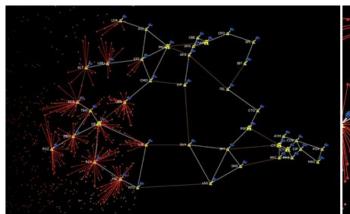


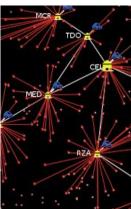


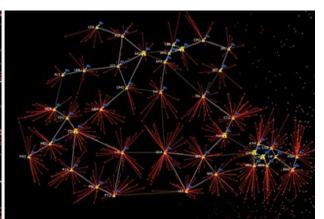




Evento climático severo convertido em Impactos (emergências):













Metodologia desenvolvida FUNÇÃO OBJETIVO

















Designação

Deslocamento

Execução



Execução das emergências:

A função objetivo fundamental dos **agentes**, que são as **equipes de campo**, é executarem todas as emergências pendentes da base de atendimento.

Após executarem todas as emergências ou finalizar o turno da equipe elas devem retornar para base de atendimento.



[3]

Metodologia desenvolvida MODELO DE SIMULAÇÃO

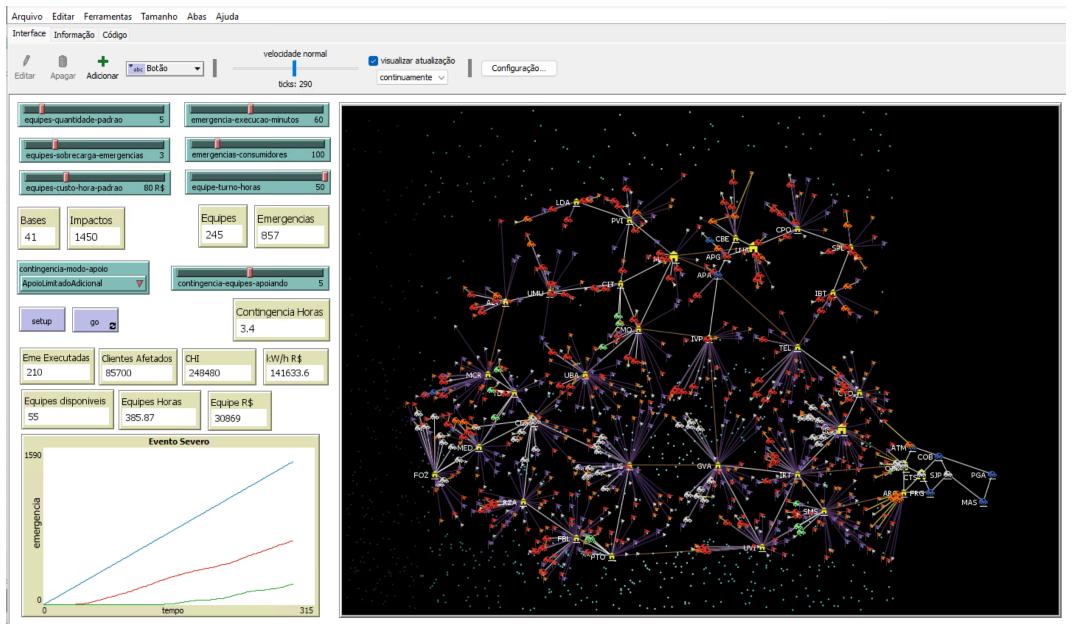








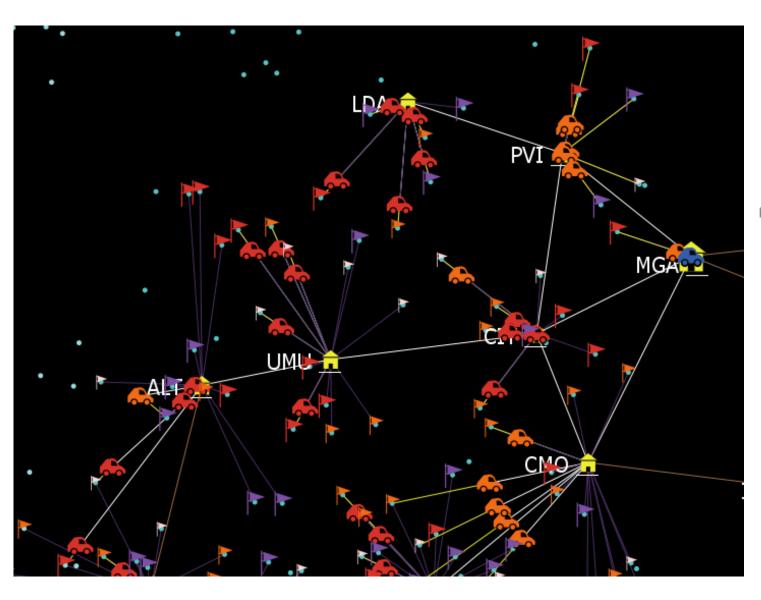






Metodologia desenvolvida MODELO DE SIMULAÇÃO





- Impacto
- Emergência
- Equipe de campo



Conexão Base X Equipe

Conexão Equipe X Emergência











Metodologia desenvolvida PARÂMETROS FIXOS



Bases de atendimento - 41



Quantidade total de equipes – **205** (5 por base de atendimento)



Total de emergências após impacto — **1.500**



Tempo médio individual de execução da emergência – 1 hora



Quantidade de consumidores afetados por emergência — **100**

Custo da equipe por hora de trabalho - R\$ 80,00



Valor do kWh para consumidores desligados – R\$ 0,57













[3]

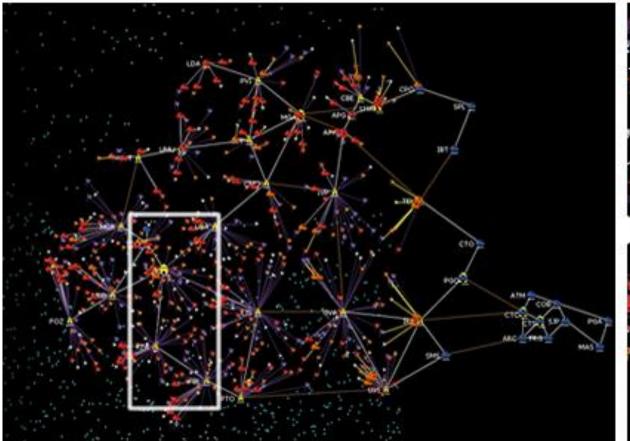
4 Cenários de Atendimento

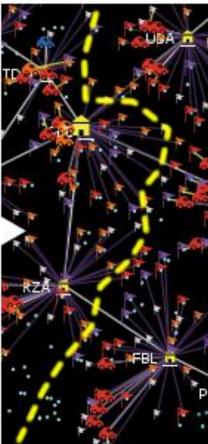




ISOLADO

Atendimento ilhado sem solicitar ou fornecer apoio. As equipes pertencentes a cada base atendem apenas as emergências da própria base.

















PROXIMIDADE

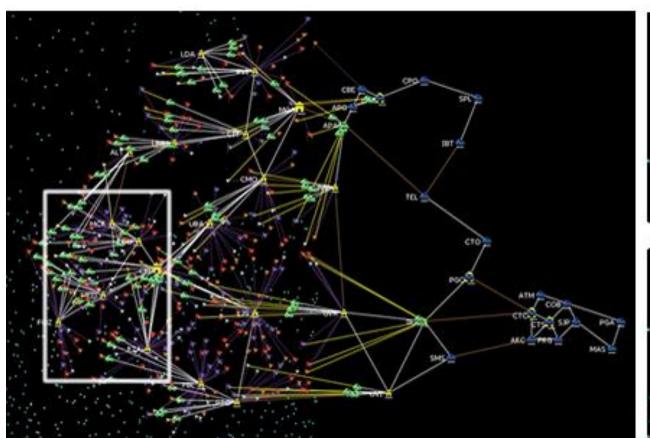
Todas equipes se deslocar para atender demandas existentes. As equipes de qualquer base de atendimento se deslocam assim que é identificada a necessidade de atendimento das emergências existentes.

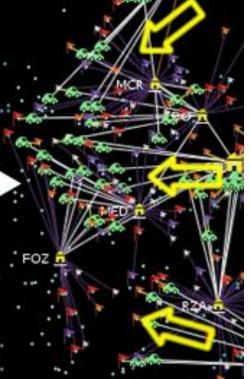










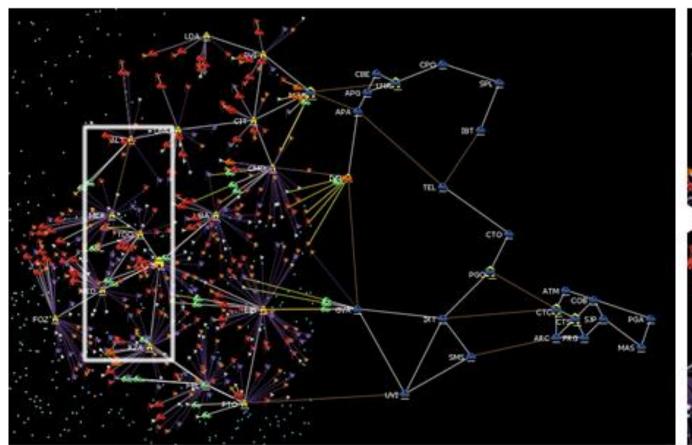


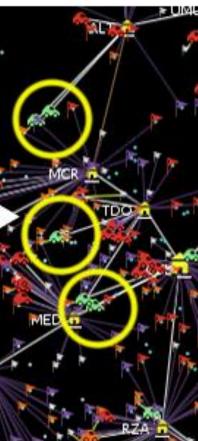




APOIO SOLICITADO

Até 50% das equipes da base podem ser emprestadas temporariamente desde que a base vizinha que precisa de apoio ultrapassar 3 emergências por equipe.

















APOIO LIMITADO + ADICIONAL

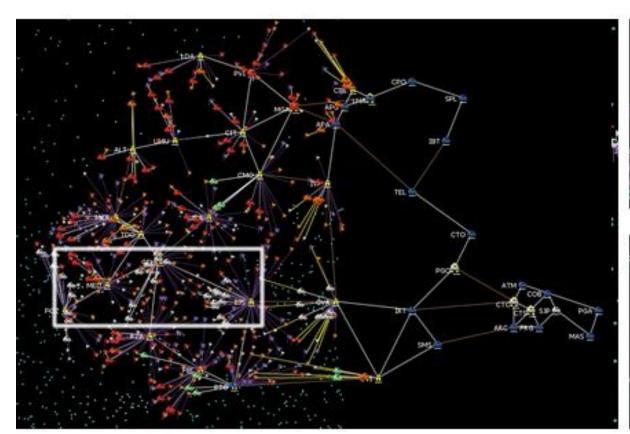
Apoio de empréstimo de equipes limitado em 30% para bases vizinhas e um incremento de 50% de equipes a disposição antes do eventos climáticos severos.

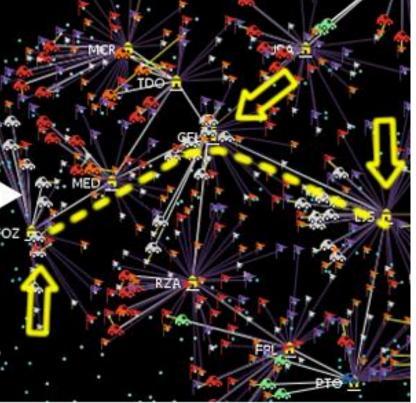
























[4]

Resultados



Resultados COMPARATIVO ENTRE SIMULAÇÕES













Simulação	Duração Total ECS	Consumidores Hora Desligados	Custo Equipes + kWh sem cobrança
Isolado	13h15	1.193.553	R\$ 817.644,40
Proximidade	12h50	1.191.610	R\$ 822.330,70
Apoio solicitado	13h00	1.207.193	R\$ 837.320,20
Apoio limitado + adicional	11h30	1.048.893	R\$ 749.997,20

Os experimentos realizados demonstraram uma redução de até 9% no custo financeiro total de atendimento.

O resultado mais importante do experimento foi a redução em **15**% do tempo de restabelecimento do sistema de distribuição de energia elétrica.



Resultados CONSTATAÇÕES COMPLEMENTARES







Sobrecarga

Durante a simulação, foi possível identificar e quantificar a sobrecarga enfrentada pelas bases de atendimento e pelas equipes de campo.







Forma de atendimento da base

Durante o estudo, cada base de atendimento precisa compartilhar informações com outras bases e gerenciar a utilização dos seus recursos







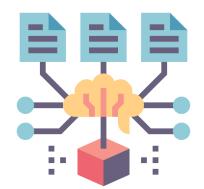
Ponto de decisão

É o momento em que se torna crucial realizar o empréstimo de equipes entre bases de atendimento.

[5] Conclusão







A criação de um MODELO de representação foi fundamental



A SIMULAÇÃO utilizando multiagentes foi eficaz





A COLABORAÇÃO entre as bases de atendimento é essencial



Foi possível comprovar a **eficiência e eficácia** da estratégia de empréstimo de recursos



Este trabalho buscou **contribuir**, no contexto de modelos multiagentes de simulação aplicados à gestão de crises em infraestruturas críticas.

Trabalhos Futuros





- Explorar as possibilidades de otimização da utilização das equipes de campo mediante o emprego de técnicas de machine learning representa uma direção promissora para futuros estudos.





- Conectar o modelo de simulação com dados em tempo real dos possíveis impactos dos ECS e das emergências existentes em atendimento.



- Carregar os dados históricos de cada base de atendimento treinar o modelo para realizar simulações personalizadas.



Referências



Ícones utilizados extraídos do site: https://www.flaticon.com/free-icon/

Flaticon License

Free for personal and commercial purpose with attribution.



ANEEL (2024) "Workshop promovido pela ANEEL destaca a importância da preparação do setor elétrico diante de fenômenos climáticos intensos", Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/workshop-promovido-pela-aneel-destaca-a-importancia-da-preparacao-do-setor-eletrico-diante-de-fenomenos-climaticos-intensos, acessado em 10 de maio de 2024.

Campos, Í. R. da C. (2018). "Aplicação de sistemas multiagentes ao problema de autorrecuperação em sistemas elétricos de distribuição do tipo smart grid". Universidade Federal do Pará. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/jspui/ handle/prefix/1340, acessado em 10 de maio de 2024.

CREA-PR (2024) "Copel detalha medidas preventivas", Revista do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR), https://revista.crea-pr.org.br/copel-detalha-medidas-preventivas/, acessado em 10 de maio de 2024.

COPEL (2024) Agências de atendimento. Copel Distribuição, https://www.copel.com/site/copel-distribuição/agencias-de-atendimento/, acessado em 5 de maio de 2024.

Fernandes, T., Hacon, S. de S. e Novais, J.W.Z. (2021). MUDANÇAS CLIMÁTICAS, POLUIÇÃO DO AR E REPERCUSSÕES NA SAÚDE HUMANA: REVISÃO SISTEMÁTICA. Revista Brasileira de Climatologia. (abr. 2021), 138–164.

Gonen, T. (2014). "Electric Power Distribution System Engineerin." CRC Press.

IBRE (Instituto Brasileiro de Economia) - FGV (2024) "Respostas impulsivas e impensadas: eventos climáticos extremos", Blog do IBRE - FGV, https://blogdoibre.fgv.br/posts/respostas-impulsivas-e-impensadas-eventos-climaticos-extremos, acessado em 10 de maio de 2024.

IEEE Power & Energy Society. (2018). "Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology and the Marketplace." Wiley.

IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis (2023). Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Marques, Leandro Tolomeu (2024). Restabelecimento de energia em sistemas de distribuição considerando aspectos práticos [doi:10.11606/T.18.2018.tde-26072018-134924]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (2018). Tese de Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência, acessado em 10 de maio de 2024.

Oliveira Filho, S. F., Fernandes, A. C. G., Borges, I. M. S., Santos, A. F. L. dos, Campos, J. O., Silva, E. C. B. da, Martins, M. S., Silva, J. A. da, Paiva, C. R. B. de, Silva, J. A., Santos, M. J. R., & Maciel, J. K. V. S. (2022). Use of the GIS tool for monitoring crop development in the semi-arid region of Paraíba. Research, Society and Development, 11 (4), e53611427728. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27728.

Russel, S., Norvig (2010), P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3a Edition. Prentice Hall. ISBN-13: 978-0-13-604259-4.

Sales, C. e Uhlig, A. (2024) "Eventos climáticos extremos e o suprimento de eletricidade", Broadcast Energia, https://acendebrasil.com.br/artigo/eventos-climaticos-extremos-e-o-suprimento-de-eletricidade/, acessado em 10 de maio de 2024.

Schardong, Bianca Jupiara Fortes; Garcia, Vinícius Jacques; Kiefer, Gabriela Sanson; Pinto, Nelson Guilherme Machado. Otimização do Atendimento a Emergências no Setor Elétrico. Boletim de Conjuntura (BOCA), v. 18, n. 52, p. 82-115, 2024. (2024). Disponível em: https://doi.org/10.5281/zenodo.11003159, acesso em 10 de maio de 2024.

Shoham, Y. e Leyton-Brown, K. Multiagent Systems: Algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. New York: Cambridge University Press, (2008).

SIMEPAR (2024) Dados das estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, de tecnologia e Paraná, de tecnolo

Simple Energy (2024) "Quais os efeitos dos eventos climáticos no fornecimento de energia?", Simple Energy, https://simpleenergy.com.br/quais-os-efeitos-dos-eventos-climaticos-no-fornecimento-de-energia/, acessado em 10 de maio de 2024.

Sinapsis Energia (2024) "Como as mudanças climáticas impactam nossas redes de distribuição", Sinapsis Energia, https://sinapsisenergia.com.br/como-as-mudancas-climaticas-impactam-nossas-redes-de-distribuiçao/, acessado em 10 de maio de 2024.

Souza, Jusciel Kvan Gomes de. Modelagem baseada em agentes: possibilidades na Educação Matemática e pesquisa ambiental. (2019). 88 f. Monografia (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2019.

Tierney, K. and Bruneau, M. (2007) Conceptualizing and Measuring Resilience: A Key to Disaster Loss Reduction, TR News, May-June, 250, 14-17.

Weiss, Gerhard (1999). Multiagent Systems: a modern approach to distributed artificial intelligence. MIT press, 1999.

Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems. Department of Computer Science, University of Liverpool, UK. John Wiley & Sons, LTD. (2002 [2009]).













Obrigado!

james.rebelato@copel.com (41) 9 9227 5431







