



CAPACIDADES HUMANAS E COMPORTAMENTO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISES A PARTIR DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

PEDRO AUGUSTO BERTUCCI LIMA - pedro.ab.lima@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU - FEB

OCTAVIANO ROJAS LUIZ - octaviano.rojas@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - ITAPEVA - ICE

MARCELO FURLAN - marcelo.furlan@gp.ita.br
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA - ITA

ÁREA: 9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.7 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

RESUMO: DIFERENTES FATORES SÃO RECONHECIDOS PELA SUA INFLUÊNCIA NA ADOÇÃO DE COMPORTAMENTOS PRÓ-AMBIENTAIS. RECENTEMENTE, A LITERATURA COMEÇOU A ANALISAR O PAPEL DAS CAPACIDADES HUMANAS, A PARTIR DA ABORDAGEM DAS CAPACIDADES, NESSA RELAÇÃO, TODAVIA, AINDA FALTAM ESTUDOS SOBRE COMPORTAMENTOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. A PRESENTE PESQUISA OBJETIVA ANALISAR SE CAPACIDADES HUMANAS APRESENTAM RELAÇÃO COM A ADOÇÃO DE COMPORTAMENTOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. DE MODO A ALCANÇAR ESTE OBJETIVO, FOI REALIZADA UMA ANÁLISE DE CLUSTER POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (ANN), UMA TÉCNICA DE MACHINE LEARNING, EM CONJUNTO COM ANÁLISES ESTATÍSTICAS. O ESTUDO CONTOU COM DADOS DE UMA AMOSTRA DE 642 INDIVÍDUOS COM ENSINO SUPERIOR COMPLETO QUE RESPONDERAM A UM QUESTIONÁRIO ONLINE. TRÊS CLUSTERS FORAM GERADOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DA ANN, SENDO QUE OS COMPORTAMENTOS DE OTIMIZAÇÃO DO USO DE MÁQUINAS DE LAVAR E COMPRA DE PRODUTOS ENERGICAMENTE EFICIENTES APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS GRUPOS. EM TODOS OS CASOS, O CLUSTER COM MAIORES NÍVEIS DE CAPACIDADES HUMANAS APRESENTOU MAIORES NÍVEIS DE ADOÇÃO DE COMPORTAMENTOS DE ECONOMIA DE ENERGIA, SUGERINDO QUE QUANTO MAIS CAPACIDADES UM INDIVÍDUO TEM, MAIS COMPORTAMENTOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELE ADOTA. OS RESULTADOS DO PRESENTE ESTUDO CONTRIBUEM PARA INCIPIENTE LITERATURA SOBRE A IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM DAS CAPACIDADES NA ADOÇÃO DE COMPORTAMENTOS PRÓ-AMBIENTAIS, ALÉM DE SER UM DOS PRIMEIROS ESTUDOS A EMPREGAR A TÉCNICA DE CLUSTERIZAÇÃO ATRAVÉS DA ANN EM ANÁLISES DE COMPORTAMENTOS PRÓ-AMBIENTAIS.

PALAVRAS-CHAVES: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS; COMPORTAMENTO PRÓ-AMBIENTAL; CAPACIDADES HUMANAS; ENERGIA.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a poluição do meio ambiente são alguns dos diversos problemas ambientais que afetam o planeta Terra (UNEP, 2023). Uma maneira de mitigar esses problemas, é através da adoção de comportamentos pró-ambientais (CLAYTON et al., 2015), que são comportamentos que impactam o meio ambiente o mínimo o possível ou até mesmo melhoram a qualidade do meio ambiente (STEG; VLEK, 2009). Diferentes fatores afetam a predisposição dos indivíduos em adotar comportamentos pró-ambientais, como as capacidades que esses indivíduos apresentam (BLANKENBERG; ALHUSEN, 2019).

Segundo a abordagem das capacidades, capacidades humanas podem ser definidas como as oportunidades que os indivíduos têm para terem e serem aquilo que desejam (SEN, 2010). Embora existam estudos analisando a relação entre capacidades humanas e adoção de comportamentos ambientais (LESSMANN; MASSON, 2015; LIMA et al., 2023), ainda pouco se sabe sobre quais capacidades estão relacionadas a comportamentos pró-ambientais específicos. A aplicação de novas estratégias para analisar e entender esses comportamentos pró-ambientais pode oferecer novas perspectivas para a literatura da área (TEWARI et al., 2022). Deste modo, uma abordagem como a aplicação de técnicas de machine learning, representada neste estudo por redes neurais artificiais, podem oferecer novas perspectivas para a relação entre capacidades humanas e comportamentos pró-ambientais.

Redes neurais artificiais (*Artificial Neural Networks* - ANN) tem sido incorporada em estudos sobre comportamentos pró-ambientais, como na análise de compra e uso de veículos elétricos (HIGUERAS-CASTILLO et al., 2020) e compra de roupas sustentáveis (TEWARI et al., 2022). Estes estudos têm focado na aplicação da ANN como preditor do comportamento pró-ambiental (muitas vezes em conjunto com outras técnicas, como Modelagem de Equações Estruturais). Entretanto, a ANN também pode ser aplicada na formulação de clusters (FRADES; MATTHIESEN, 2010; FURLAN et al., 2024), o que é útil para análises de segmentação de consumidores / indivíduos.

Estudos que segmentam indivíduos são importantes para a área do comportamento pró-ambiental uma vez que permitem identificar padrões de comportamento entre tipos de indivíduos, além de ressaltar possíveis diferenças entre eles (FRADES; MATTHIESEN, 2010; LEE; HALEY, 2022). Dentre as técnicas utilizadas por clusterização, destaca-se a k-means, que é muito empregada na literatura (ARIAS et al., 2022; ELGAAIED, 2012; LEE; HALEY, 2022). Todavia, até onde os autores conseguiram identificar, não há estudos empregando ANN para clusterização e análise de comportamentos ambientais.

Deste modo, o objetivo da presente pesquisa é analisar se as capacidades humanas apresentam relação com a adoção de comportamentos de conservação de energia. De modo a alcançar este objetivo, foi realizada uma análise de cluster por meio da ANN em uma amostra de 642 indivíduos. Na sequência, é apresentado a fundamentação teórica sobre comportamentos pró-ambientais e capacidades humanas, depois é descrito o método de pesquisa, seguido pelos resultados e discussões. Por fim, tem-se as conclusões com as implicações da pesquisa, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Comportamento pró-ambiental

Stern (2000) propôs a existência de quatro categorias de comportamentos pró-ambientais: i) ativismo ambiental, ii) não ativismo em esfera pública, iii) esfera privada, e iv) outros tipos de comportamentos pró-ambientais. Dentro de cada categoria podem existir comportamentos relacionados a aspectos específicos, como os relacionados à energia e seu impacto ambiental. Por exemplo, ativismo ambiental pode ser a participação em manifestações contra fontes de energia poluentes ao meio ambiente (DE GROOT; STEG, 2010), não ativismo em esfera pública podem ser o suporte à certas fontes de energia em detrimento a outras (DE GROOT; STEG; POORTINGA, 2013), e comportamentos na esfera privada são caracterizados por investimentos e escolhas que o indivíduo faz em sua casa para otimizar a eficiência energética domesticamente (FORNARA et al., 2016) e também os comportamentos que o indivíduo faz para economizar energia, como apagar as luzes ao sair de um cômodo (VAN DER WERFF; STEG, 2015).

Diferentes tipos de comportamentos pró-ambientais exigem diferentes intensidades de esforços cognitivos, físicos e financeiros para serem realizados (KNEEBONE; SMITH; FIELDING, 2020). Por exemplo, instalar painéis solares em uma residência é mais caro, demorado e complexo do que apagar as luzes ao sair de um cômodo. Aspectos sociodemográficos são reconhecidos como influenciadores de comportamentos pró-ambientais (BLANKENBERG; ALHUSEN, 2019). Todavia, a literatura apresenta resultados difusos entre a relação de variáveis sociodemográficas e diferentes tipos de comportamentos pró-ambientais (SARGISSON; DE GROOT; STEG, 2020). Desse modo, a incorporação de outras variáveis para mensurar as capacidades dos indivíduos podem ser relevantes para análises de comportamentos pró-ambientais, como análises envolvendo a abordagem das capacidades (LIMA et al., 2023).

2.2 Capacidades humanas

A abordagem das capacidades possui dois conceitos principais: capacidades e funcionamentos. Capacidades são as oportunidades que um indivíduo possui para ser, ter e fazer; ou seja, são as suas liberdades. Já os funcionamentos são o que de fato esse indivíduo é, tem e faz (SEN, 2000). A abordagem das capacidades propõe que o desenvolvimento de uma região deve ser medido a partir das capacidades dos indivíduos. Essa conceptualização teórica fez com que a abordagem das capacidades seja muito aplicado em estudos na área de desenvolvimento humano (ALVES; MARIANO, 2018; LIMA et al., 2021), inclusive tendo servido como embasamento teórico para a criação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

A abordagem das capacidades é um conceito multidimensional, isto é, diferentes dimensões da vida dos indivíduos devem ser consideradas para mensurar e avaliar a sua liberdade (SEN, 2000). Martha Nussbaum (2000), por exemplo, propôs 10 dimensões que a teoria das capacidades deve considerar: vida; saúde física; integridade física; sentidos, imaginação e pensamento; emoções; razão prática; afiliação; outras espécies; brincadeira; e controle sobre o próprio ambiente.

Embora tenha surgido no aspecto de macroeconomia, em análises de desenvolvimento e, mais recentemente, desenvolvimento sustentável (LIMA et al., 2022), a abordagem das capacidades passou a ser incorporada em análises microeconômicas, inclusive em discussões sobre comportamento pró-ambiental (COMIM et al., 2007). Enquanto alguns estudos sugerem que o aumento nas liberdades dos indivíduos pode estar relacionado com o aumento de comportamentos pró-ambientais (LESSMANN; MASSON, 2015), outros estudos sugerem que nem sempre esse é o caso, havendo relações diretas e indiretas que reduzem certos tipos de comportamentos (LIMA et al., 2023). Deste modo, novas pesquisas, como o presente estudo sobre comportamento de conservação de energia, que analisem diferentes tipos de comportamentos pró-ambientais são necessários para aumentar o conhecimento sobre o papel das capacidades humanas nesses tipos de comportamentos e no alcance da sustentabilidade de forma geral

3. MÉTODO

3.1 Amostra

Foi utilizado um questionário online no Google Forms para coletar os dados utilizados

nesta pesquisa. Os dois primeiros autores enviaram o questionário para diversas pessoas conhecidas através de e-mail e outras redes sociais. Os respondentes também foram solicitados a compartilhar o questionário, configurando a estratégia de coleta de dados como de *snowballing*. A coleta de dados foi realizada durante os meses de junho e setembro de 2022. O projeto de pesquisa do qual este artigo faz parte foi aprovado pelo comitê de ética da [Anonimizado para revisão] sob o código 57949622.8.0000.5398.

Ao todo, 766 pessoas responderam ao questionário. Após remover as respostas que erraram a pergunta para checar a atenção do respondente, de não brasileiros, de brasileiros morando fora do Brasil, daqueles que não possuem ensino superior completo, e dos que não possuem máquina de lavar (característica necessária para responder parte das perguntas sobre comportamento), a amostra utilizada na pesquisa foi composta por 642 pessoas. A média de idade da amostra foi de 38,55 anos ($SD = 11,53$), sendo que 377 (58,72%) se declararam mulher, 260 homens (40,50%), 4 (0,62%) não se identificam como homem ou mulher e 1 (0,16%) preferiu não responder.

Considerando a amostra final do estudo, a amostra não pode ser considerada como representativa da população brasileira. O que não é considerado um problema, tendo em vista que a pesquisa não tem a intenção de fazer generalizações para toda a população brasileira, mas sim analisar relações internas entre as variáveis de interesse (i.e., capacidades humanas e comportamento de conservação de energia) (DE GROOT; BONDY; SCHUIITEMA, 2021) e o potencial de aplicação da ANN para clusterização. Destaca-se que é comum a utilização de amostras de conveniência na literatura de comportamentos pró-ambientais (DE GROOT; BONDY; SCHUIITEMA, 2021; LIMA et al., 2023), como no caso do estudo de Vermeir e Verbeke (2008), que analisaram a adoção de comportamentos pró-ambientais especificamente em uma população de jovens com alto grau de escolaridade, e do estudo de Lee e Haley (2022) que utilizaram uma amostra de pessoas com histórico de já terem comprado produtos ambientais, com o intuito de criar subsegmentos a partir dessa amostra de consumidores específicos.

3.2 Questionário

O questionário iniciou com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que apresentava o propósito da pesquisa, os riscos e benefícios em se responder às perguntas, a garantia de sigilo e uso estritamente acadêmico dos dados e o direito do participante em encerrar a sua participação a qualquer momento e sem nenhum custo. Caso o respondente tivesse 18

anos ou mais e se considerasse apto a participar, ele poderia responder “Sim” e começar a responder as perguntas. As primeiras perguntas do questionário eram sobre capacidades humanas, em seguida havia perguntas sobre comportamentos pró-ambientais e, por fim, questões sociodemográficas. Ao longo do questionário havia perguntas de atenção, nas quais o respondente deveria selecionar o número indicado na pergunta. O questionário também continha perguntas sobre valores individuais, normas pessoais, e outros tipos de comportamento utilizados apenas em outra parte deste projeto de pesquisa.

As capacidades humanas foram mensuradas com o *Oxford Capabilities Questionnaire-Mental Health* (OxCap-MH), que é a escala reduzida elaborada por Simon et al. (2013) a partir do questionário desenvolvido por Anand et al. (2009). O OxCap-MH tem como base teórica os trabalhos sobre capacidades desenvolvidas por Martha Nussbaum (2000). Na presente pesquisa, utilizou-se a adaptação feita para o português-brasileiro de Luiz (2022). O questionário conta com 16 perguntas sobre diferentes aspectos ligados às capacidades humanas (e.g., “*Nas últimas 4 semanas, com que frequência você realizou atividades de lazer?*”, e “*Sou livre para decidir como viver minha vida.*”). Todas as perguntas seguem uma escala de 1 (nunca / totalmente inadequado / inseguro / improvável / discordo) à 7 (sempre / totalmente adequado / seguro / provável / concordo). Por limitação de espaço, a descrição de todas as perguntas não estão presentes no artigo, mas os autores as disponibilizarão mediante solicitação.

Comportamentos pró-ambientais de conservação de energia foram mensurados com 6 perguntas (Tabela 4) adaptadas de Markle (2013) e Kaiser e Wilson (2004): (1 = Nunca, 7 = Sempre). Assim como as capacidades, cada questão de comportamento foi tratada como constructo de item único.

3.3 Análise dos resultados

A clusterização dos indivíduos foi realizada com uso da ANN, que é uma abordagem de machine learning, aplicando a tipologia de *Self-Organizing Map* (SOM), que é uma técnica da ANN adequada para lidar com problemas complexos de discriminação e classificação (KOHONEN, 2013), comumente aplicada em diferentes tipos de clusterização (FURLAN et al., 2024). O SOM realiza a criação de clusters através da similaridade da amostra em um processo classificado como de aprendizagem sem supervisionamento, não sendo necessário, para isso, a utilização de estatística na clusterização (MELIN et al., 2020). Diferentemente de técnicas como o *k-means* que tem uma definição de cluster a priori, na SOM, a amostra é classificada entre os diferentes neurônios e, então, o número de clusters é definido na sequência

desse processo (HÖFER; MADLENER, 2020).

O primeiro procedimento para aplicação da SOM é a normalização dos dados para variáveis contínuas com métricas diferentes (VLAOVIĆ et al., 2023). Em seguida, a quantidade de neurônios da rede é definida pela equação $5\sqrt{n}$ (PAINI et al., 2016), onde n é o tamanho da amostra utilizada. Dessa forma, a rede da SOM ficou configurada com 12 x 12 (144 neurônios) em formato hexagonal. O número de iterações do algoritmo (ou épocas) foi definido como 50 vezes o número de neurônios, utilizando distância euclidiana e taxa de aprendizagem de 0,10 para os cálculos. Dessa forma, é possível replicar a técnica em outros estudos conforme sugere Casali, Aydin e Comes (2022). Para avaliar a rede bem como escolher a quantidade de grupos, foram utilizados os seguintes índices: *Mean Quantization Error*, *Topological Error* e *Davies-Bouldin Index* (CLARK; SISSON; SHARMA, 2020; VLAOVIĆ et al., 2023). Os significados dos valores dos índices serão explicados na próxima seção. A rede foi executada no software R com o apoio do pacote “kohonen” (WEHRENS; KRUISSELBRINK, 2018). Por fim, as análises estatísticas comparativas entre os clusters foram realizadas através dos testes de Kruskal-Wallis e Dunn.

4. RESULTADOS

O valor encontrado para o índice *Mean Quantization Error* foi de 21,879 indicando que as distâncias entre os dados e o neurônio vencedor da rede diminuíram ao longo das épocas, ajustando melhor aos dados. Já o valor de *Topological Error* foi de 3,862, indicando que os neurônios do mapa neural correspondem bem a uma organização espacial dos dados de entrada. O número de clusters foi definido através do Índice de Davies-Bouldin, sendo que quanto menor o valor do índice, melhor é o cluster para ser utilizado (Tabela 1). Deste modo, foram criados três grupos através da clusterização da rede neural. Destaca-se que não existem valores de referência para estes índices, apenas que quanto mais próximos de zero, melhor.

TABELA 1 - Definição do número de clusters pelo teste de Davies-Bouldin

Número de Clusters	2	3	4	5
Índice Davies-Bouldin	16.482	16.397	17.515	19.128

Fonte: Autoria própria

O cluster 1 foi composto por 168 indivíduos, o cluster 2 por 31, e o cluster 3 por 443. O cluster 3 apresenta a maior média de idade, 39,56, enquanto o cluster 1 a menor média, 36,15. O cluster 1 apresenta a maior porcentagem de mulheres na amostra e o cluster 3 a maior

porcentagem de homens (Tabela 2).

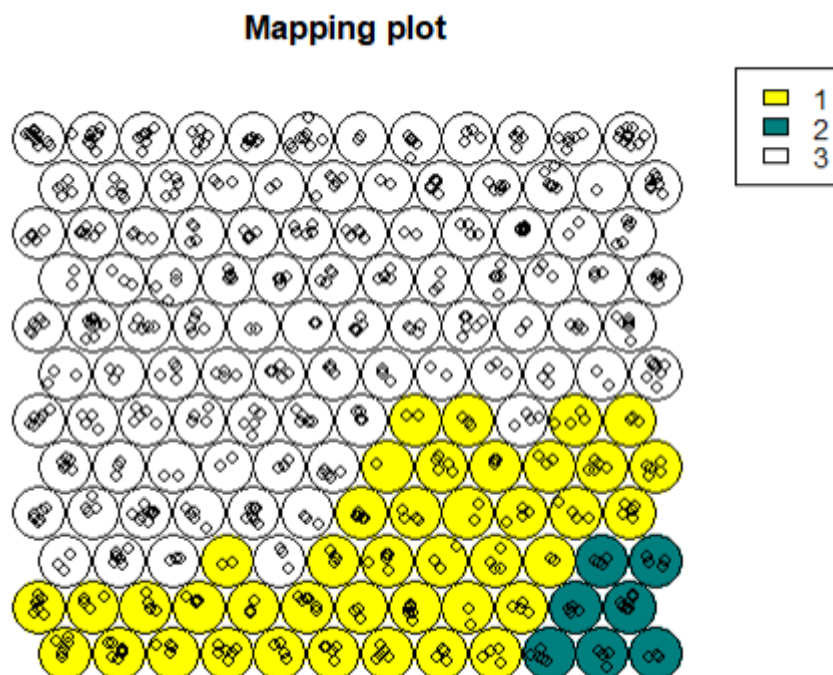
TABELA 2 - Descrição demográfica de cada cluster

Cluster	Média de Idade	Mulheres (%)	Homens (%)	Outro (%)
1	36,15	104 (62,90%)	64 (38,10%)	0
2	38,58	18 (58,06%)	12 (38,71%)	1 (3,22%)
3	39,56	255 (57,56%)	184 (41,53%)	4 (0,90%)

Fonte: Autoria própria

Uma representação do mapa neural com a quantidade de indivíduos por neurônio e a qual cluster o conjunto de neurônios pertence é apresentada na Figura 1.

FIGURA 1 - Mapa neural



Fonte: Autoria própria com uso pacote “kohonen” (WEHRENS; KRUISSELBRINK, 2018).

O cluster 3 apresenta maiores médias e medianas para todas as 16 perguntas de capacidades analisadas neste artigo. O cluster 2, por outro lado, apresenta 13 das menores médias e 14 das menores medianas. Deste modo, é possível classificar o cluster 3 como sendo dos indivíduos que apresentam as maiores capacidades dentro da amostra utilizada nesta

pesquisa, enquanto o cluster 1 representa os indivíduos em uma faixa intermediária e o cluster 2 inclui os indivíduos com as menores capacidades (Tabela 3).

TABELA 3 - Médias e medianas de capacidades humanas por cluster

Capacidade	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
1	5,73	6	3,94	4	5,85	6
2	4,01	4	2,74	2	4,88	5
3	4,49	5	3,58	3	5,16	6
4	3,63	4	2,45	2	4,66	5
5	5,3	6	4,9	5	6,07	6
6	3,97	4	4,23	5	5,3	6
7	5,29	6	4,74	6	5,72	6
8	4,54	5	3,61	3	4,85	6
9	3,2	3	3,26	3	4,04	4
10	3,39	3	3,23	3	5,04	5
11	3,83	3	3,55	4	5,62	6
12	5,93	6	4,9	5	6,55	7
13	5,89	6	3,48	3	6,65	7
14	4,95	5	3,61	4	6,26	7
15	4,39	5	4	4	6,15	6
16	3,83	4	2,61	2	5,43	6

Fonte: Autoria própria

Após a obtenção dos clusters, foram feitas análises com o teste de Kruskal-Wallis para identificar se existem diferenças entre a adoção de comportamentos de conservação de energia entre clusters (Tabela 4). Dos 6 comportamentos analisados neste estudo, 2 apresentaram diferenças significativas, com p-valores menores que 5%, entre pelo menos um dos grupos: frequência de otimização de uso de máquina de lavar, e frequência de compra de aparelhos energeticamente eficientes. Considerando um valor mais flexível de p-valor, de 10% (DAHIRU

et al., 2018), o comportamento de frequência de apagar as luzes ao sair de um cômodo também apresenta diferença entre os clusters.

TABELA 4 - Diferença entre clusters

Comportamento	p-valor	Resultado
Com qual frequência você apaga as luzes quando sai de um cômodo?	0,064	Existe diferença entre pelo menos 2 grupos
Com qual frequência você desliga o modo standby (tira da tomada) dispositivos e aparelhos eletrônicos?	0,799	Não existe diferença entre os grupos
Com qual frequência você reduz o uso de ar-condicionado e/ou aquecedores para reduzir o consumo de energia?	0,637	Não existe diferença entre os grupos
Com qual frequência você desliga a televisão quando sai de um cômodo?	0,393	Não existe diferença entre os grupos
Com qual frequência você espera até acumular roupa/louça suficiente para usar a máquina de lavar roupas/louça com sua capacidade máxima?	0,011	Existe diferença entre pelo menos 2 grupos
Com qual frequência você compra aparelhos energeticamente eficientes para a sua casa?	0,029	Existe diferença entre pelo menos 2 grupos

Fonte: Autoria própria

Após a confirmação da diferença de comportamentos entre clusters, foi aplicado o teste Dunn para identificar qual cluster se diferenciava de qual (Tabela 5). No caso da otimização do uso da máquina de lavar, o cluster 3 apresentou diferença significativa do cluster 1, não havendo diferença entre os outros clusters. Com relação ao comportamento de compra de aparelhos energeticamente eficientes, o cluster 3 se diferenciou do cluster 2. Ao considerar um valor mais flexível de p-valor, de 10% (DAHIRU et al., 2018), o cluster 3 também se diferencia do cluster 1, não havendo diferença entre os clusters 1 e 2. Nos 3 comportamentos de conservação de energia em questão, o cluster 3 apresenta os valores mais altos de adoção de comportamento, enquanto o cluster 2 apresenta o segundo maior valor no comportamento de otimização de uso de máquina de lavar e o cluster 1 apresenta o segundo maior valor nos comportamentos de apagar as luzes e compra de produtos energeticamente eficientes.

Esses resultados corroboram com a literatura que indica uma possível relação entre maiores níveis de capacidades e de adoção de comportamentos pró-ambientais (COMIM et al., 2007; LESSMANN; MASSON, 2015). Os resultados também estão alinhados aos resultados

de Lima et al. (2023) que indicam que a relação entre capacidades e comportamentos pró-ambientais depende dos tipos de comportamentos analisados.

TABELA 5 - Teste de Dunn

Comportamento	Comparação entre clusters	Estatística do teste	Erro padrão	Estatística do teste padrão	Significância	Significância ajustada
Apagar as luzes ao sair de um cômodo	2 - 1	54,097	32,059	1,687	0,092	0,275
	2 - 3	-68,471	30,469	-2,247	0,025	0,074
	1 - 3	-14,374	14,860	-0,967	0,333	1,000
Otimização do uso de máquina de lavar	1 - 2	-40,936	34,239	-1,196	0,232	0,696
	1 - 3	-47,577	15,871	-2,998	0,003	0,008
	2 - 3	-6,642	32,542	-0,204	0,838	1,000
Comprar produtos energeticamente eficientes	2 - 1	43,564	34,005	1,281	0,200	0,600
	2 - 3	-79,289	32,344	-2,451	0,014	0,043
	1 - 3	-35,725	15,812	-2,259	0,024	0,072

Nota: Os valores de significância foram ajustados pela correção de Bonferroni para vários testes.

Por suportam a utilidade do uso de ferramentas de machine learning para segmentação de consumidores (WANG, 2022), dado que a ferramenta permitiu visualizar diferenças no comportamento para perfis diferentes de capacidades.

5. CONCLUSÕES

Estudos sobre segmentação de indivíduos são importantes para diferentes áreas da Engenharia de Produção, como desenvolvimento de produtos e marketing. A utilização da técnica de redes neurais artificiais, como adotados nesta pesquisa, oferecem um novo caminho para análises de segmentação de pessoas. A pesquisa também contribui com um maior entendimento sobre o papel das capacidades humanas, sob a ótica da abordagem das capacidades, para a adoção de comportamentos pró-ambientais. O desenvolvimento de políticas

e de campanhas de sensibilização ambiental podem utilizar dos resultados obtidos nesta pesquisa para melhorar a performance dessas estratégias.

Com relação às limitações do presente estudo é importante destacar os relacionados à amostra utilizada na pesquisa. Embora não seja a intenção da pesquisa em fazer generalizações dos resultados a toda população brasileira, uma vez que os objetivos da pesquisa estão relacionados a verificação de relações entre as variáveis de interesse do estudo, isto é, capacidades humanas e comportamentos de energia; é importante destacar que o público com educação superior tende a apresentar maiores níveis de capacidade do que o restante da população, ou seja, toda a população analisado no estudo tende a ter um nível de capacidades acima da média da população geral. Deste modo, futuros estudos analisando e segmentando diferentes populações, pode contribuir para o maior entendimento de como as capacidades humanas estão relacionadas com comportamentos de conservação de energia.

REFERÊNCIAS

ALINIZZI, M.; HAIDER, H.; ALRESHEEDI, M. Assessing Traffic Congestion Hazard Period due to Commuters' Home-to-Shopping Center Departures after COVID-19 Curfew Timings. **Computation**, v. 10, n. 8, p. 132, 2022.

ALVES, M. W. F. M.; MARIANO, E. B. Climate justice and human development: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 360-375, 2018.

ARIAS, C.; QUIROGA BELTRÁN, J. M.; MARTÍNEZ ARIZA, J. M.; CADENA LOZANO, J. B.; BELLO BERNAL, M. A. Pro-circular consumer profile: an approach to their identification and characterization based on the components of the value-belief-norm theory. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7883, 2022.

ANAND, P.; HUNTER, G.; CARTER, I.; DOWDING, K.; GUALA, F.; VAN HEES, M. The development of capability indicators. **Journal of Human Development and Capabilities**, v. 10, n. 1, p. 125-152, 2009.

BLANKENBERG, A.-K.; ALHUSEN, H. On the determinants of pro-environmental behavior: A literature review and guide for the empirical economist. **Center for European, Governance, and Economic Development Research (CEGE)**, n. 350, 2019.

CASALI, Y.; AYDIN, N. Y.; COMES, T. Machine learning for spatial analyses in urban areas: a scoping review. **Sustainable Cities and Society**, v. 85, n. April, p.104050, 2022.

CLARK, S.; SISSON, S. A.; SHARMA, A. Tools for enhancing the application of self-organizing maps in water resources research and engineering. **Advances in Water Resources**, v. 143, p.103676, 2019.

CLAYTON, S.; DEVINE-WRIGHT, P.; STERN, P. C.; WHITMARSH, L.; CARRICO, A.; STEG, L.; SWIM, J.; BONNES, M. Psychological research and global climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p. 640-646, 2015.

COMIM, F.; TSUTSUMI, R.; VAREA, A. Choosing sustainable consumption: a capability perspective on indicators. **Journal of International Development: the Journal of the Development Studies Association**, v. 19, n. 4, p. 493-509, 2007.

DE GROOT, J. I. M.; STEG, L.; POORTINGA, W. Values, perceived risks and benefits, and acceptability of nuclear energy. **Risk Analysis: An International Journal**, v. 33, n. 2, p. 307-317, 2013.

DE GROOT, J. I. M.; STEG, L. Morality and nuclear energy: Perceptions of risks and benefits, personal norms, and willingness to take action related to nuclear energy. **Risk Analysis: An International Journal**, v. 30, n. 9, p. 1363-1373, 2010.

DAHIRU, T. P-Value, a true test of statistical significance? a cautionary note. **Annals of Ibadan Postgraduate Medicine**, v. 6, n. 1, p. 21-26, 2011.

ELGAAIED, L. Exploring the role of anticipated guilt on pro-environmental behavior—a suggested typology of residents in France based on their recycling patterns. **Journal of Consumer Marketing**, v. 29, n. 5, p. 369-377, 2012.

FRADES, I.; MATTHIESEN, R. Overview on techniques in cluster analysis. **Bioinformatics Methods in Clinical Research**, p. 81-107, 2010.

FURLAN, M.; LIMA, P. A. B.; PAIÃO JUNIOR, G. D.; MARIANO, E. B.; PIRES, S. M. M. (2024). Proposing a composite index and maturity model for urban sustainability in the Brazilian context: A machine learning and data envelopment analysis approach. **Sustainable Development**, p.1-19, 2024

HIGUERAS-CASTILLO, E.; KALINIC, Z.; MARINKOVIC, V.; LIÉBANA-CABANILLAS, F. J. A mixed analysis of perceptions of electric and hybrid vehicles. **Energy Policy**, v. 136, p. 111076, 2020.

HÖFER, T.; MADLENER, R. A participatory stakeholder process for evaluating sustainable energy transition scenarios. **Energy Policy**, v. 139, p. 111277, 2020.

KAISER, F. G.; WILSON, M. Goal-directed conservation behavior: The specific composition of a general performance. **Personality and Individual Differences**, v. 36, n. 7, p. 1531-1544, 2004.

KNEEBONE, S.; SMITH, L.; FIELDING, K. Whose view do we use? Comparing expert water professional and lay householder perspectives on water-saving behaviours. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 10, p. 884-895, 2020.

KOHONEN, T. Essentials of the self-organizing map. **Neural Networks**, v. 37, p. 52-65, 2013.

LEE, J.; HALEY, E. Green consumer segmentation: consumer motivations for purchasing pro-environmental products. **International Journal of Advertising**, v. 41, n. 8, p. 1477-1501,

2022.

LESSMANN, O.; MASSON, T. Sustainable consumption in capability perspective: Operationalization and empirical illustration. **Journal of Behavioral and Experimental Economics**, v. 57, p. 64-72, 2015.

LIMA, P. A. B.; LUIZ, O. R.; FALGUERA, F. P. S.; FURLAN, M.; MARIANO, E. B.; DE GROOT, J. I. M. More than moral motivations: The moderating role of human capabilities on the relationship between personal norms and pro-environmental behavior. **Journal of Cleaner Production**, v. 425, p. 139034, 2023.

LIMA, P. A. B.; PAIÃO JÚNIOR, G. D.; SANTOS, T. L.; FURLAN, M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R.; FERRAZ, D.; MARIANO, E. B. Sustainable human development at the municipal level: a data envelopment analysis index. **Infrastructures**, v. 7, n. 2, p. 12, 2022.

LIMA, P. A. B.; JESUS, G. M. K; ORTIZ, C. R.; FRASCARELI, F. C. O; SOUZA, F. B.; MARIANO, E. B. sustainable development as freedom: Trends and opportunities for the circular economy in the human development literature. **Sustainability**, v. 13, n. 23, p. 13407, 2021.

LUIZ, O.R. **Análise das relações entre liberdades e inovação frugal sob a perspectiva da abordagem das capacidades**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru. 2022

MARKLE, G. L. Pro-environmental behavior: Does it matter how it's measured? Development and validation of the pro-environmental behavior scale (PEBS). **Human Ecology**, v. 41, p. 905-914, 2013.

MELIN, P.; MONICA, J. C.; SANCHEZ, D.; CASTILLO, O. (2020). Analysis of spatial spread relationships of coronavirus (COVID-19) pandemic in the world using self organizing maps. **Chaos, Solitons & Fractals**, 138, 109917.

NUSSBAUM, M. C. **Women and human development: The capabilities approach**. Cambridge university press, 2000.

PAINI, D. R. et al. Global threat to agriculture from invasive species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 27, p. 7575–7579, 2016.

SARGISSON, R. J.; DE GROOT, J. I. M.; STEG, L. The relationship between sociodemographics and environmental values across seven European countries. **Frontiers in Psychology**, v. 11, p. 2253, 2020.

SIMON, Judit et al. Operationalising the capability approach for outcome measurement in mental health research. **Social science & medicine**, v. 98, p. 187-196, 2013.

SIMON, J.; ANAND, P.; GRAY, A.; RUGKÅSA, J.; YEELES, K.; BURNS, T. (2013). Operationalising the capability approach for outcome measurement in mental health research. **Social Science & Medicine**, 98, 187-196.

STEG, L.; VLEK, C. Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. **Journal of Environmental Psychology**, v. 29, n. 3, p. 309-317, 2009.

TEWARI, A.; MATHUR, S.; SRIVASTAVA, S.; GANGWAR, D. Examining the role of receptivity to green communication, altruism and openness to change on young consumers' intention to purchase green apparel: A multi-analytical approach. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 66, p. 102938, 2022.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Annual Report 2023**. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/annual-report-2023>. Acessado em 31 de Março de 2024.

VAN DER WERFF, E.; STEG, L. One model to predict them all: Predicting energy behaviours with the norm activation model. **Energy Research & Social Science**, v. 6, p. 8-14, 2015.

VLAOVIĆ, Ž. D.; STEPANOV, B. L.; ANDELKOVIĆ, A. S.; RAJS, V. M.; ČEPIĆ, Z. M.; TOMIĆ, M. A. Mapping energy sustainability using the Kohonen self-organizing maps - Case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 412, 2023.

WANG, C. Efficient customer segmentation in digital marketing using deep learning with swarm intelligence approach. **Information Processing & Management**, v. 59, n. 6, p. 103085, 2022.

WEHRENS, R.; KRUISSELBRINK, J. Flexible Self-Organizing Maps in kohonen 3.0. **Journal of Statistical Software**, v. 87, n. 7, 2018.