

Índice de inovação tecnológica em pesquisas biotecnológicas na amazônia por meio de *analytic hierarchy process*

Index of Technological Innovation in Biotechnological Research in the Amazon through Analytic Hierarchy Process

José Ednaldo Zane Ferreira¹, Augusto César Barreto Rocha², Dimas José Lasmar³, Andréa Regina Martins de Carvalho⁴, Wagner Bernardo Cavalcanti⁵

Como citar esse artigo. FERREIRA, J. E. Z. ROCHA, A. C. B. LASMAR, D. J. CARVALHO, A. R. M. CAVALCANTI, W. B. Índice de inovação tecnológica em pesquisas biotecnológicas na amazônia por meio de *analytic hierarchy process*. *Mosaico - Revista Multidisciplinar de Humanidades*, Vassouras, v. 16, n. 1, p. 286-299, jan./abr. 2025.



Resumo

): O presente estudo aborda utilização da análise multicritério por meio da *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como ferramenta que possibilite identificar e atribuir o índice de inovação tecnológica de trabalhos oriundos dos programas de pós-graduação Rede Bionorte e PPGBiotec. Como objetivo, procura-se por meio da utilização de AHP a possibilidade da atribuição de um índice em trabalhos de pesquisa, pois com o uso da forma tradicional o julgamento e atribuição de notas valores seriam complexas e questionáveis. Justifica-se a relevância da pesquisa pela necessidade de avaliar ou classificar pesquisas biotecnológicas por meio de uma ferramenta matemática de atribuição de índices. No estudo utilizou-se uma metodologia exploratória dividida em seis etapas, onde foram geradas as matrizes e simulada avaliação com análises de dados, passo a passo, buscando a comprovação do resultado. Após a simulação matemática por meio da AHP foi possível constatar a possibilidade de atribuir um índice que classifique e atribua índices as pesquisas, essa afirmativa poderá permitir melhoria na avaliação dos trabalhos de pesquisas dos programas de pós-graduação Rede Bionorte e PPGBiotec.

Palavras-chave: Pesquisa biotecnológica, Análise Multicritério, AHP, Índice de inovação.

Nota da Editora. Os artigos publicados na Revista Mosaico são de responsabilidade de seus autores. As informações neles contidas, bem como as opiniões emitidas, não representam pontos de vista da Universidade de Vassouras ou de suas Revistas.

Abstract

This study addresses the use of multi-criteria analysis through the Analytic Hierarchy Process (AHP) as a tool that enables the identification and assignment of a technological innovation index to research works from the Bionorte Network and PPGBiotec postgraduate programs. The objective is to explore the possibility of assigning an index to research works using AHP, as the traditional method of judgment and grading would be complex and questionable. The relevance of the research is justified by the need to evaluate or classify biotechnological research and make it more reliable through a mathematical tool for assigning indices. In the study, an exploratory methodology divided into six stages was used, where matrices were generated and data analysis was simulated step by step, seeking to prove the result. After the mathematical simulation using AHP, it was possible to confirm the feasibility of assigning an index that classifies and assigns indices to the research, a statement that could improve the evaluation of research works in the Bionorte Network and PPGBiotec postgraduate programs.

Keywords: Biotechnology Research, Multi-Criteria Analysis, AHP, Innovation Index.

Afiliação dos autores:

¹Doutor em Biotecnologia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

²Doutor em Engenharia de Transporte. Professor do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

³Doutor em Engenharia de Produção. Professor do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

⁴Mestre em Saúde Coletiva. Professora da Faculdade Metropolitana de Manaus, Manaus-Am, Brasil

⁵Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação. Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

E-mail de correspondência: ednaldozane@gmail.com

Recebido em: 19/08/2024. Aceito em: 21/01/2025.

Introdução

Estudos apresentados nos programas de pós-graduação Rede Bionorte (Programa Multi-institucional envolvendo os nove estados da Amazônia) e PPGBiotecl da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, entre os anos de 2010 e 2020 possuem temas relacionados a Biotecnologia com variadas pesquisas, algumas delas de cunho bibliográfico, experimental, com propositura de aplicabilidade em forma de produto ou processo. O processo de propositura destas pesquisas passa por uma análise de maturidade tecnológica com perspectiva de inovação, entretanto não existem instrumentos para avaliar o quanto as pesquisas desses programas transferem conhecimento e tecnologia para o mercado e qual o tipo e grau da inovação dessas pesquisas.

Pesquisas podem ser niveladas pelo grau de maturidade tecnológica, por meio do *Technology Readiness Level* (TRL) (Mankins, 1995). O TRL foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para permitir a avaliação da maturidade de uma determinada tecnologia e a comparação consistente de maturidade entre os diferentes tipos de tecnologias em desenvolvimento, ou seja, é uma escala utilizada para dar suporte à tomada de decisão (ANPEI, 2017).

O TRL utiliza de escalas para realizar a análise. Mantendo essa linha de raciocínio a pesquisa procurou estudar a possibilidade da utilização de escala e critérios para atribuir uma nota ou índice do nível de inovação tecnológica de uma pesquisa. Neste contexto análise multicritério torna-se uma possibilidade, pois utiliza métodos que aborda difíceis decisões em organizações porque auxiliam os gestores em situações de incerteza, complexidade e objetivos conflitantes, fornecendo ao usuário classificações e rankings das informações (Wang, 2010; Saaty, Vargas, 2012).

A contribuição da pesquisa foi na apresentação da possibilidade de uso de uma ferramenta matemática para avaliar a transferência de conhecimento tecnológico e inovação nas pesquisas na área de biotecnologia em Programas de Pós-Graduação na Amazônia brasileira.

Metodologia

A pesquisa utilizou de metodologia qualquantitativo. Segundo Santos e Guedes (2018) a pesquisa caracterizada como de caráter qualquantitativo, possibilita uma base contextual mais proveitosa para a análise e interpretação dos dados. Para Goldemberg (2000), o uso dessas duas abordagens reúne um “conjunto de diferentes pontos de vista e diferentes maneiras de coletar e analisar os dados (qualitativa e quantitativamente) que permite uma ideia mais ampla e inteligível da complexidade do problema”.

Após a delimitação da metodologia utilizada para nortear a pesquisa, o próximo passo foi a consulta à base de dados dos programas de pós-graduação Rede Bionorte e PPGBiotecl, esta consulta obedeceu a seguinte ordem de ações: i. identificação de trabalhos de pesquisa que abordaram nos últimos dez anos o tema Cadeias Produtivas; ii. Utilização de método de comparação para análise de dados empíricos, fazendo uso de ferramenta matemática para atribuir índice de inovação do trabalho pesquisado, por linha temática.

Identificadas as pesquisas que trataram de Cadeia Produtiva, adotaram-se os seguintes meios metodológicos: a) Em virtude dos trabalhos, que em sua maioria tratam de pesquisa básica, realizou-se uma pesquisa sobre o uso da análise multicritério em pesquisas científicas. Verificou-se se foi utilizado o método para atribuir índice de inovação e se houve ferramenta para cálculo de índice de inovação de pesquisa biotecnológica, substituindo o empirismo por métricas; e b) Esta pesquisa foi realizada de maneira exploratória descritiva.

O trabalho seguiu as seguintes etapas da pesquisa:

- i) pesquisa relacionada ao método de análises multicritérios e sua forma conceitual para melhor entendimento e possível aplicação;
- ii) identificação de trabalhos biotecnológicos que utilizaram análises multicritérios, analisar modelos

difundidos na análise de projetos e tomadas de decisões;

iii) consulta a especialistas para elaboração de tabela de pesos. Estes atribuíram os pesos, conforme a complexidade ou níveis de inovações desenvolvidas ou apresentadas nas pesquisas analisadas neste estudo;

iv) modelagem conceitual de ferramenta para recebimento de dados e aplicação de modelo análises multicritérios proposto neste trabalho para gerar como resultado o índice de inovação dos trabalhos de pesquisa;

v) criação de matriz de julgamento com critérios sobre os trabalhos constante na Matriz, uma vez que alguns são baseados em revisões bibliográficas, sendo necessário remover o empirismo e atribuir notas relacionadas a cada pesquisa;

vi) visando testar se o modelo proposto atendia aos objetivos, foi necessário rastrear e testar matriz de julgamento com a utilização do menor grupo do trabalho, neste caso, o tema correlato de biocombustíveis.

Referencial teórico

Análise Multicritério

Conforme Medeiros (2017), por meio da utilização da análise multicritério é possível elaborar um índice para avaliação do potencial de inovação sustentável de pesquisas científicas no campo da biotecnologia e realizar a escolha dentre os projetos elegendo aquele que apresentou maior chance de sucesso produtivo. Análises multicritérios têm auxiliado gestores a tomarem decisão sobre grau de inovação ou aceitação de um produto no mercado.

O processo de decisão está associado à necessidade de se atender a objetivos conflitantes na escolha pela opção considerada como a melhor forma entre um rol de alternativas viáveis, sendo geralmente uma atividade complexa de abordagem multicritério de apoio à tomada de decisão e incerteza sobre os aspectos envolvidos (Saaty & Vargas, 2012).

Entretanto, realizar a escolha entre as possíveis variáveis para solucionar qualquer problema é o fator desafiador de qualquer responsável pela tomada de decisão, neste sentido a abordagem multicritério pode ser uma aliada no processo decisório, entretanto o uso desta requer enfrentar uma série de desafios, a fim de proporcionar resultados do modelo que são relevantes para efeitos de análise.

O problema mais encontrado para a utilização da aplicação é a falta de análise de incerteza, definições pouco claras de limites do sistema, a sobreposição de critérios, resultando em dupla contagem de efeitos e definições pouco claras de escalas de desempenho (Rosén et al., 2015).

O método multicritério é projetado para conseguir levar em conta uma ampla variedade de fatores nas tomadas de decisões e não apenas a maximização do lucro, como seria o caso em ferramentas mais convencionais. Deve-se levar em consideração que algumas decisões são tomadas baseadas em critérios empíricos, onde o fator quantitativo não é decisório. Para esses casos o Método de Análise Hierárquica de Processos tem se destacado como meio mais popular no processo de análise e tomada de decisão.

Conforme Leite e Freitas (2012), a Escola Americana e a Escola Francesa são as principais linhas de estudo para análise multicritério, são respectivamente representadas pelos métodos: *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Elimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE).

AHP - Analytic Hierarchy Process

O AHP - *Analytic Hierarchy Process* (MAH - Método de Análise Hierárquica) é um método que auxilia no processo decisório com múltiplos critérios de estruturação hierárquica. O método tem tido larga aplicação, desde as aplicações pessoais até questões de grande valor ou que envolvem aspectos qualitativos.

Desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty, desde então extensamente estudado, e atualmente é aplicado para tomadas de decisão em diversos casos e cenários complexos, este método auxilia a pessoas que trabalham em conjunto tomarem decisões importantes, onde geralmente as percepções humanas podem influenciar e repercutir de maneira negativa no processo. (Bhushan; Rai, 2004).

Segundo Gomes, Gonzalez, Carignano (2004), o problema é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação. No AHP a decisão é realizada através da divisão em etapas: i) definição do problema e conhecimento procurado; ii) estruturação da hierarquia de decisão com o objetivo no topo, num nível intermediário os critérios, e no nível mais baixo o conjunto de alternativas; iii) construção do conjunto de matrizes para comparação dos pares; e iv) processo do uso das prioridades obtidas nas comparações anteriores para pesar as prioridades nos níveis imediatamente abaixo, deve ser feito do nível inferior (ou subcritérios), relativamente aos critérios superiores (Saaty, 2008).

O método AHP consolidou-se como ferramenta de tomada de decisão para quesito de escolhas, por este motivo este método também pode ser utilizado para analisar o resultado da pesquisa e evidenciar a importância de atribuir um índice de inovação aos trabalhos desenvolvidos pelos Programas de Pós-Graduação em Biotecnologia na Amazônia.

Na consulta a base de dados, foram encontradas pesquisas com diversos resultados, desde geração de produto a pesquisas bibliométricas. Algumas pesquisas podem não resultar em um produto ou algo facilmente mensurável em termos de inovação, entretanto, por intermédio deste método de utilização de meios matemáticos, é possível evitar o empirismo e comprovar resultados contendo inovação ou refutá-los. O conceito da AHP é baseado na decomposição em hierarquia de critérios, estas mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo separadas. A Figura 01 esquematiza a estrutura da AHP.

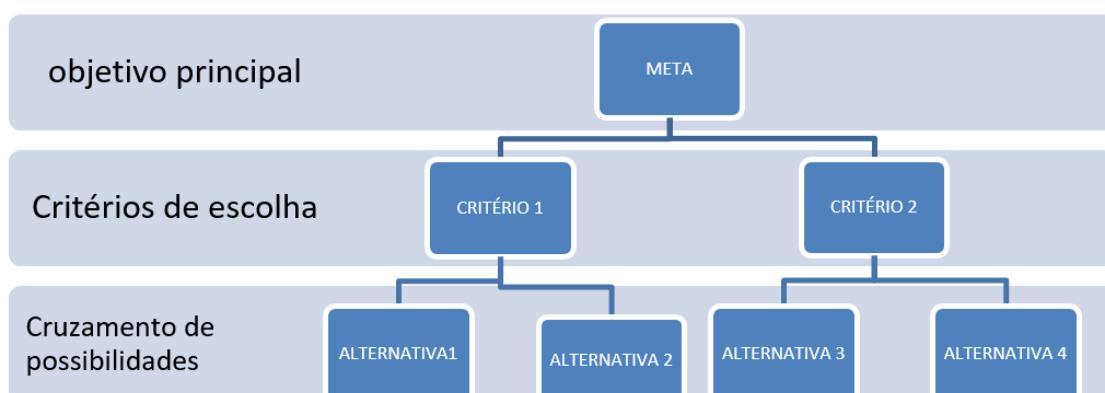


Figura 01. Estruturação Hierárquica do modelo AHP

Fonte. Autor, adaptado de SAATY, 2008

Nota-se que a partir do momento em que essa hierarquia está construída, as alternativas devem ser comparadas par a par, segundo cada critério para tomada de decisão, até chegar no objetivo principal. Os números de critérios podem ser em maior quantidade, nisso, tomadores de decisão sempre avaliam as alternativas por meio da comparação, de duas a duas, dentro de cada um dos critérios. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente (Saaty, 2008).

Por ser uma análise baseada no conhecimento, ou seja, no empirismo, recomenda-se que esta análise seja feita por especialistas ou pelos responsáveis da tomada de decisão, estes devem estruturar a análise em forma de uma matriz de escolha ou matriz de decisão.

No campo da biotecnologia, Carneiro *et al.* (2018) realizou uma análise no campo hierárquico utilizando o método AHP para descrever os principais riscos no desenvolvimento em biotecnologia. Metodologicamente o estudo de Carneiro utilizou de questionários e contou com a colaboração de especialistas como avaliadores, entretanto, suas avaliações consistiram em análises bibliográficas, o autor em suas considerações destaca como aspecto futuro a importância da realização da análise em empresas que trabalham no desenvolvimento de produtos de base biotecnológica.

Escala SAATY (Escala de comparação)

A comparação entre dois elementos utilizando o AHP pode ser realizada de diferentes formas (Triantaphyllou; Mann, 1995). Gomes, Araya e Carignano (2004) lembram que Saaty observou, apesar das diferenças dos estímulos seguirem uma escala geométrica, a percepção dos indivíduos obedece a uma escala linear. A escala proposta por Saaty (2008) é utilizada atribuindo valores que variam entre 1 a 9, a escala determina a importância relativa de uma alternativa com relação a outra, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Modelo de escala SAATY.

ESCALA SAATY		
Escala	Avaliação Numérica	Recíproco
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte. Saaty (2008)

Para utilizar a tabela Saaty, procurou-se empregar números ímpares para assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. Recomenda-se o uso dos números pares somente quando existir a necessidade de negociação entre avaliadores ou quando o consenso não for obtido, neste caso é necessário gerar um ponto médio como solução negociada (Saaty, 1980).

O fato do ser humano possuir um limite psicológico, onde pode julgar corretamente no máximo de 5 a 9 pontos e visando distinguir essas diferenças, definiu-se uma escala para as avaliações, contendo 5 pontos de avaliação mais 4 pontos intermediários, esta foi denominada Escala Fundamental de Saaty (Vargas, 2010).

Método AHP e a Inovação

O método AHP é um método multicritério bastante utilizado para avaliar e gerar resultados por meio de índices e auxiliar a tomada de decisões que a princípio seriam baseadas no empirismo. Por vezes, as tomadas de decisão são realizadas por meio de análises que sofrem influência humana, por meio do método multicritério é possível realizar avaliações abstraindo ao máximo a influência de avaliação parcial e transformar em escala matemática os resultados,

De acordo com Bisneto e Lins (2016), a inovação é parte essencial para que ocorra a manutenção e a renovação nas empresas, mantendo-as competitivas. A inovação não deve ser referida apenas a algo novo, mas também a melhorias, sejam pequenas ou grandes e tendo como resultados não apenas retornos financeiros, como também sociais, permitindo alcançar melhorias em diversos âmbitos.

Churchill, Hippel e Sonnack (2009) argumentam que a experiência em pesquisa de mercado tem mostrado que usuários comuns não conseguem prever com precisão o que eles precisarão e desejarão no futuro. Neste sentido, existe uma oportunidade para pesquisa de produtos inovativos, pois baseado em pesquisas multicritérios é possível analisar comportamento de mercado e oportunidades econômicas.

Com o uso da aplicação de técnicas para tomada de decisão multicritério (MCDM– *Multicriteria Decision Making*) é possível auxiliar na medição da satisfação e das preferências dos clientes. Tais informações podem ajudar os projetistas a identificarem quais alternativas de produtos são competitivas para produção futura (Li; Liu; Li, 2014)

No setor de tecnologia, Lin et al. (2016) propôs um método baseado nas técnicas ANP, DEMATEL e VIKOR para avaliar as preferências de usuários de plataformas de música digital e assim permitindo projetar novos produtos e direcionar decisões.

Síntese dos resultados

Após análise dos dados coletados nos programas de pós-graduação e dando continuidade dos resultados, apresenta-se a Figura 2, nela consta graficamente o panorama dos resultados do trabalho, contendo todas as informações referente a distribuição e alocação dos graus de inovações dos trabalhos pesquisados.

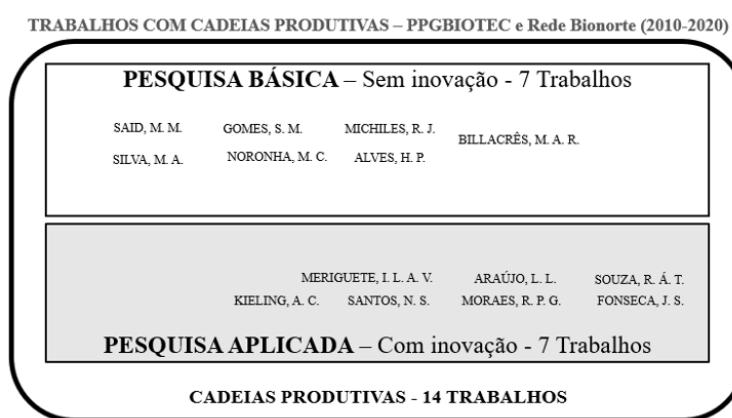


Figura 2. Totais de trabalhos e trabalhos contendo e não contendo inovação

Fonte. Autor, adaptado de PPGBIOTEC e Rede Bionorte

Por meio da Figura 2, observou-se que o universo pesquisado sobre o tema Cadeias Produtivas é de 14 trabalhos. Desse universo, sete foram classificados como pesquisas básicas e sete como pesquisas aplicadas. Observou-se, ainda, sete desse total contendo inovações tecnológicas e sete não.

Na Figura 2, destacou-se também os nomes dos autores de cada classificação e, também, os tipos de trabalhos minerados da base de dados, a saber: Biocombustível, Frutos, Transferência de Tecnologia e Políticas Públicas.

Os autores que desenvolveram seus trabalhos na temática “Biocombustível” foram classificados totalmente como pesquisa aplicada. Os demais com temáticas de: “Frutos, Transferência de tecnologia e Políticas Públicas” alguns foram do tipo pesquisas básicas e outros de pesquisas aplicadas.

Análise Multicritério das informações coletadas de base de dados

Utilizando o AHP, a próxima etapa consistiu em analisar as informações da pesquisa e iniciar o processo de identificação do índice de inovação nos trabalhos encontrados em pesquisa a Base de Dados. Para que esse processo ocorresse, o primeiro passo foi estabelecer uma árvore de critérios.

Os critérios foram características das alternativas que influenciaram na decisão. Os critérios podem ser do tipo qualitativos, tais como cor, qualidade, aparência e etc., ou quantitativos tais como preço, lucro, distância e etc. O conjunto dos critérios deve ser completo (deve conter de fato o que influencia na decisão), porém, é importante evitar critérios redundantes, pois tal prática pode acarretar uma contagem dupla para um mesmo tipo de desempenho (Keeney; Raiffa, 1993).

Velasco e Freitas (2014) explicam que o método se divide em cinco etapas: i) Definição dos critérios, subcritérios e as alternativas; ii) Aquisição dos julgamentos comparativos, avaliação das alternativas em relação aos critérios; iii) Determinação das prioridades locais; iv) Determinação das prioridades globais das alternativas; e v) Verificação das consistências dos julgamentos.

Os critérios/subcritérios e alternativas, assim como o próprio foco principal, foram representados pela estrutura hierárquica, destacando visualmente os aspectos do pensamento humano na tomada de decisão. Analisados os trabalhos coletados, foi elaborada a árvore de critérios, conforme. Figura 3:

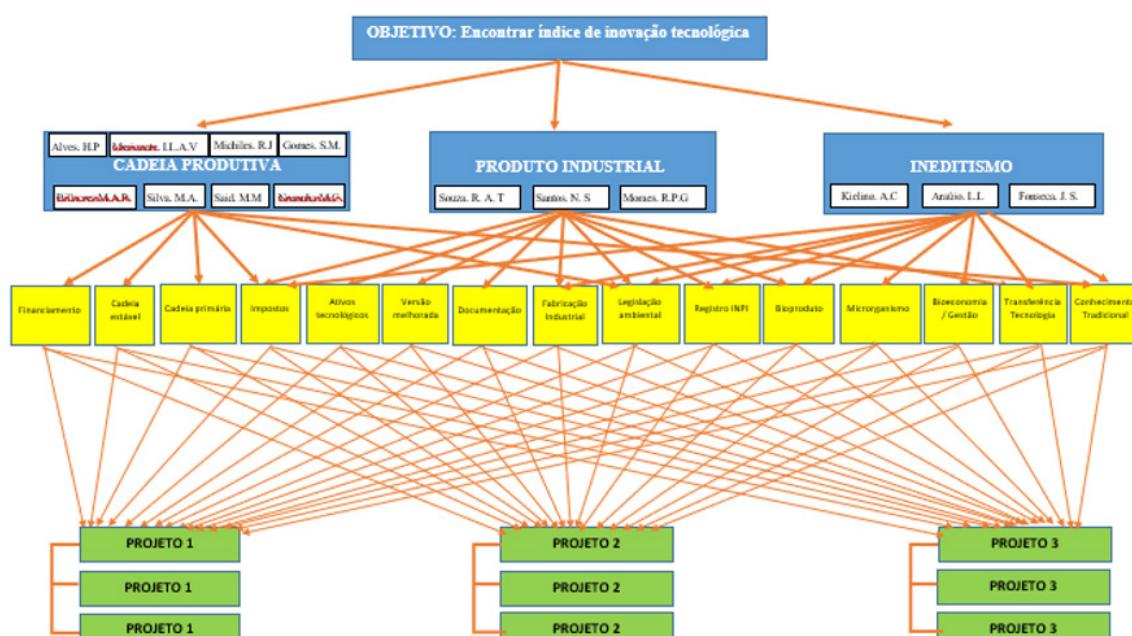


Figura 3. Árvore de critérios

Fonte. Elaborado pelo autor, 2023

O AHP transformou as comparações em valores numéricos que foram analisados e comparados, permitindo uma avaliação de cada elemento dentro da hierarquia seguindo o peso que lhe foi atribuído. Essa capacidade de converter dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras ferramentas comparativas (Vargas, 2010).

O objetivo da utilização da estrutura da AHP foi encontrar o índice de inovação dos trabalhos coletados na pesquisa secundária, após esta primeira etapa de estruturação da árvore de critérios, foi necessário rastrear toda hierarquia por meio do conceito elaborado por Saaty, conforme os cálculos.

Esta fase da pesquisa trabalhou no desenvolvimento de um modelo em que pudesse ser utilizado em diversos cenários, com isso, sua utilização se tornou ampla na busca da identificação do índice. A árvore de critérios foi fundamental para identificar e dar importância a cada critério avaliativo para gerar o índice inovativo da pesquisa. A árvore de critérios foi dividida em três níveis.

O rastreamento dos níveis ocorre de forma “*down up*” (de baixo para cima), pois o modelo matemático de Saaty trabalha desta maneira e sua compreensão torna-se melhor sobre a árvore de critérios.

O terceiro nível disse respeito a rastrear o projeto em todos os subcritérios encontrando suas interligações, ou seja, saber se o projeto apresentou o requisito. Exemplifica-se:

Se o projeto 1 possuiu possibilidade de receber financiamento de alguma fonte, privada ou pública, se preencheu requisitos legais para pleitear tal ação;

Se o projeto pertenceu a uma cadeia estável;

Se projeto pertenceu a uma cadeia primária;

Se o projeto fomentou(rá) o recolhimento de impostos (municipal, estadual ou federal);

Se o projeto gerou(rá) ativos tecnológicos;

Se o projeto é uma versão melhorada de um produto;

Se o projeto possuiu documentação detalhada de sua elaboração com todos os dados e informações necessárias para sua produção ou replicação;

Se o projeto apresentou possibilidade de produção industrial ou é apenas um produto de pesquisa sem possibilidade/viabilidade industrial;

Se o projeto obedeceu às legislações ambientais;

Se o projeto possuiu registro no INPI concedido ou em processo, ou em hipótese mais ampla, se possuiu documentação que torne possível realizar depósito de pedido de patente;

Se o projeto gerou um bioproduto;

Se o projeto trabalhou com microrganismo;

Se o projeto tratou de bioeconomia, por meio de exploração, modelo de negócio ou de alguma forma fomentou bioeconomicamente o mercado;

Se o projeto permitiu a Transferência de Tecnologia;

Se o projeto utilizou o conhecimento tradicional.

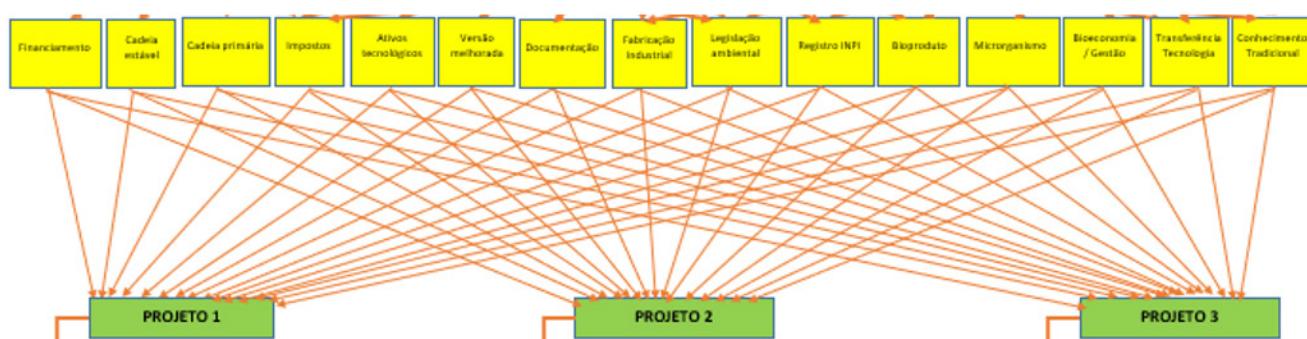


Figura 4. Árvore de critérios em 3º nível (subcritérios)

Fonte. Elaborado pelo autor

O terceiro nível da árvore de critérios, conforme apresentado na Figura 4, correspondeu ao rastreamento entre as possibilidades de classificação do projeto em cada subcritério, por exemplo. Um projeto que abordou um tema especificamente sobre cadeias produtivas fez relação direta com os subcritérios de financiamento, cadeia estável, cadeia primária, impostos, legislação ambiental e transferência de tecnologia, conforme Figura 4.

Após o projeto ser classificado no terceiro nível, ele passou para o segundo, onde precisou ser identificado em qual tipo de classificação pertence.

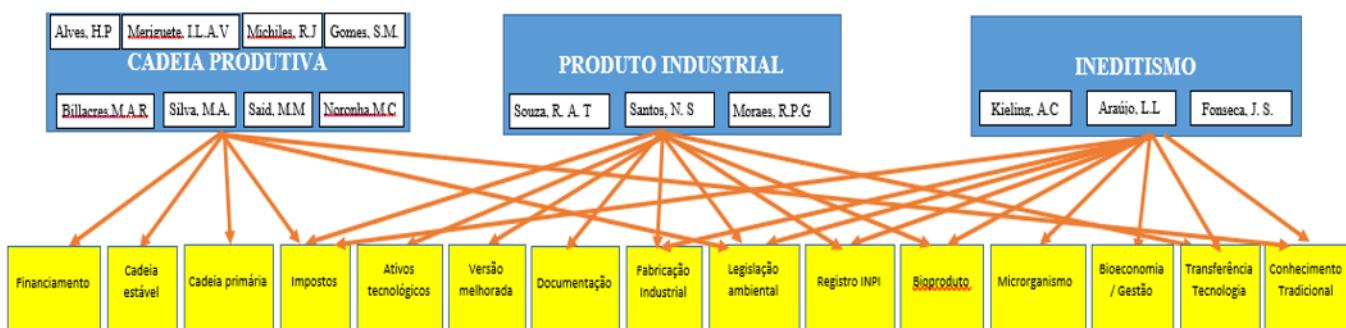


Figura 5. Árvore de critérios em 2º nível (subcritérios)

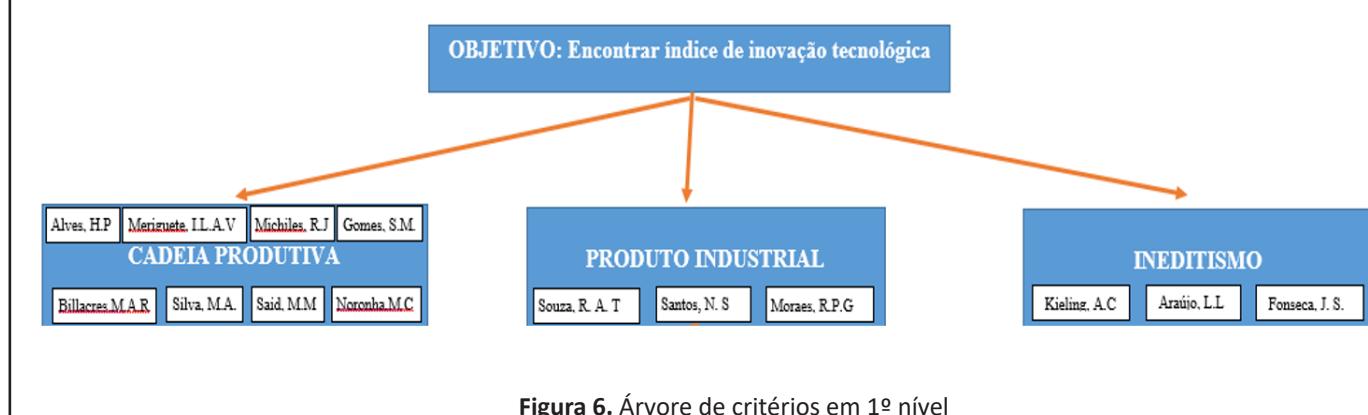
Fonte. Elaborado pelo autor

A Figura 5 exibe três possibilidades de classificações e nestas, a categoria que o projeto poderia pertencer, são elas, um projeto de “cadeia produtiva”, um projeto em forma de um “produto industrial” ou um “projeto inédito”.

Essa classificação não exime a possibilidade de haver mais de uma.

A última etapa para rastrear a árvore, foi relativa aos critérios (primeiro nível), neste caso foram apresentadas três possibilidades, cadeia produtiva, produto industrial e ineditismo, Figura 6.

O Primeiro nível teve objetivo de encontrar o índice de inovação tecnológico baseado em três critérios, o projeto foi recebendo atribuições avaliativas e ao chegar no último critério, foi possível ser classificado em projeto que pertence a uma cadeia produtiva, projeto que é um produto industrial ou projeto que possui ineditismo.

**Figura 6.** Árvore de critérios em 1º nível**Fonte.** Elaborado pelo autor

Após estabelecer os critérios para identificar os requisitos visando saber se a pesquisa possui inovação e, segundo o modelo proposto por Saaty, foi elaborado uma matriz para receber valores de importância atribuídos a cada subcritério.

Uma vez definidos os conjuntos de alternativas e critérios, foi necessário associar um valor numérico ou qualitativo, denotado aqui por c_j (a_i) ou, alternativamente, por p_{ij} , que expresse a avaliação da alternativa i no critério j , $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$. Por exemplo, dado um critério j que representa o preço, então p_{ij} indica o preço da alternativa i . Assim, os dados são organizados de modo matricial, na chamada matriz de decisão ou matriz de desempenho, cujas linhas e colunas representam as alternativas e os critérios, respectivamente. Existem duas formas equivalentes de representar a matriz de decisão P na literatura: Após identificar e rastrear a árvore de critérios, a próxima ação também foi dividida em níveis, na etapa do terceiro nível foi necessário atribuir o grau de importância do projeto.

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ a_1 & \left[\begin{matrix} c_1(a_1) & c_2(a_1) & \dots & c_n(a_1) \\ c_1(a_2) & c_2(a_2) & \dots & c_n(a_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_1(a_m) & c_2(a_m) & \dots & c_n(a_m) \end{matrix} \right] & \equiv & a_1 & \left[\begin{matrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{n2} & \dots & p_{mn} \end{matrix} \right] \\ a_2 & & & & \\ \vdots & & & & \\ a_m & & & & \end{matrix}$$

Figura 07. Matriz NxM para receber valores de importância**Fonte.** Saaty, 2008.

O ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 2012).

Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representaram 1 na escala, apenas metade das comparações precisaram serem feitas, porque a outra metade constitui das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados.

Usualmente, procurou-se utilizar os números ímpares da tabela para assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. O uso dos números pares só deve ser adotado quando existir a necessidade de negociação entre os avaliadores e quando o consenso natural não for obtido, gerando a necessidade de determinação de um ponto médio como solução negociada (Saaty, 1980).

A próxima etapa foi transformar em matriz tipo $m \times n$ em cada nível da matriz de julgamento. A título de exemplificação, foram destacados seis subcritérios: Financiamento, Cadeia Estável, Cadeia Primária, Impostos, Ativos Tecnológicos e versão melhorada.

FINANC	PROJ1	PROJ2	PROJ3		CAD EST	PROJ1	PROJ2	PROJ3		CAD PRI	PROJ1	PROJ2	PROJ3	
PROJ1	1,00	2,00	3,00		PROJ1	1,00	2,00	3,00		PROJ1	1,00	2,00	3,00	
PROJ2	0,50	1,00	2,00		PROJ2	0,50	1,00	2,00		PROJ2	0,50	1,00	2,00	
PROJ3	0,33	0,50	1,00		PROJ3	0,33	0,50	1,00		PROJ3	0,33	0,50	1,00	
SOMA	1,83	3,50	6,00		SOMA	1,83	3,50	6,00		SOMA	1,83	3,50	6,00	
FINANC	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos	CAD EST	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos	CAD PRI	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos
PROJ1	0,55	0,57	0,50	0,54	PROJ1	0,55	0,57	0,50	0,54	PROJ1	0,55	0,57	0,50	0,54
PROJ2	0,27	0,29	0,33	0,30	PROJ2	0,27	0,29	0,33	0,30	PROJ2	0,27	0,29	0,33	0,30
PROJ3	0,18	0,14	0,17	0,16	PROJ3	0,18	0,14	0,17	0,16	PROJ3	0,18	0,14	0,17	0,16
IMPOST	PROJ1	PROJ2	PROJ3		ATV TEC	PROJ1	PROJ2	PROJ3		VER MELH	PROJ1	PROJ2	PROJ3	
PROJ1	1,00	2,00	3,00		PROJ1	1,00	3,00	2,00		PROJ1	1,00	0,50	0,33	
PROJ2	0,50	1,00	2,00		PROJ2	0,33	1,00	5,00		PROJ2	2,00	1,00	3,00	
PROJ3	0,33	0,50	1,00		PROJ3	0,50	0,20	1,00		PROJ3	3,00	0,33	1,00	
SOMA	1,83	3,50	6,00		SOMA	1,83	4,20	8,00		SOMA	6,00	1,83	4,33	
IMPOST	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos	ATV TEC	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos	VER MELH	PROJ1	PROJ2	PROJ3	Pesos
PROJ1	0,55	0,57	0,50	0,54	PROJ1	0,55	0,71	0,25	0,50	PROJ1	0,17	0,27	0,08	0,17
PROJ2	0,27	0,29	0,33	0,30	PROJ2	0,18	0,24	0,63	0,35	PROJ2	0,33	0,55	0,69	0,52
PROJ3	0,18	0,14	0,17	0,16	PROJ3	0,27	0,05	0,13	0,15	PROJ3	0,50	0,18	0,23	0,30

Figura 8. Análise de estrutura de matriz em terceiro nível.

Fonte. Autor

A Figura 8, aglutinaram valores atribuídos a cada subcritério utilizando matrizes 3x3 baseada no conceito de Saaty (matriz de julgamento), percebeu-se que a linha diagonal foi atribuída valor igual na classificação de importância.

A seguir, foi necessário escalar a matriz de julgamento e transformar em matriz de valores atribuídos no segundo nível, ver Figura 9.

CAD PROD	FINANC	CAD ESTA	CAD PRIM	IMPOST	LEG AMB	CONH TRAD		PROD IND	IMPOST	ATV TEC	VER MELH	DOCUM	FAB INDUS	LEGISL	REG INPI	BIOPROD	TRANS TEC	
FINANC	1,00	0,14	1,00	0,33	0,07	0,14		IMPOST	1,00	0,20	0,33	0,33	0,20	0,25	0,33	0,14	0,20	
CAD ESTA	7,00	1,00	0,11	0,20	0,33	0,25		ATV TEC	5,00	1,00	0,33	0,25	1,00	0,50	1,00	0,33	0,20	
CAD PRIM	1,00	9,00	1,00	0,33	0,25	0,14		VER MELH	3,00	3,00	1,00	1,00	0,33	0,50	0,20	0,14	0,25	
IMPOST	3,00	5,00	3,00	1,00	0,50	0,11		DOCUM	3,00	4,00	1,00	1,00	0,50	0,33	0,14	0,20	0,14	
LEG AMB	5,00	3,00	4,00	2,00	1,00	0,14		FAB INDUS	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,50	
CONH TRAD	7,00	4,00	7,00	9,00	7,00	1,00		LEGISL	4,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	
								REG INPI	3,00	1,00	5,00	7,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,25	
								BIOPROD	7,00	3,00	7,00	5,00	4,00	3,00	3,00	1,00	0,20	
								TRANS TEC	5,00	5,00	4,00	7,00	2,00	4,00	5,00	3,00	1,00	
SOMA	24,00	22,14	16,11	12,87	9,15	1,79		SOMA	36,00	24,20	23,67	26,58	14,03	12,08	11,51	5,74	2,99	
CAD PROD	FINANC	CAD ESTA	CAD PRIM	IMPOST	LEG AMB	CONH TRAD	Pesos	PROD IND	IMPOST	ATV TEC	VER MELH	DOCUM	FAB INDUS	LEGISL	REG INPI	BIOPROD	TRANS TEC	Pesos
FINANC	1,00	0,01	0,06	0,03	0,01	0,08	0,20	IMPOST	1,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,07	0,11
CAD ESTA	0,29	1,00	0,01	0,02	0,04	0,14	0,25	ATV TEC	0,14	1,00	0,01	0,01	0,07	0,04	0,09	0,06	0,07	0,13
CAD PRIM	0,04	0,41	1,00	0,03	0,03	0,08	0,26	VER MELH	0,08	0,12	1,00	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,08	0,13
IMPOST	0,13	0,23	0,19	1,00	0,05	0,06	0,28	DOCUM	0,08	0,17	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01	0,03	0,05	0,03
LEG AMB	0,21	0,14	0,25	0,16	1,00	0,08	0,30	FAB INDUS	0,14	0,21	0,13	0,08	0,07	0,04	0,03	0,04	0,17	0,05
CONH TRAD	0,29	0,18	0,43	0,70	0,77	1,00	0,56	LEGISL	0,11	0,08	0,08	0,11	0,14	0,08	0,04	0,06	0,08	0,03
								REG INPI	0,08	0,04	0,21	0,26	0,21	0,17	0,09	0,06	0,08	0,04
								BIOPROD	0,19	0,12	0,30	0,19	0,29	0,25	0,26	0,17	0,07	0,07
								TRANS TEC	0,14	0,21	0,17	0,26	0,14	0,33	0,43	0,52	0,33	0,06

Figura 9. Matriz do segundo nível

Fonte. Autor

Os valores atribuídos foram extraídos por escala numérica de Saaty ilustrada na Figura 9, nota-se que na coluna diagonal foi atribuído valor 1, significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro.

Por se tratar de um maior número de subcritérios, foi possível aplicar a escala numérica de maneira mais espaçada, havendo critério de 1 a 9, como demonstrado na tabela CAD PROD.

A próxima fase consistiu em analisar a matriz de primeiro nível, esta é a última a ser percorrida para encontrar o índice de inovação tecnológica.

INDICE INOV	CADEIA PRODUTIVA	PRODUTO INDUSTRIAL	INEDITISMO	
CADEIA PRODUTIVA	1,00	0,14	0,11	
PRODUTO INDUSTRIAL	7,00	1,00	2,00	
INEDITISMO	9,00	0,50	1,00	
SOMA	17,00	1,64	3,11	

INDICE INOV	CADEIA PRODUTIVA	PRODUTO INDUSTRIAL	INEDITISMO	Pesos
CADEIA PRODUTIVA	0,06	0,09	0,04	0,06
PRODUTO INDUSTRIAL	0,41	0,61	0,64	0,55
INEDITISMO	0,53	0,30	0,32	0,39

Figura 10. Matriz do primeiro nível

Fonte. Autor, 2023.

Na matriz de primeiro nível na Figura 10, a pesquisa demonstrou atribuição de níveis de importância para categorizar o índice de inovação, onde, o fato de o trabalho pertencer a uma cadeia produtiva pode não apresentar inovação, entretanto, o grau de importância aumenta caso trate de um produto industrial e se ele for um produto inédito é absolutamente mais importante e com certeza é um produto inovador.

Como em todas as matrizes numéricas, foi necessário encontrar o peso, pois é por meio dele que a próxima etapa fará o cálculo dos pesos atribuídos a cada critério e subcritério.

A Figura 11 foi composta pela junção de todos os pesos e o cálculo para encontrar o índice tecnológico de cada projeto.

ÍNDICE DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA											
0,06						0,55					
CADEIA PRODUTIVA						PRODUTO INDUSTRIAL					
0,196923	0,248371	0,2635283	0,2756237	0,304559	0,561884	0,113594	0,128108	0,134144	0,03232	0,052473447	0,030918
PROJETO 1	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,54	0,50	0,52	0,54	0,93	0,50
PROJETO 2	0,30	0,30	0,30	0,30	0,33	0,30	0,35	0,52	0,38	0,33	0,30
PROJETO 3	0,16	0,16	0,16	0,16	0,14	0,16	0,15	0,30	0,16	0,14	0,42

Por fim, para encontrar o índice foi realizado o seguinte cálculo matemático

$$\text{Peso}(\text{nível1}) * \sum \text{nível2} + \text{Peso}(\text{nível1}) * \sum \text{nível2} + \text{Peso}(\text{nível1}) * \sum \text{nível2}$$

Os resultados destes cálculos geraram o índice de inovação tecnológica do grupo, neste é possível identificar que o projeto 1 foi caracterizado com maior índice de inovação.

Considerações finais

A pesquisa demonstrou a viabilidade de atribuir um índice de inovação tecnológica em trabalhos de pesquisas biotecnológicas de Programas de Pós-Graduação na Amazônia, destaca-se, que a importância em atribuir o índice de inovação está pautada em mensurar o trabalho de pesquisa, pois até o momento sua relevância é um fator dependente de um avaliador. Se um trabalho possui relevância tecnológica é importante mensurar esta relevância e, se necessário, criar um ranking de classificação. Espera-se que pesquisas biotecnológicas apresentem soluções que impulsionem o campo de pesquisa e apesentem soluções e produtos que expressem o potencial de exploração e produção.

Demostrou-se com a pesquisa, que encontrar solução de avaliar trabalhos (gerais) e extrair um índice de inovação tecnológica e gerar um ranking, facilitaria a identificação dos níveis de inovações em cada pesquisa; Tais ações auxiliam na tomada de decisão, na classificação e na gestão de projetos.

Para realizar essa identificação de índice, a pesquisa apresentou análise multicritérios como caminhos e nesta, abordou a utilização da AHP como proposta para identificar o índice de inovação tecnológica mostrou-se aplicável, pois seguindo a lógica de atribuição de critérios foi estabelecida uma matriz e esta foi responsável em receber pontuação em cada critério, algo importante para encontrar o índice. Com AHP foi possível realizar avaliação de diversos trabalhos, pois aplicação de matrizes permite ser do tipo $m \times n$.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse de nenhuma natureza.

Referências

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DAS EMPRESAS INOVADORAS - ANPEI. **Guia da Lei do Bem:** o que é inovação para a lei do bem?. Brasília: Letras & Artes Comunicação, 2017. Disponível em: <https://materiais.anpei.org.br/guialeidobem>. Acesso em: 14 abr. 2021
- BISNETO, J. P. M.; LINS, O. B. S. Marques. Gestão da Inovação: uma aproximação conceitual. **Revista Brasileira de Gestão e Inovação.** v.3, n.2, jan./abr. 2016.
- BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process.** New York: Springer, 2004.
- CARNEIRO, R. C. et al.. Principais riscos do processo de desenvolvimento em biotecnologia. **Innovar, Competitividad y Gestión** (2018). 28(70), 55-68. Disponível em <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v28n70/0121-5051-inno-28-70-55.pdf>. Acessado em 20SET22.
- CHURCHILL, J.; HIPPEL, E.; SONNACK, M. Lead user project handbook. **The MIT Press**, 2009.
- GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos.** São Paulo: Editora Thomson Learning, 2004.
- GOMES, L. F. A. M., GONZALEZ, A. M. C, CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão.** São Paulo. Editora Thomson Learning, 2004.

- KEENEY, R. L.; RAIFFA H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. **Cambridge University Press**, 1993.
- LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. **Análise Comparativa dos Métodos de Apoio Multicritério a Decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE**. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, (2012). Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STP_162_944_20906.pdf. Acesso em: 20 out 2022.
- LI, L.; LIU, F.; LI, C. Customer satisfaction evaluation method for customized product development using Entropy weight and Analytic Hierarchy Process. **Computers & Industrial Engineering**, v. 77, November, p. 80-87, 2014.
- LIN, C. et al.. A service selection model for digital music service platforms using ahybrid MCDM approach. **Applied Soft Computing**, v. 48, p. 385-403, 2016.
- MANKINS, J. C. Technology Readiness Levels. A White Paper. April 6, 1995. Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology. NASA. Disponível em: <http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf>.
- MEDEIROS, R. L. **Índice multicritério de Inovação Sustentável para avaliação de pesquisas científicas em biotecnologia**. 2017. 240 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- ROSÉN, L. et al. A novel multicriteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation. **Science of The Total Environment**, 511, p. 621-638, 2015. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.058
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. USA: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L.. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2008.
- SAATY, T. L.. Decision making with the analytic hierarchy process, **International Journal of Services Sciences**, n. 1, v. 1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Methods, concepts & applications of the Hierarchy Process**. New York: Springer, 2012.
- SANTOS, M. J. V. da C., GUEDES, V. L. da S.. "Colégio invisível do cientista Adolpho Lutz na área de Medicina Tropical: análise cientométrica e análise de conteúdo. **Informação & Sociedade**, n. 28, v. 3, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/ies/article/view/42383>
- TRIANTAPHYLLOU, E., MANN S. H. Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. **International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 1995. Disponível em: http://www.csc.lsu.edu/trianta/Journal_PAPERS1/AHPapls1.pdf.
- VARGAS, R. **Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio**. Washington: PMI Global Congress North America, 2010.
- VELASCO, M. H. E; FREITAS, A. L. P.. Emprego de métodos de apoio multicritério à decisão para seleção de uma escola de idiomas. **Revista Produção Online**, 14(4), p. 1433–1451, 2014. Disponivel em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v14i4.1705>
- WANG, W. A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 10, p. 3130-3141,