ReGeo ISSN: 2177-3246

PADRÕES DE SUSTENTABILIDADE: UMA ANÁLISE DE CONCEITOS FORMAIS DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NOS ESTADOS BRASILEIROS

SUSTAINABILITY PATTERNS: A FORMAL CONCEPT ANALYSIS OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN BRAZILIAN STATES

PATRONES DE SOSTENIBILIDAD: UN ANÁLISIS DE CONCEPTOS FORMALES DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN LOS ESTADOS BRASILEÑOS

10.56238/revgeov16n5-242

Gustavo Simas da Silva
Doutorando em Engenharia, Gestão e Mídia do Conhecimento
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
E-mail: simas.gustavo@posgrad.ufsc.br

Vânia Ribas Ulbricht
Doutora em Engenharia de Produção
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
E-mail: vrulbricht@gmail.com

RESUMO
A avaliação do progresso dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil é central para a formulação de políticas públicas, mas análises tradicionais baseadas em rankings frequentemente ocultam as complexas interdependências entre as metas. Este artigo propõe uma abordagem utilizando a Análise de Conceitos Formais para mapear a estrutura de relações entre os ODS e identificar perfis de sustentabilidade nas 27 unidades federativas brasileiras. A partir de dados binarizados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades, foi construído um contexto formal que, ao ser analisado, revelou padrões e hierarquias não-triviais. Os resultados identificaram os ODS que servem como "base" de desempenho no país (como o ODS 11) e extraíram regras de implicação que demonstram sinergias sistêmicas (como a forte relação entre Educação, Equidade e Saúde). Além disso, a FCA permitiu a caracterização de perfis de sustentabilidade distintos entre os estados. Conclui-se que a FCA pode ser uma ferramenta computacional bastante útil para a análise de dados de sustentabilidade, oferecendo uma visão sistêmica que subsidia um planejamento estratégico mais integrado.

Palavras-chave: Análise de Conceitos Formais. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Análise de Dados. Políticas Públicas. Brasil.

ABSTRACT
Assessing the progress of the 17 Sustainable Development Goals in Brazil is central to the formulation of public policies, yet traditional ranking-based analyses often obscure the complex interdependencies between targets. This paper proposes an approach using Formal Concept Analysis to map the relational structure among the SDGs and identify sustainability profiles across Brazil's 27 federative units. Based on binarized data from the Sustainable Cities Development Index, a formal context was constructed which, upon analysis, revealed non-trivial patterns and hierarchies. The results identified the SDGs

that serve as a performance "baseline" in the country (such as SDG 11) and extracted implication rules demonstrating systemic synergies (such as the strong relationship between Education, Equity, and Health). Furthermore, FCA allowed for the characterization of distinct sustainability profiles among the states. It is concluded that FCA can be a highly useful computational tool for the analysis of sustainability data, offering a systemic view that supports more integrated strategic planning.

Keywords: Formal Concept Analysis. Sustainable Development Goals. Data Analysis. Public Policies. Brazil.

RESUMEN

La evaluación del progreso de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en Brasil es central para la formulación de políticas públicas, pero los análisis tradicionales basados en rankings a menudo ocultan las complejas interdependencias entre las metas. Este artículo propone un enfoque utilizando el Análisis de Conceptos Formales para mapear la estructura de relaciones entre los ODS e identificar perfiles de sostenibilidad en las 27 unidades federativas brasileñas. A partir de datos binarizados del Índice de Desarrollo Sostenible de las Ciudades, se construyó un contexto formal que, al ser analizado, reveló patrones y jerarquías no triviales. Los resultados identificaron los ODS que sirven como "base" de desempeño en el país (como el ODS 11) y extrajeron reglas de implicación que demuestran sinergias sistémicas (como la fuerte relación entre Educación, Equidad y Salud). Además, el ACF permitió la caracterización de distintos perfiles de sostenibilidad entre los estados. Se concluye que el ACF puede ser una herramienta computacional muy útil para el análisis de datos de sostenibilidad, ofreciendo una visión sistémica que subsidia una planificación estratégica más integrada.

Palabras clave: Análisis de Conceptos Formales. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Análisis de Datos. Políticas Públicas. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Agenda 2030 e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam um consenso global e um guia fundamental para a formulação de políticas públicas em nível nacional e subnacional, visando um futuro mais equitativo e sustentável. No entanto, a complexidade inerente a este framework está tanto na diversidade de suas metas quanto, sobretudo, na sua natureza sistêmica. Os ODS formam uma rede de alvos interconectados, onde o progresso em um objetivo pode habilitar ou restringir o avanço em outros (Breuer; Janetschek; Malerba, 2019). Essa interdependência representa um desafio analítico significativo para pesquisadores e gestores públicos.

Diante dessa complexidade, o problema de pesquisa que este artigo aborda são as limitações das abordagens puramente quantitativas, como rankings ou a análise de médias, que predominam na avaliação do desempenho dos ODS. Tais métodos, embora úteis para uma visão geral, tendem a tratar cada ODS como uma variável independente, falhando em capturar a estrutura de interdependências, as sinergias e os pré-requisitos que configuram a dinâmica do desenvolvimento sustentável (Assubayeva et al., 2024). Essa visão "plana" dos dados pode levar a uma compreensão fragmentada do fenômeno e, consequentemente, a políticas públicas que ignoram os efeitos sistêmicos de suas intervenções. Identifica-se, portanto, uma lacuna na aplicação de metodologias que possam desvelar a lógica qualitativa e estrutural subjacente aos dados de desempenho dos ODS (Alcamo et al., 2020; Seelajaroen; Jitmaneeroj, 2025).

Para endereçar esta lacuna, o objetivo deste artigo é apresentar e aplicar a Análise de Conceitos Formais (FCA) para (1) revelar a estrutura hierárquica e as relações de implicação entre os ODS no contexto dos estados brasileiros e (2) identificar e caracterizar perfis de sustentabilidade distintos entre essas unidades federativas. A FCA é particularmente adequada para esta tarefa, pois é projetada para extrair estruturas de ordem e regras de dependência a partir de dados, transformando tabelas binárias em redes de conceitos visualizáveis e interpretáveis (Ganter; Wille, 1999).

A contribuição desta pesquisa é, portanto, dupla. A primeira é metodológica, ao demonstrar a aplicação e o valor da FCA em um domínio inovador de análise de políticas públicas, oferecendo uma alternativa aos métodos estatísticos tradicionais. A segunda é prática, ao gerar insights acionáveis para gestores públicos. A análise oferece um mapa que pode informar a alocação de recursos e o desenho de estratégias de desenvolvimento mais integradas e eficazes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os dois pilares conceituais que sustentam esta pesquisa. Primeiramente, são introduzidos os fundamentos da FCA, a metodologia computacional empregada. Em seguida, contextualiza-se o objeto de análise: os ODS e a fonte de dados utilizada para o cenário brasileiro.

2.1 ANÁLISE DE CONCEITOS FORMAIS

A FCA é uma disciplina matemática com aplicações na mineração de dados e na engenharia do conhecimento, que permite a análise estrutural de dados binários. Formalizada por Ganter e Wille (1999), a FCA se concentra em extrair a hierarquia conceitual e as dependências lógicas inerentes a um conjunto de dados. A FCA pode ser entendida como um método de Knowledge Discovery in Databases (KDD) que gera como saída uma estrutura de ordem (um reticulado) e um conjunto de regras de implicação (Valtchev, Missaoui & Godin, 2004). Seus componentes fundamentais são:

- Contexto Formal: a estrutura de dados de entrada da FCA. Trata-se de uma tripla K = (G, M, I), onde G é um conjunto de objetos, M é um conjunto de atributos, e I é uma relação binária ($I \subseteq G \times M$) que indica qual objeto possui qual atributo. Na prática, é representado por uma tabela de cruzamento binária, onde as linhas correspondem aos objetos, as colunas aos atributos, e uma marcação (como "1" ou "X") na célula (g, m) significa que o objeto g possui o atributo m.
- Conceito Formal: A partir do contexto, a FCA deriva seus "átomos" de conhecimento: os conceitos formais. Um conceito formal é um par (A, B), onde $A \subseteq G$ é um conjunto de objetos (chamado de extensão) e $B \subseteq M$ é um conjunto de atributos (chamado de intenção). Este par deve satisfazer uma condição de máxima completude: A é o conjunto de todos os objetos que compartilham todos os atributos em B, e, reciprocamente, B é o conjunto de todos os atributos compartilhados por todos os objetos em A.
- Rede de Conceitos (Concept Lattice): É a estrutura hierárquica formada pelo conjunto de todos os conceitos formais de um determinado contexto. Os conceitos são organizados por uma relação de subconceito/superconceito: um conceito C_1 é subconceito de C_2 se sua extensão está contida na extensão de C_2. Visualmente, isso gera um diagrama de Hasse (um grafo acíclico direcionado), onde mover-se para baixo na hierarquia significa aumentar a especificidade (mais atributos, menos objetos), e mover-se para cima significa aumentar a generalidade (menos atributos, mais objetos). A rede de conceitos, portanto, oferece um mapa completo e não redundante de todos os agrupamentos de objetos e atributos existentes nos dados.
- Regras de Implicação: Além da estrutura hierárquica, a FCA permite a extração de regras de dependência lógica do tipo $A \rightarrow B$, onde A e B são conjuntos de atributos. Uma implicação $A \rightarrow B$ significa que "qualquer objeto que possui todos os atributos do conjunto A, necessariamente também possui todos os atributos do conjunto B". A FCA fornece algoritmos eficientes para computar uma base mínima e não redundante dessas regras (a base de Duquenne-Guigues), revelando o conhecimento inferencial contido no contexto.

2.2 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

Os ODS compõem a Agenda 2030, um plano de ação global adotado por todos os Estados-membros das Nações Unidas em 2015. A agenda estabelece 17 objetivos e 169 metas universais que conclamam à ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e assegurar que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030 (Miola & Schlitz, 2019). No Brasil, a internalização dos ODS tem orientado políticas públicas em diversas esferas, mas a mensuração do progresso em um país de dimensões continentais e com profundas desigualdades regionais permanece um desafio complexo (Gebara et al., 2024).

Para este estudo, os dados foram extraídos e adaptados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR). O IDSC-BR é uma iniciativa do Instituto Cidades Sustentáveis que monitora o desempenho dos 5.570 municípios brasileiros em relação aos 17 ODS, utilizando mais de 100 indicadores (IDSC, 2025; Wissmann; Backes, 2022). A relevância desta fonte reside em sua abrangência e granularidade. Para a presente pesquisa, os dados municipais foram agregados para o nível das 27 Unidades da Federação (UFs), permitindo uma análise comparativa do desempenho dos estados. A subsequente binarização dos dados, detalhada na seção de metodologia, transforma esta base de dados em um contexto formal próprio para a aplicação da FCA, possibilitando uma análise estrutural que complementa as abordagens quantitativas tradicionais (Paoli; Addeo, 2019).

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e estrutural, fundamentada na FCA, para investigar as inter-relações entre os ODS no contexto dos estados brasileiros.

A fonte de dados primária para este trabalho é o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC, 2025), que afere o desempenho dos municípios brasileiros em relação aos 17 ODS. Para a finalidade desta pesquisa, os escores municipais foram agregados pela média para o nível das 27 Unidades da Federação (UFs), obtendo-se um valor de desempenho para cada estado em cada um dos 17 ODS.

Como a FCA em sua forma clássica opera sobre dados binários, foi realizado um tratamento de binarização. Este critério foi definido da seguinte forma: para cada um dos 17 ODS, calculou-se a média nacional de desempenho entre todas as UFs. A partir disso, cada estado recebeu o valor 1 (verdadeiro) para um determinado ODS se sua pontuação foi maior ou igual à média nacional, e o valor 0 (falso) caso contrário. Este procedimento transformou a matriz quantitativa de escores em uma matriz qualitativa de desempenho relativo, pronta para ser analisada como um contexto formal.

O contexto formal, estrutura de dados fundamental para a FCA, foi construído a partir da matriz binária resultante da etapa anterior. A definição formal do contexto K = (G, M, I) para esta pesquisa é:

- Objetos (G): O conjunto das 27 UFs.

- Atributos (M): O conjunto dos 17 ODS.
- Relação (I): Uma relação $I \subseteq G \times M$, onde um par $(g, m) \in I$ significa que a UF g possui um desempenho acima da média nacional para o ODS m.

A análise dos dados foi conduzida utilizando a linguagem de programação Python (versão 3.9). Foram empregadas as seguintes bibliotecas: pandas para a manipulação e tratamento dos dados; fcapy para a construção do contexto formal e da rede de conceitos, bem como para a sua visualização gráfica com o auxílio da matplotlib (Dudyrev; Kuznetsov, 2021); e caspailleur para a mineração e extração da base de implicações. Adicionalmente, o software Concept Explorer (Becker; Correia, 2016) foi utilizado de forma complementar para a exploração interativa e validação do conjunto de implicações gerado.

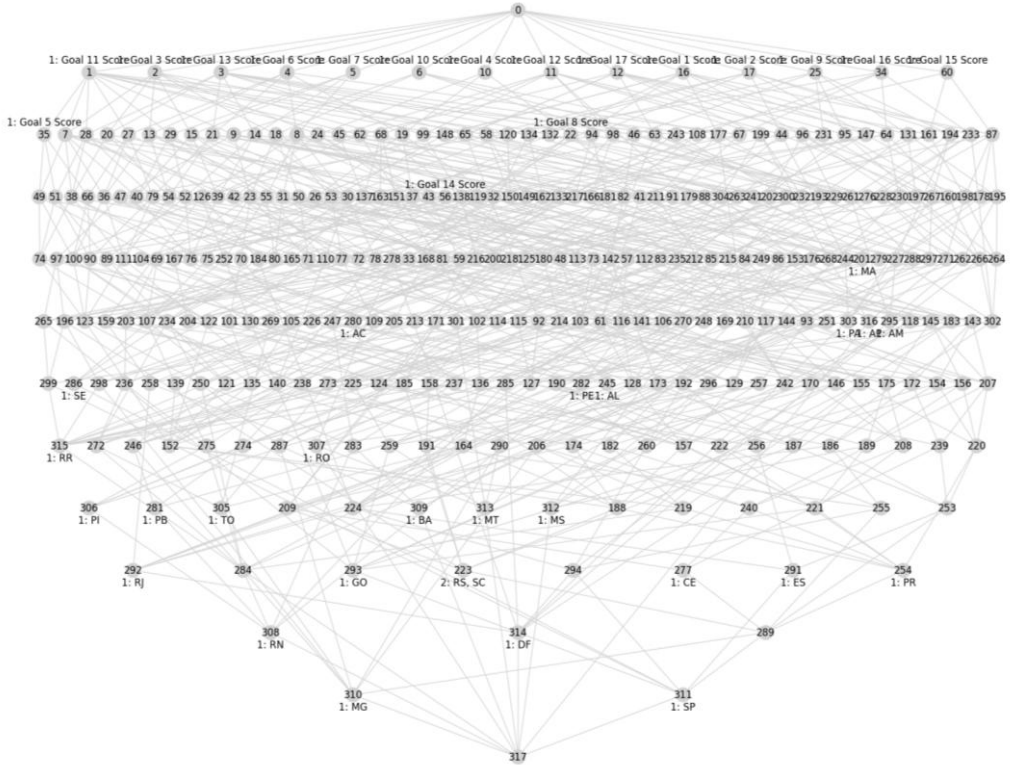
A rede de conceitos (concept lattice) completa foi gerada a partir do contexto formal utilizando o algoritmo Close-by-One (CbO), implementado na biblioteca fcapy. Esta etapa revelou a estrutura hierárquica completa de todos os padrões de desempenho existentes nos dados.

Foi realizada uma análise qualitativa e interpretativa de conceitos específicos e estruturalmente importantes na rede gerada. O foco foi dado aos seguintes tipos de conceitos: os conceitos de atributos, que agrupam o maior número de UFs para cada ODS individualmente; e os conceitos de objetos, que revelam os perfis de desempenho completos para UFs com combinações de ODS únicas. Utilizando a biblioteca *caspailleur*, foi extraída a base canônica de implicações (base de Duquenne-Guigues). Esta etapa permitiu identificar regras de dependência lógica do tipo "Se-Então" entre os ODS (ex: "Se um estado possui desempenho acima da média no ODS X, então ele também possui no ODS Y"), revelando as interdependências sistêmicas do desenvolvimento sustentável no contexto brasileiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do contexto formal, composto pelas 27 Unidades da Federação (objetos) e os 17 ODS (atributos), foram gerados 318 conceitos formais. Este número elevado de conceitos, visualizados na complexa estrutura hierárquica da rede (Figura 1), é o primeiro resultado significativo: ele indica uma alta diversidade de perfis de desempenho em sustentabilidade no Brasil. Em vez de poucos agrupamentos homogêneos, os dados mostram uma grande variedade de combinações de ODS em que os estados performam acima da média, o que reflete a heterogeneidade socioeconômica e ambiental do país.

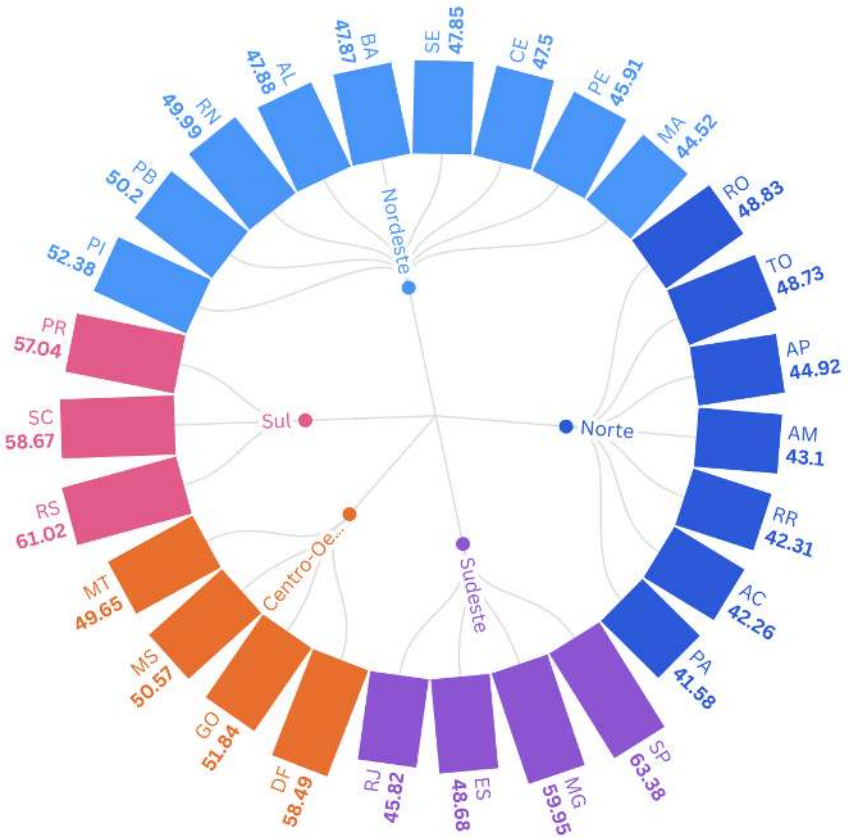
Figura 1. Rede de Conceitos das UF e performance acima da média no IDSC.



Fonte: elaboração própria (2025).

A Figura 2, que apresenta uma árvore radial das medianas do IDSC para cada UF, evidencia a desigualdade regional no desempenho dos ODS no Brasil. A disposição gráfica demonstra que as regiões Sul e Sudeste concentram os estados com os maiores escores, com destaque para São Paulo (63,38), Rio Grande do Sul (61,02) e Santa Catarina (58,67), além do Distrito Federal (58,49) no Centro-Oeste. Em nítido contraste, a região Norte apresenta o conjunto de medianas mais baixas, com Pará (41,58), Acre (42,26) e Roraima (42,31) nas últimas posições, enquanto o Nordeste ocupa uma faixa de desempenho intermediária. A visualização também expõe heterogeneidades intrarregionais, como a grande disparidade no Sudeste entre o desempenho de São Paulo e o do Rio de Janeiro (45,82), em contraste com a maior coesão de desempenho observada nas regiões Sul (consistentemente alta) e Norte (consistentemente baixa).

Figura 2. Árvore radial das medianas do IDSC nas UFs. Fonte: elaboração própria (2025).



Fonte: elaboração própria (2025).

Em termos do contexto formal, o conceito do topo (nó #0), que representa o ponto mais geral da hierarquia, possui em sua extensão todos os 27 estados, mas sua intenção (conjunto de atributos) é vazia. Isso significa que nenhum ODS isoladamente foi alcançado (acima da média) por todos os estados brasileiros. Já o conceito da base (nó #317), o ponto mais específico, possui em sua intenção todos os 17 ODS, mas sua extensão é vazia. Este resultado demonstra que nenhum estado brasileiro conseguiu performar acima da média em todos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável simultaneamente. A ausência de um "estado perfeito" reforça a noção de que o desenvolvimento sustentável é um desafio complexo e multifacetado, com trade-offs e dificuldades em todas as unidades da federação.

Ao investigar os conceitos formados por um único atributo, é possível identificar quais ODS são mais frequentemente alcançados (acima da média) pela maioria dos estados, formando o que podemos chamar de "base do desempenho sustentável" no país. A Tabela 1 serve de base para essa análise, e os conceitos-chave revelam os ODS mais compartilhados.

A extração da base de implicações revela as dependências estruturais entre os ODS, oferecendo insights poderosos para a formulação de políticas públicas integradas. O Quadro 1 apresenta uma seleção das regras mais significativas encontradas nos dados.

Tabela 1. Matriz de contexto formal da performance das UF acima da média em relação ao IDSC.

UF	ODS 1	ODS 2	ODS 3	ODS 4	ODS 5	ODS 6	ODS 7	ODS 8	ODS 9	ODS 10	ODS 11	ODS 12	ODS 13	ODS 14	ODS 15	ODS 16	ODS 17
RO	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
AC	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
AM	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
RR	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
PA	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
AP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
TO	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
MA	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
PI	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
CE	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
RN	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
PB	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
PE	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
AL	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
SE	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
BA	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
MG	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
ES	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
RJ	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
SP	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
PR	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
SC	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
RS	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
MS	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1
MT	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
GO	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
DF	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Total	13	13	18	14	11	17	17	12	12	15	19	14	18	10	9	11	14

Fonte: elaboração própria (2025).

A interpretação dessas regras revela uma "gramática" do desenvolvimento sustentável:

- Regra 1 (Educação-Equidade-Saúde): A implicação {ODS 4, ODS 10} => {ODS 3} sugere que um bom desempenho em Educação de Qualidade (4) e Redução das Desigualdades (10) é um forte preditor de um bom desempenho em Saúde e Bem-Estar (3). Para gestores públicos, isso indica que políticas de saúde são sistemicamente fortalecidas quando articuladas com investimentos em educação e equidade social.
- Regra 3 (Energia-Parceria-Desenvolvimento): A regra {ODS 7, ODS 17} => {ODS 4, ODS 6, ODS 8} é particularmente reveladora. Ela mostra que estados que se destacam em Energia Limpa (7) e Parcerias (17) também tendem a performar bem em um cluster de desenvolvimento

central: Educação (4), Água Potável (6) e Crescimento Econômico (8). Isso sugere que a transição energética e a capacidade de articulação institucional podem ser poderosas alavancas para o desenvolvimento socioeconômico.

- Regra 5 (A Base da Boa Governança): A implicação {ODS 3, 5, 6, 10, 11} => {ODS 16} é uma "receita" para a boa governança. Ela indica que Paz, Justiça e Instituições Eficazes (16) não é um ponto de partida, mas o resultado de um ecossistema saudável que já garante Saúde (3), Igualdade de Gênero (5), Água Potável (6), Redução de Desigualdades (10) e Cidades Sustentáveis (11).

Quadro 1. Seleção de Regras de Implicação entre os ODS.

Regra	Premissa (SE...)	Conclusão (ENTÃO...)
1	{ODS 4, ODS 10}	{ODS 3}
2	{ODS 11, ODS 16}	{ODS 3}
3	{ODS 7, ODS 17}	{ODS 4, ODS 6, ODS 8}
4	{ODS 9, ODS 13}	{ODS 6, ODS 7, ODS 11}
5	{ODS 3, ODS 5, ODS 6, ODS 10, ODS 11}	{ODS 16}
6	{ODS 12}	{ODS 4, ODS 6}

Fonte: elaboração própria (2025).

Já a análise de conceitos que possuem um único estado em sua extensão (conceitos de objeto) permite a construção de perfis de sustentabilidade detalhados e únicos, indo além da simples pontuação da mediana:

- Perfis de Alta Complexidade (MG e SP): Os estados de Minas Gerais (nó #310) e São Paulo (nó #311) emergem em conceitos com 14 atributos cada, indicando um desempenho acima da média em cerca de 82% dos ODS. Eles representam o perfil de desenvolvimento mais robusto e diversificado do país. Suas pontuações medianas (MG: 59.9, SP: 63.4) são altas, mas a FCA nos permite ver onde reside essa força. Ambos compartilham uma base forte em ODS sociais, econômicos e de infraestrutura.
- Perfil Equilibrado (RN): O Rio Grande do Norte (nó #308), com 11 atributos, apresenta um perfil notavelmente equilibrado, com bom desempenho em ODS sociais (3, 5), de infraestrutura (6, 7, 11) e ambientais (13, 14), além de institucionais (16). Com uma mediana de 49.9, seu desempenho quantitativo é intermediário, mas a análise qualitativa da FCA revela uma coerência entre diferentes dimensões da sustentabilidade que outros estados com pontuações similares podem não ter.
- Perfil Focado no Social Básico (RO): Rondônia (nó #307), com 7 atributos, exibe um perfil mais concentrado. A presença dos ODS 1, 2, 3 e 4 indica um foco nos pilares sociais básicos (pobreza, fome, saúde, educação), complementado pelo ODS 8 (Crescimento Econômico).

Com uma mediana de 48.8, sua pontuação não está entre as mais baixas, mas a FCA revela que seu modelo de desenvolvimento é menos complexo, com lacunas em ODS ambientais e de governança mais sofisticados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação demonstrou o potencial da Análise de Conceitos Formais como uma metodologia propícia para a análise integrada de indicadores relativos aos ODS, complementando as limitações de abordagens quantitativas tradicionais na avaliação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. As principais descobertas revelaram a natureza sistêmica dos ODS no contexto brasileiro como uma rede complexa de interdependências. Por meio da extração de regras de implicação, foram identificadas sinergias e pré-requisitos entre diferentes objetivos, e a análise dos conceitos formais permitiu a criação de uma tipologia de perfis de sustentabilidade estaduais, oferecendo uma caracterização qualitativa e multifacetada que os rankings unidimensionais não capturam (Tamak; Eslami; Da Cunha, 2023).

As implicações deste trabalho são duplas: evidencia-se o valor de métodos de KDD estruturais e qualitativos que extraem conhecimento lógico e hierárquico, complementando as abordagens estatísticas; para a Gestão Pública, oferece-se uma ferramenta analítica para um planejamento mais estratégico e integrado, ao mapear as “alavancas” que podem otimizar os investimentos em desenvolvimento sustentável (Jiang & Johnson, 2023). Como limitação, reconhece-se, primeiramente, que o processo de binarização dos dados, embora necessário para a aplicação da FCA clássica, acarreta uma perda de granularidade, pois equaliza desempenhos marginais e excelentes (ambos recebem o valor '1'), ocultando a magnitude das diferenças entre os estados. Em segundo lugar, a análise se baseia em um retrato estático dos dados, um snapshot de um único período (2023), o que impede a observação da trajetória e da evolução do desempenho dos estados ao longo do tempo. Uma terceira limitação, de natureza metodológica, reside na agregação dos dados em nível estadual; tal procedimento, embora útil para uma visão macro, pode mascarar heterogeneidades e desigualdades intraestaduais significativas entre diferentes municípios ou microrregiões. Finalmente, e de forma mais fundamental, deve-se notar que a FCA e as regras de implicação revelam associações estruturais e correlações, mas não necessariamente causalidade. A descoberta de que um conjunto de ODS implica outro (se A, então B) é um achado que aponta para sinergias sistêmicas, mas não explica os mecanismos causais subjacentes a essa relação, o que demandaria investigações qualitativas ou econométricas complementares.

Assim, como trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da Análise de Conceitos Fuzzy para lidar com os escores originais não-binários, o que permitiria uma análise mais granular das nuances de desempenho (Cordero et al., 2022); e a realização de uma análise temporal com dados de diferentes

anos para investigar a evolução desses padrões sistêmicos (van Zanten; Putintseva, 2025). Além disso, a pesquisa poderia ser aprofundada em diferentes escalas, como a aplicação do método em cidades ou microrregiões específicas para compreender as dinâmicas intraestaduais, ou a realização de uma análise dedicada a clusters de ODS (focando, por exemplo, apenas nos objetivos ambientais ou sociais) para desvendar suas inter-relações com maior detalhe. Outra via promissora seria a análise comparativa internacional, aplicando o mesmo método a outros países para verificar a universalidade ou particularidade das regras de implicação encontradas (Bogers et al., 2022). Sugere-se também a combinação da FCA com métodos qualitativos, como estudos de caso aprofundados nos estados que compõem conceitos-chave, para investigar as políticas públicas que explicam os padrões revelados. Por fim, no campo da computação aplicada, a pesquisa poderia evoluir para o desenvolvimento de uma ferramenta de visualização interativa que permita a gestores públicos explorar a rede de conceitos e simular o impacto de investimentos em diferentes ODS, traduzindo os achados em um artefato de apoio à decisão.

DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Os dados e o código que fundamentam este estudo estão disponíveis mediante solicitação razoável ao autor correspondente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALCAMO, J. et al. Analysing interactions among the sustainable development goals: findings and emerging issues from local and global studies. Sustainability Science, v. 15, n. 6, p. 1561-1572, 2020.

ASSUBAYEVA, A.; MARCO, J. Methodological approaches on synergies and trade-offs within the 2030 Agenda. iScience, v. 27, n. 11, 2024.

BECKER, P.; CORREIA, J. H. Software tools for formal concept analysis. In: Conceptual Structures in Practice. Chapman and Hall/CRC, 2016. p. 65-90.

BOGERS, M. et al. The impact of the Sustainable Development Goals on a network of 276 international organizations. Global Environmental Change, v. 76, p. 102567, 2022.

BREUER, A.; JANETSCHEK, H.; MALERBA, D. Translating sustainable development goal (SDG) interdependencies into policy advice. Sustainability, v. 11, n. 7, p. 2092, 2019.

CORDERO, P. et al. fcaR, Formal Concept Analysis with R. R Journal, v. 14, n. 1, 2022.

DUDYREV, E.; KUZNETSOV, S. O. Decision concept lattice vs. decision trees and random forests. In: International Conference on Formal Concept Analysis. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 252-260.

GANTER, B.; WILLE, R. Formal concept analysis. Berlin: Springer-Verlag, 1999. v. 150.

GEBARA, C. H. et al. Selecting indicators for measuring progress towards sustainable development goals at the global, national and corporate levels. Sustainable Production and Consumption, v. 44, p. 151-165, 2024.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS (IDSC). Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades–Brasil (IDSC-BR). Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/paginas/idsc-br. Acesso em: 14 out. 2025.

JIANG, Y.; JOHNSON, D. Data Discovery for the SDGs: A Systematic Rule-based Approach. In: Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good. [S.l.: s.n.], 2023. p. 384-391.

MIOLA, A.; SCHILTZ, F. Measuring sustainable development goals performance: How to monitor policy action in the 2030 Agenda implementation? Ecological Economics, v. 164, p. 106373, 2019.

PAOLI, A. D.; ADDEO, F. Assessing SDGs: A methodology to measure sustainability. Athens Journal of Social Sciences, v. 6, n. 3, p. 229-250, 2019.

SEELAJAROEN, R.; JITMANEEROJ, B. Interdependencies among SDGs: evidence-based insights for sustainable development indicators and policy. Environmental and Sustainability Indicators, p. 100762, 2025.

TAMAK, S.; ESLAMI, Y.; DA CUNHA, C. Formalization and Validation of Sustainability Assessment Models for Manufacturing Organizations: A Formal Concept Analysis Approach. In: International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 481-491.

VALTCHEV, P.; MISSAOUI, R.; GODIN, R. Formal concept analysis for knowledge discovery and data mining: The new challenges. In: International conference on formal concept analysis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 352-371.

VAN ZANTEN, J. A.; PUTINTSEVA, M. Evaluating governmental policies for the sustainable development goals using hierarchical clustering. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, v. 32, n. 3, p. 322-340, 2025.

WISSMANN, M. A.; BACKES, G. Índice de desenvolvimento sustentável das cidades: um estudo com base na realidade brasileira. Revista Científica Acertte, v. 2, n. 9, p. e2991-e2991, 2022.