INVESTIGAÇÃO QUANTITATIVA DE RELAÇÕES ENTRE PADRÕES PROJETUAIS, SUSTENTABILIDADE E REQUISITOS TÉCNICOS

QUANTITATIVE INVESTIGATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN DESIGN PATTERNS, SUSTAINABILITY AND TECHNICAL REQUIREMENTS

Gabriel Fernando de Oliveira [1]; Eduardo Reuter Schneck [2]; Andrea Parisi Kern [3].

[1]Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo | gabrielfernando97@gmail.com | Unisinos | São Leopoldo, Brasil;
[2]Mestre em Engenharia Civil | eduardoschneck@feevale.br | Feevale | Novo Hamburgo, Brasil;
[3]Doutora em Engenharia Civil | apkern@unisinos.br | Unisinos | São Leopoldo, Brasil.

Resumo:
Este estudo objetiva analisar quantitativamente a relação dos padrões de projeto de Christopher Alexander e equipe, propostos no final da década de 1970, com questões atuais de sustentabilidade e requisitos técnicos. Para tanto, através de ferramentas de Inteligência Artificial (IA), foram realizadas análises entre os padrões, Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) e respectivas metas da Agenda 2030 e as Normas Técnicas Brasileiras (NBRs). Utilizou-se uma ferramenta computacional própria que integra Processamento de Linguagem Natural, teoria dos grafos e vetorização semântica para analisar, de forma interdependente, os 253 padrões, os 17 ODS e o compêndio de NBRs da ABNT. Foram geradas mais de 1,32 milhão de combinações entre os objetos de estudo. Os resultados mostraram relação dos padrões com os 17 ODS, com destaque aos ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 3 (Saúde e Bem-estar). Quanto às normas técnicas, 229 padrões demonstraram aderência semântica. A análise identificou uma lacuna de abordagem de assuntos que passaram a estar em pauta após a proposição original dos padrões projetuais, tais como acessibilidade universal e desempenho de edificações, dentre outros.

Palavras-chave:
Linguagem de Padrões; Christopher Alexander; ODS; Normas Técnicas.

Abstract:
This study aims to quantitatively analyze the relationship between the design patterns proposed by Christopher Alexander and his team in the late 1970s and current issues of sustainability and technical requirements. To this end, artificial intelligence (AI) tools were employed to examine connections among the patterns, the Sustainable Development Goals (SDGs) and their respective targets from the 2030 Agenda, and the Brazilian Technical Standards (NBRs). A custom computational tool was developed, integrating Natural Language Processing (NLP), graph theory, and semantic vectorization to analyze, in an interdependent manner, the 253 patterns, 17 SDGs, and the full set of ABNT technical standards. The analysis generated over 1.32 million combinations among the study objects. Results revealed relationships between the patterns and all 17 SDGs, with particular emphasis on SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), and SDG 3 (Good Health and Well-being). Regarding the technical standards, 229 patterns demonstrated semantic alignment. The analysis also identified a gap in the coverage of topics that have gained prominence since the original publication of the design patterns, such as universal accessibility and building performance, among others.

Keywords:
Pattern Language; Christopher Alexander; SDG; Technical Standards.

1. INTRODUÇÃO

A análise da atualidade e da compatibilidade dos padrões projetuais da segunda teoria de Christopher Alexander e equipe, publicada em sua obra seminal "*Uma Linguagem de Padrões*: *A Pattern Language*" em 1977, pode colaborar com a promoção de ambientes construídos mais sustentáveis, inclusivos e adaptáveis. Nesse sentido, busca-se investigar suas relações com duas demandas contemporâneas centrais: os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (ONU, 2015) e os requisitos técnicos relativos à construção civil das Normas Brasileiras (NBRs), instrumentos regulatórios fundamentais desenvolvidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Tendo em vista as diferenças entre o contexto no qual a *Linguagem de Padrões* foi proposta com o atual, este artigo tem por objetivo investigar a compatibilidade dos padrões desenvolvidos por Alexander e equipe, no final da década de 1970, com as demandas atuais em termos de sustentabilidade e requisitos técnicos, entendendo que ambos os assuntos são atualizados ao longo do tempo. Reconhece-se, ainda, que o método que embasa sua teoria projetual, descrito em *The Timeless Way of Building* (Alexander, 1979), enfatiza uma abordagem qualitativa, que busca compreender a "qualidade sem nome" dos espaços – um caráter sensível que transcende a mensuração técnica. Assim, não se pretende validar os padrões originais em relação às normas de forma prescritiva, mas sim explorar a sua integração com requisitos normativos como ponto de partida para futuros refinamentos e novos padrões.

O presente trabalho consiste num desdobramento de uma pesquisa anterior desenvolvida pelos autores (Schneck *et al.*, 2024) que investigou conexões entre os padrões e ODS aplicando o Modelo BERT *(Bidirectional Encoder Representations from Transformers),* uma ferramenta avançada de Processamento de Linguagem Natural (PLN) baseada em redes neurais de modelos de atenção, além de apresentar resultados parciais de uma Tese de Doutorado que está em desenvolvimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A teoria de Christopher Alexander e equipe, contida em *Uma Linguagem de Padrões,* foi desenvolvida entendendo que a arquitetura deve se basear em soluções que respeitem as necessidades humanas e o contexto local, organizada em uma linguagem com padrões atemporais passível de ser aplicada em diferentes escalas espaciais. O conceito de padrão refere-se a uma solução para um problema de projeto que pode ser aplicada repetidamente em diferentes contextos, sem ser idêntica a cada vez (Alexander *et al.,* 2013). No entanto, o método que fundamenta essa linguagem é descrito por Alexander (1979), obra que trata do processo generativo para encontrar ou criar padrões a partir de situações concretas. Essa ideia é aprofundada ao distinguir dois tipos interdependentes: padrões de eventos e padrões de espaço. Os padrões de eventos dizem respeito a atividades humanas recorrentes que tendem a acontecer em determinadas configurações espaciais; já os padrões de espaço referem-se às disposições físicas que apoiam e incentivam tais eventos. Esses dois aspectos são inseparáveis: os espaços tornam-se vivos quando acolhem eventos significativos, e os eventos prosperam quando suportados por formas espaciais apropriadas (Alexander, 1979).

Ao todo, a teoria é composta por 253 padrões, estruturados em três seções: Cidades (Padrões 01 a 94), Arquitetura (Padrões 95 a 204) e Construção (Padrões 205 a 253). Cada padrão indica potencial solução para um problema identificado e desafios recorrentes no projeto de espaços e edificações (Alexander *et al*., 2013). Essa linguagem pode ser entendida como um conjunto de princípios e relações entre padrões que se conectam para formar uma solução coesa (Wu *et al.,* 2025), com foco no aprimoramento do espaço urbano e arquitetônico. Essas soluções têm sido aplicadas em vários contextos nas últimas décadas (revitalização urbana, projetos habitacionais, comunidades sustentáveis), demonstrando adaptabilidade a diversos contextos culturais e econômicos. Ao mesmo tempo, mantém seu propósito principal de promover ambientes humanizados e cidades mais inclusivas (Mehaffy, 2007; Dawes e Ostwald, 2017; Wu *et al.,* 2025), configurando-se como uma estratégia que contribui tanto para a teoria quanto à prática projetual.

Mesmo sem abordar explicitamente o tema, a obra de Alexander aborda preocupações sobre os impactos socioambientais do planejamento urbano e arquitetônico. Observa-se que muitos dos padrões se referem não apenas à conservação de recursos naturais, mas também à promoção de ambientes com melhores condições de vivacidade e conforto ambiental, refletindo uma visão global das necessidades humanas nos espaços edificado e não-edificado (Kowaltowski e Barros, 2017).

Como demandas atuais de sustentabilidade, o trabalho utiliza a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. Trata-se de uma declaração que deve se traduzir em políticas públicas "interdisciplinares, interdependentes e sistêmicas" (Young, 2018), para a promoção de um modelo de desenvolvimento mais equitativo, que beneficie tanto as gerações atuais, quanto as futuras. De acordo com Ramsey (2015), os ODS atuam como um horizonte para a sociedade em uma época marcada por desigualdades econômicas e sociais, bem como por um elevado impacto ambiental. Sua aplicação deve ser buscada por todos os setores produtivos, incluindo a construção civil, tendo em vista sua contribuição nos impactos ambientais, econômicos e sociais (Agopyan e John, 2011).

Embora existam múltiplas interações entre o setor da construção e os ODS, é necessário adotar abordagens sistêmicas que considerem a interdependência das metas na Agenda 2030. Logo, a definição de áreas temáticas que contemplam cada objetivo poderia ser uma tentativa de tornar o modelo mais tangível (Allen *et al.,* 2018; Wieser *et al.,* 2019; Ferreira *et al.,* 2023).

3. MÉTODOS

Para analisar relações entre os padrões, ODS e NBR, a pesquisa foi realizada através de três etapas, conforme mostrado no delineamento do método na Figura 1, a seguir descritas. Busca-se demonstrar a articulação entre análises quantitativas os padrões como exemplo, sem a pretensão de quantificar ou validar normativamente a qualidade sensível proposta por Alexander *et al*. (2013).

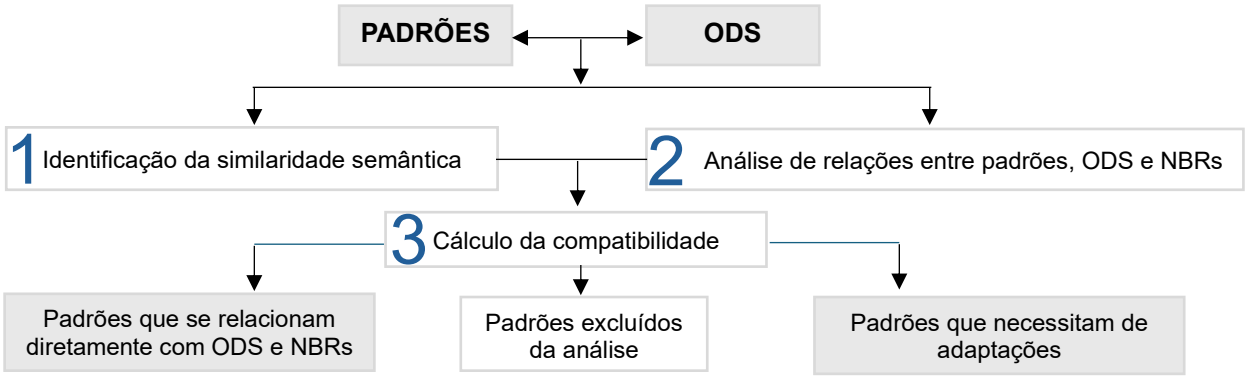

Figura 1: delineamento do método de pesquisa.
Fonte: os autores (2025).

3.1. ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE SEMÂNTICA E AVANÇO METODOLÓGICO

A análise semântica foi o ponto de partida para a identificação de correspondências entre os padrões projetuais (Alexander *et al.,* 2013) e os ODS, conforme estudo anterior (Schneck *et al.*, 2024). Nele, a abordagem baseava-se exclusivamente na identificação de similaridades textuais por meio de técnicas de PLN (Processamento de Linguagem Natural), sem o suporte de um arcabouço computacional mais robusto. Neste estudo, como primeira etapa do trabalho, houve um avanço metodológico com a introdução do *Model-Driven Analysis Framework* (doravante *MDA Framework*), desenvolvido por um dos autores. Trata-se de uma ferramenta digital que combina análise semântica por meio do modelo BERT (Google), Modelagem Matemática, Teoria dos Grafos e Simulações Computacionais. Essa integração permite avaliar de forma mais precisa as relações entre padrões e ODS, indo além da correspondência textual ao incluir aspectos normativos, técnicos e topológicos. Assim, a análise deixa de ser apenas qualitativa para se tornar parametrizada, escalável e aplicável em diversos contextos da engenharia, arquitetura e urbanismo.

3.2. ETAPA 2: ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE PADRÕES PROJETUAIS, ODS E NORMAS

Uma vez que a análise isolada dos padrões limita a identificação de interdependências e soluções integradas para a sustentabilidade, evoluiu-se a análise das relações a partir da Teoria dos Grafos para construir redes neurais. Grafos são representações matemáticas compostas por vértices (nós) e arestas (conexões), que permitem modelar relações e dependências entre diferentes elementos. O agrupamento dos padrões a partir de sua aderência, em grupos pré-definidos de padrões sequenciais constantes na própria obra *Uma Linguagem de Padrões*, reconheceu que um padrão pode pertencer a múltiplos grupos, ampliando sua aplicabilidade.

O *MDA Framework* opera através de compatibilização com o leitor de códigos do Google Colab, utilizando um sistema de modelagem por vetores matemáticos. Esse sistema permite analisar variáveis de diferentes naturezas, como desenhos (projetos) e textos (normas), transformando-as em vetores que podem ser processados e analisados computacionalmente. A ferramenta também é capaz de identificar inconsistências e otimizar projetos conforme as variáveis analisadas, transformadas em representações matemáticas. Importa destacar, no entanto, que esse processo não se dá de forma linear ou sequencial. Mesmo etapas que, a princípio, dependem de resultados anteriores, são antecipadas com base em dados já disponíveis, pré-treinamento semântico e inferências contextuais. Trata-se de um fluxo de análise adaptativo e contínuo, modelado a partir de princípios similares aos adotados por ferramentas como o *AnyLogic*, que permite a simulação de múltiplos cenários dinâmicos e interativos em paralelo. Nessa lógica, o sistema busca compreender as relações complexas entre padrões e ODS por múltiplas vias simultâneas, reformulando as conexões à medida que novos dados são processados. Essa abordagem permite que a ferramenta desenvolva interpretações e testes antecipados, os quais são posteriormente confrontados com os resultados de etapas anteriores, refinando e validando suas inferências.

Para a geração de redes neurais que representem de forma dinâmica e computacionalmente eficaz as interações entre os padrões e os ODS, foram desenvolvidas 36 perguntas que avaliam a compatibilidade entre esses elementos. As questões contemplam aspectos como aderência, necessidade de adaptação, disrupção, similaridade semântica, potencial de impacto, integração sistêmica e atualização do padrão no contexto dos ODS. Mais do que um mecanismo de validação, essas perguntas direcionam a Inteligência Artificial (IA) do instrumento para os tipos de resultados desejados, permitindo uma leitura crítica e orientada das relações. Além disso, o conjunto atua como base para a atribuição de valores de real grandeza às interações analisadas, identificando também lacunas ou relações indefinidas que ainda não possuem valor mensurável e que, portanto, exigem alinhamento metodológico para garantir a precisão dos resultados. As perguntas foram geradas pela própria IA da ferramenta com base em uma interpretação semântica dos objetivos da pesquisa, e posteriormente ajustadas e validadas pelos autores, sendo apresentadas a seguir.

1) Este padrão apresenta disrupção em relação ao ODS?;
2) Qual é o grau de aderência deste padrão ao ODS em questão?;
3) Existe similaridade semântica entre o padrão e as metas da ODS?;
4) As variáveis I (padrão projetual) e II (ODS) estão na mesma escala conceitual?;
5) Que adaptações são necessárias para que o padrão atenda melhor ao ODS?;
6) Este padrão atende plenamente às exigências da ODS correspondente?;
7) O padrão está atualizado e em conformidade com o contexto atual do ODS?;
8) A relação entre o padrão e o ODS é relevante para a sustentabilidade a longo prazo?;
9) Qual a consistência entre as soluções propostas pelo padrão e as metas do ODS?;
10) O uso deste padrão pode gerar impactos positivos mensuráveis em relação ao ODS?;
11) O padrão, como apresentado, seria facilmente implementado dentro das práticas recomendadas pelo ODS?;
12) Há evidências que demonstram a eficácia do padrão em cumprir as metas do ODS?;
13) A aplicabilidade do padrão está alinhada com os princípios fundamentais do ODS?;
14) O padrão apresenta potencial de escalabilidade para diferentes contextos urbanos em relação ao ODS?;
15) Este padrão considera as variáveis sociais, econômicas e ambientais definidas no ODS?;
16) O padrão apresenta soluções integradas que atendem a vários ODS simultaneamente?;

17) Qual é o nível de inovação do padrão em relação aos desafios do ODS?;
18) O padrão necessita de uma atualização técnica para ser plenamente aderente ao ODS?;
19) O padrão contribui para a resolução de um problema identificado pelo ODS?;
20) Este padrão apresenta resistência ou bloqueio para atender às metas do ODS?;
21) Há uma visão sistêmica no padrão que integra múltiplos aspectos do ODS?;
22) O padrão é adaptável a diferentes contextos ou precisa de modificação significativa para ser relevante em outros cenários?;
23) Este padrão proporciona benefícios diretos e tangíveis para a comunidade ou ambiente, conforme o ODS?;
24) A análise do impacto do padrão sobre o ODS é mensurável e observável a curto, médio ou longo prazo?;
25) Este padrão se integra bem com outras soluções urbanísticas, reforçando o ODS de forma eficaz?;
26) O padrão, em sua totalidade, gera um benefício social equivalente ou superior às expectativas do ODS?;
27) A implementação deste padrão tem potencial para criar sinergias positivas dentro de um sistema urbano ou regional, como definido pelo ODS?;
28) A solução apresentada pelo padrão é viável, considerando as limitações financeiras ou técnicas indicadas pelo ODS?;
29) Este padrão pode ser replicado em larga escala, atendendo assim a um número significativo de objetivos do ODS?;
30) As implicações da aplicação do padrão geram efeitos positivos sustentáveis, alinhando às metas do ODS?;
31) O padrão está em consonância com os princípios da justiça social e ambiental do ODS?;
32) Este padrão foi projetado para evoluir de acordo com as necessidades emergentes dos ODS ao longo do tempo?;
33) A eficácia do padrão em atender ao ODS depende de outros fatores externos ou ele pode ser isolado?;
34) Este padrão pode ser melhorado ou expandido para maximizar sua contribuição ao ODS?;
35) Há um processo de *feedback* no padrão que permita a adaptação contínua ao ODS?;
36) Este padrão cumpre todas as metas da ODS de forma integral, ou apenas parcialmente?

Durante o processamento dos resultados, a IA identificou uma lacuna crítica: não havia uma medida de *real grandeza* que expressasse, de forma objetiva, a viabilidade dos padrões quando aplicados no contexto territorial e técnico brasileiro, conforme os ODS. Ao processar o HTML estrutural dos documentos da ONU, a ferramenta reconheceu que os próprios objetivos globais não especificavam parâmetros técnicos suficientes para esse tipo de aferição. Assim, as Normas Brasileiras (NBRs) passaram a exercer um papel-chave, fornecendo os elementos normativos necessários para ancorar tecnicamente as análises de viabilidade dentro da realidade nacional.

Como passo seguinte, a ferramenta de IA utilizou um banco de dados composto pelo compêndio de 8.131 NBRs publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), disponibilizadas em ambiente digital pela Instituição dos autores. Para verificar a compatibilidade entre os padrões de Alexander, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e as NBRs, o estudo seguiu uma linha de código algorítmico em três fases, fundamentada nos princípios da Teoria dos Grafos. Inicialmente, o sistema processou a relação entre os ODS e as NBRs, organizando as normas em grupos temáticos associados a cada objetivo. Em seguida, para cada conjunto de normas vinculado a um ODS, foram analisadas as conexões específicas com os padrões de projeto que apresentavam relação semântica com aquele objetivo. Esses dois processos – mapeamento ODS × NBRs e NBRs × Padrões – ocorreram de forma simultânea e iterativa, sendo reprocessados automaticamente sempre que novas informações eram incorporadas ao sistema.

Na primeira fase da estrutura algorítmica, padrões e metas foram representados como nós em um grafo bipartido, conectados por termos-chave extraídos de um vocabulário técnico. Na segunda fase, aplicou-se vetorização textual ajustada ao domínio da arquitetura, com *embeddings* especializados baseados em documentos da ONU e nas próprias normas brasileiras, para medir a

frequência e a semelhança semântica entre padrões e metas. Por fim, uma função de compatibilidade conceitual, previamente calibrada em pesquisas do *MDA Framework*, avaliou as relações geradas com base nas perguntas de aderência, penalizando discrepâncias de escala, conceituais, contextuais, técnicas e temporais.

Esse processo garantiu que apenas normas com real relevância para os ODS e os padrões fossem consideradas. Das 8.131 normas processadas, 881 apresentaram compatibilidade semântica significativa com os ODS, sendo integradas à malha analítica. Esse filtro foi essencial para evitar resultados inconclusivos, já que algumas NBRs não apresentavam qualquer relação técnica ou conceitual com determinados ODS ou padrões, e sua inclusão poderia comprometer a precisão e aplicabilidade dos resultados.

A relação entre os três domínios – padrões, ODS e Normas – foi então representada como uma rede semântica em grafo orientado, cujos nós representam unidades textuais vetorizadas e cujas arestas foram ponderadas por uma função escalar de compatibilidade conceitual, considerando a interseção entre semanticidade, normatividade e aplicabilidade (Equação 1).

$$F - P_{rel} - \Theta(W_{bert}).\, \lambda(\mathrm{nbr})\,.\,\alpha(\mathrm{ods}) \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:
$\Theta(W_{bert})$ = similaridade vetorial entre o ODS, NBR em questão e padrão (vetorização semântica);
$\lambda(\mathrm{nbr})$ = representa o grau de aderência da norma associada ao ODS;
δ = inconsistência entre a aderência dos padrões e as metas dos ODS;
$\alpha(\mathrm{ods})$ = expressa a aplicabilidade da meta dos ODS na NBR.

O resultado da equação é um valor escalar contínuo, chamado *F*, que varia entre 0 e 1. Esse valor representa o grau de similaridade semântica combinada entre os três elementos: padrões de Alexander, metas dos ODS e normas técnicas da ABNT. Com base nesse escore *F*, foi possível calcular a compatibilidade relativa entre os nós da rede.

Normas com *F* inferior a 0,70 foram automaticamente desconsideradas, por apresentarem baixa conexão semântica ou pouca aplicabilidade normativa. Esse filtro foi essencial para definir as 881 Normas com relevância técnica real. O valor escalar *F*, além de selecionar dados na etapa inicial, segue como base para calcular as conexões no grafo, influenciando o peso das arestas e a prioridade das relações entre padrões, normas e metas dos ODS durante toda a análise.

3.3. ETAPA 3: CÁLCULO DA COMPATIBILIDADE

As informações foram, então, organizadas no *MDA Framework*. A primeira variável consiste no conjunto de padrões da obra *Uma Linguagem de Padrões*; a segunda, nos ODS e suas respectivas metas. Ainda no contexto dos ODS, foram aplicadas as perguntas previamente descritas. Em relação ao estudo anterior (Schneck ***et al***., 2024), a análise evoluiu ao considerar a complexidade e nuances entre os padrões e as metas dos ODS, cujo cruzamento é representado pela Equação 2.

$$\int(P, ODS, \delta) = \sum_{i=1}^{n}(P_i\,.\,ODS_i) + \delta \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:
P = padrão projetual;
ODS = conjunto das metas do ODS;
δ = inconsistência entre a aderência dos padrões e as metas dos ODS;
Pi e ODS_i = valores de aderência dos padrões e metas dos ODS.

O somatório calcula a aderência global entre os padrões e os ODS e ajusta o valor final para identificar as adequações necessárias para aprimorá-la. A cada um dos ODS foi atribuído um valor de "grandeza real", que representa a totalidade das metas associadas a esse ODS, bem como o conteúdo completo de sua descrição no HTML da ONU, incluindo documentos, declarações e diretrizes. Esse valor integra a base de dados e é utilizado para calcular a aderência de cada padrão àquele grupo, resultando em uma rede neural de grafos. A Teoria dos Grafos foi utilizada para estabelecer conexões – nela, cada padrão é representado como um nó e sua relação com um ODS

(ou meta) é expressa por uma aresta, cujo peso indica a intensidade dessa conexão. Os valores resultantes desses cálculos foram incorporados à equação de compatibilidade total (Equação 3), possibilitando uma análise mais aprofundada da aderência de cada padrão aos ODS considerando também as perguntas estabelecidas.

$$C_{i,j,k} = \int (P_i, O_j, Q_k) \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:
$C_{i,j,k}$ = valor de compatibilidade entre os fatores analisados;
f = função de avaliação semântica, responsável pelo cálculo de compatibilidade;
P_{i} = padrão projetual;
O_j = Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS);
Q_{k} = metas específicas dos ODS.

O valor f é um valor escalar contínuo (entre 0 e 1), que foi definido pela função de f na Etapa 2, representando o grau de similaridade semântica entre os três elementos analisados. Esse valor é ajustado conforme os padrões normativos, objetivos e metas estabelecidos para cada domínio. Além disso, é modulado por pesos derivados das perguntas orientadoras, que refletem fatores contextuais e normativos, além da semântica superficial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da relação entre os padrões e os ODS foram geradas 162.396 combinações, que auxiliaram no estabelecimento de conexões analíticas com o cruzamento entre os 253 padrões, as 36 perguntas e os 17 ODS. No entanto, durante o processamento dos dados, a ferramenta identificou múltiplas possibilidades de resposta para algumas perguntas, padrões com interpretações diversas (dependendo do contexto: social, urbano, ambiental) e sobreposições temáticas entre diferentes ODS. Essas variações deram origem a 7.560 registros adicionais, que funcionam como arestas múltiplas ou conexões paralelas entre os mesmos nodos, criando uma rede mais densa e refletindo as complexidades das suas interações. A Figura 2 apresenta o número de padrões com relação direta a cada ODS e aqueles que precisam de adaptação para atendê-los.

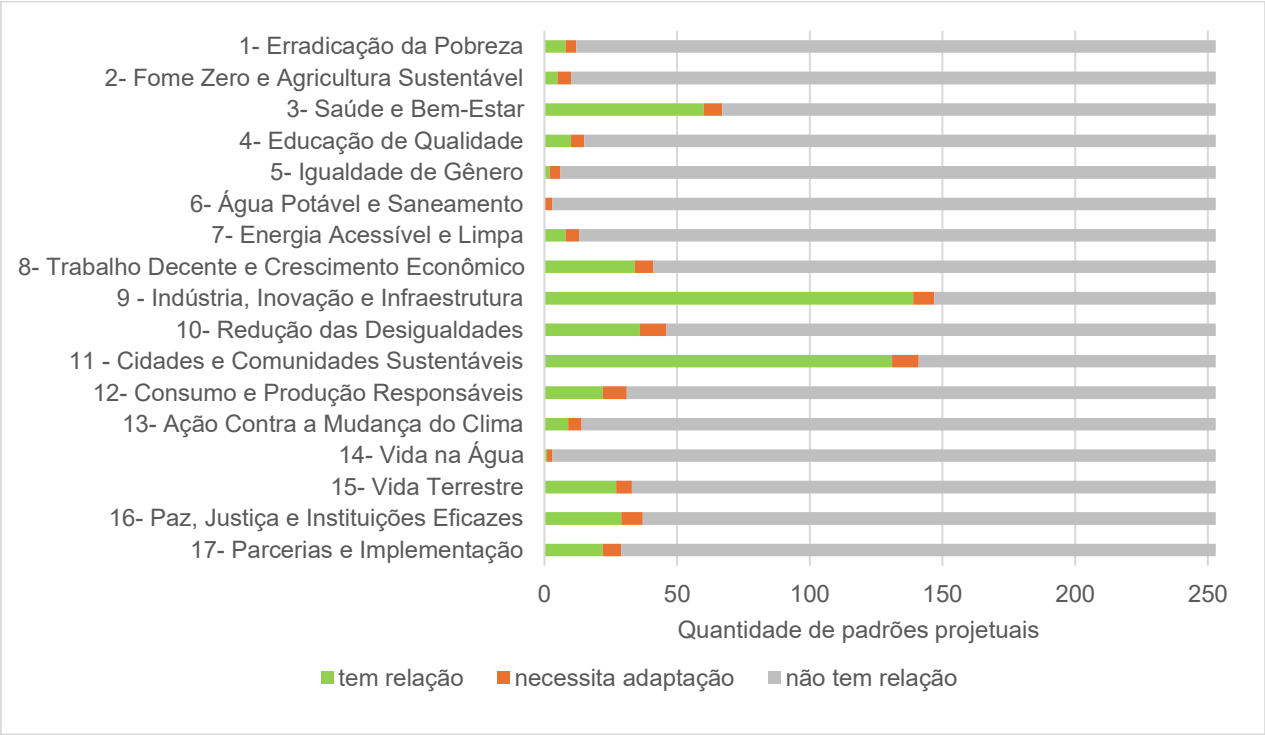

Figura 2: análise quantitativa da relação dos padrões projetuais com ODS.
Fonte: os autores (2025).

Do total de 253 padrões projetuais, a ferramenta de análise identificou que 126 padrões têm relação direta aos ODS e suas metas – em geral, são padrões que versam na escala da cidade. Os demais padrões, que atuam na escala do edifício, demonstram maior relação quando analisados de forma conjunta – análises isoladas tendem a não indicar relação com ODS e metas. Esses achados não pretendem determinar a pertinência normativa dos padrões de Alexander *et al.* (2013), mas sim evidenciar oportunidades para gerar novos padrões ou adaptar os existentes, a partir de aspectos identificados nas normas brasileiras, mantendo o ideal generativo e evolutivo que a teoria propõe.

É possível visualizar, ainda, que todos os ODS possuem padrões que se relacionam, com destaque aos ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 3 (Saúde e Bem-estar). O ODS 14 (Vida na Água) é o objetivo com menor número de padrões identificados como tendo relação direta.

A análise semântica da relação dos padrões projetuais Alexandrinos com as NBRs vigentes resultou em um total de 1.320.613.876 cruzamentos, identificando que 229 padrões têm relação com Normas Técnicas da ABNT. Nesta análise, esses padrões mostraram aderência semântica às normas identificadas com os ODS aos quais os padrões possuem relação (por exemplo o padrão PX possui relação com ODS “v” e ODS “t”. A análise do PX foi feita com as Normas Técnicas identificadas com forte relação com os ODS “v e t”, e assim por diante. Em 24 padrões foram identificados aspectos não abordados de acordo com as Normas analisadas, apresentados na Tabela 1.

Padrão projetual	NBR	Aspectos não abordados
P14-Bairro Identificável	NBR 9050-Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos; NBR 14022- Acessibilidade em veículos de características urbanas para o transporte coletivo de passageiros NBR 12255- Execução e utilização de passeios públicos	Conectividade com transporte público e parâmetros de acessibilidade universal
P31-Promenade	NBR 9050; NBR 16537-Acessibilidade-Sinalização tátil no piso; NBR 16052-Materiais para redes de distribuição...	Hierarquização de caminhos, pisos táteis ou rampas
P37-Agrupamento de Moradias	NBR 9050; NBR 13534-Instalações elétricas de baixa tensão; NBR 15575-Edificações habitacionais-Desempenho	Isenção de barreiras físicas ou enclaves sem acesso universal
P52-Rede Harmônica de Vias de Veículos e Pedestres	NBR 9050	Separação de pedestres e veículos
P61-Praças Públicas Pequenas	NBR 9050; NBR 16071-Playgrounds; NBR 16537	Previsão de mobiliário acessível, e critérios de segurança
P69-Ambiente Externo e Público	NBR 9050; NBR 15575 NBR 9077-Saídas de emergência em edifícios;	Critérios de espaços abertos de acessibilidade ou conforto
P72-Esportes Comunitários	NBR 9050; NBR 9077; NBR 15575; NBR 16071	Especificação de equipamentos e áreas esportivas sem normatizações
P80-Escritórios e Oficinas com Autoadministração	NBR 5410-Instalações elétricas de baixa tensão; NBR 9050; NBR 9077	Referências à ergonomia e à segurança
P95-Edificação como Complexo	NBR 9050; NBR 9077	Medidas mínimas de escadas e circulações internas
P104-Edificação Melhorando o Sítio	NBR 15575; NBR 10004-Resíduos Sólidos	Requisitos ambientais formais
P110-Entrada Principal	NBR 9050; NBR 9077	Medidas mínimas (larguras/inclinação)

P117-Cobertura Envolvente	NBR 15575; NBR 10844-Instalações prediais de águas pluviais; NBR 7190-Projeto de estruturas de madeira	Critérios térmicos e de estanqueidade
P121-Forma dos Passeios	NBR 9050; NBR 16537	Medidas mínimas (larguras/inclinação) e piso tátil
P126-Algo Mais ou Menos no Centro	NBR 9050; NBR 9077; NBR 14022	Função acessível ou segurança
P130-Ambiente de Entrada	NBR 9050; NBR 15575	Parâmetros de acessibilidade
P134-Vista Zen	NBR 15575; NBR 15220-Desempenho Térmico de Edifícios	Exigências de conforto
P136-Território do Casal	NBR 15575	Mobiliário mínimo
P144-Sala de Banho	NBR 9050;	Parâmetros de ergonomia
P150-Um Lugar de Espera	NBR 9050; NBR 9077	Parâmetros de acessibilidade
P159-Iluminação Natural Vinda de Dois Lados	NBR 15220; NBR 15575	Parâmetros de controle térmico
P160-Bordas da Edificação	NBR 9050; NBR 14022; NBR 16537	Tratamento acessível
P167-Terraço Utilizável	NBR 14718-Esquadrias-Guarda-corpos para edificação	Altura do guarda-corpo
P174-Passeio com Pérgola e Verde	NBR 9050; NBR 9077; NBR 16537; NBR 5410- Instalações elétricas de baixa tensão	Rampas e iluminação
P180-Lugar Junto à Janela	NBR 15575; NBR 10821-Esquadrias para edificações	Conforto ou peitoril

Tabela 1: padrões, normas e aspectos não mencionados.
Nota: a identificação nominal das Normas Técnicas (NBRs) ocorre apenas na primeira vez em que ela é citada.
Fonte: os autores (2025)

É possível identificar que os aspectos não retratados nas NBRs, em grande parte, se referem a parâmetros específicos. Nota-se que a NBR 9050 e a NBR 15575 têm relação com 17 e 9, respectivamente, dos 24 padrões. Ambas as Normas abordam assuntos que passaram a estar em pauta após a proposição original dos padrões, tais como acessibilidade universal e desempenho das edificações.

5. CONCLUSÕES

Este estudo propõe uma análise exploratória entre os padrões Alexandrinos, os ODS e as NBRs com o objetivo de analisar relação com medidas de sustentabilidade e questões técnicas vigentes no contexto atual. Através do método utilizado, o cálculo da compatibilidade identificou os padrões que se relacionam diretamente com ODS e NBRs, padrões que, com adaptações, podem vir a se relacionar, e outros que não possuem relação. Tais achados evidenciam possibilidades de refinamento e adaptação de novos padrões alinhados a requisitos técnicos atuais, em coerência com o método generativo descrito por Alexander (1979).

A aplicação da ferramenta demonstrou sua adaptabilidade a diferentes contextos e variáveis, reforçando a análise ao integrar de múltiplas bases de informações. No geral, os resultados indicam que a maioria dos padrões apresenta potencial contributivo à Agenda 2030, sobretudo em temas relacionados à inclusão social, vitalidade urbana e eficiência espacial. Também foi verificado que, em grande parte, os padrões possuem relação com Normas Técnicas vigentes. A análise identificou

aspectos não abordados relativos a assuntos abordados após a proposição original dos padrões, datada de 1977, tais como acessibilidade e desempenho.

Por fim, este estudo contribui ao estabelecer um método estruturado para a análise de compatibilidade adaptativa dos padrões projetuais, cuja abordagem pode ser expandida para outras investigações acadêmicas e práticas profissionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil.** São Paulo: Blucher, 2011.

ALEXANDER, C. **The Timeless Way of Building.** New York: Oxford University, 1979.

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M.; JACOBSON, M.; FIKSDAHL-KING, I.; ANGEL, S. **Uma Linguagem de Padrões:** A Pattern Language. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ALLEN, C. *et al.* Initial progress in implementing the Sustainable Development Goals (SDGs): a review of evidence from countries. **Sustainability Science**, v.13, p.1453-1467, 2018.

DAWES, M. J.; OSTWALD, M. J.: Christopher Alexander's a Pattern Language: Analysing, Mapping and Classifying the Critical Response. **City Territory and Architecture,** v. 17, p. 1-14, 2017.

FERREIRA, T. C. *et al.* Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: o impacto de grandes representantes da construção brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, p. 1-22, 2023.

MEHAFFY, M.: Notes on the genesis of wholes. **Urban Design International**, v. 12, p. 41-49, 2007.

OKAMOTO, P. S. **Os impactos da norma brasileira de desempenho nas práticas projetuais:** um estudo sobre a NBR 15575. Dissertação de Mestrado, USP. São Paulo, 2015.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo**. Brasília, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 23 abr. 2025.

OPOKU, A. Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs). **Resources, Conservation and Recycling**, v.141, p.1-7, 2019.

RAMSEY, J. L. On not defining sustainability. **Agricultural & Environmental Ethics**, v. 28, n. 6, p. 1075-87, 2015. Disponível em: https://philpapers.org/rec/RAMOND. Acesso em: 21 abr. 2025.

SCHNECK, E. R.; KERN, A. P.; OLIVEIRA, G. F.; BOCK, V. Uma Perspectiva sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável a partir de Padrões Projetuais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

WIESER, A. A *et al.* Implementation of SDG in construction industry – a systemic consideration of synergies and trade-offs. **IOP Conf. Series:** Earth and Environmental Science, v. 323, 2019.

WU, C. *et al.* Formalising the urban pattern language. **Cities**, v. 161, p. 1-15, 2025.

YOUNG, R. Do macro ao micro. **Página 22**, n. 108, p. 17, 2018.

AGRADECIMENTOS

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