



Generalização Cartográfica: Desafios e Perspectivas

Cartographic Generalization: Challenges and Potencialities

Fabiano Peixoto Freiman¹ e Daniel Rodrigues dos Santos²

¹ Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil. fabiano.freiman@ufpa.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0960-2115>

² Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, Brasil. daniel.rodrigues@ime.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7977-7426>

Recebido: 04.2022 | Aceito: 08.2022

Resumo Conceitos e procedimentos relacionados ao tema de generalização cartográfica evoluíram nas últimas décadas. Originalmente, este processo era aplicado no contexto analógico para garantir a manutenção da visualização e comunicação cartográfica de forma adequada. No entanto, com o avanço da cartografia digital o paradigma é ampliado e, então, o processo é aplicado desde a concepção do produto cartográfico, ou seja, quando se deseja reduzir uma base de dados para um mínimo necessário, mas mantendo as propriedades espaciais relevantes do conjunto. Computacionalmente, as regras de generalização são expressas por meio de algoritmos computacionais que incluem aspectos de semântica e geometria, assim como exigem, além de formulações objetivas, análises subjetivas de difícil implementação e automatização. Além disso, a inserção de novas tecnologias de aquisição e processamento de dados geoespaciais produzem novas lacunas científicas a serem superadas. Nesse aspecto, este trabalho busca, a partir de uma pesquisa bibliográfica e bibliométrica, identificar como as novas tecnologias ampliam os desafios relacionados à generalização cartográfica. Observa-se que, apesar dos operadores de generalização serem considerados satisfatórios, o número de publicações na temática é crescente e apresenta interesse internacional. Ademais, as novas tecnologias como algoritmos de Inteligência Artificial, aquisição de dados geoespaciais de forma incremental e construções de representações 3D inserem complexidades teóricas e práticas que devem ser superadas. Logo, os avanços da generalização cartográfica dependem da implementação de soluções relacionadas à materialização computacional dos operadores de generalização em processos objetivos que permitam a compreensão imediata da relação geométrica e estatística formada por um conjunto de dados geoespaciais.

Palavras-chave: Generalização Cartográfica. Cartografia Digital. Operadores de Generalização.

Abstract: Concepts and procedures related to the topic of cartographic generalization have evolved in recent decades. Originally, this process was applied in the analog context to ensure proper maintenance of cartographic visualization and communication. However, with the advancement of digital cartography, the paradigm is expanded, and, then, the process is applied from the conception of the cartographic product, that is, when it is desired to reduce a database to a necessary minimum while maintaining the relevant spatial properties of the set. Computationally, the generalization rules are expressed through computational algorithms that include aspects of semantics and geometry, as well as requiring, in addition to objective formulations, subjective analyzes of difficult implementation and automation. In addition, the insertion of new technologies for the acquisition and processing of geospatial data produces new scientific gaps to be overcome. In this aspect, this work seeks, from bibliographic and bibliometric research, to identify how new technologies increase the challenges related to cartography generalization. It is observed that, despite the generalization operators being considered satisfactory, the number of publications on the subject is increasing and is of international interest. Furthermore, new technologies such as Artificial Intelligence algorithms, incrementally acquiring geospatial data, and building 3D representations introduce theoretical and practical complexities that must be overcome. Therefore, advances in cartographic generalization depend on the implementation of solutions related to the computational materialization of generalization operators in objective processes that allow an immediate understanding of the geometric and statistical relationship formed by a set of geospatial data.

Keywords: Cartographic Generalization. Digital Cartography. Generalization Operators.

1 INTRODUÇÃO

Sester (2020) menciona que o mapa mais antigo foi feito em uma placa de argila mostrando regiões ao redor de Nuzi Mesopotâmia, empregando fortemente o processo de generalização, ou seja, a seleção de alguns

objetos para serem representados de forma esquemática, aplicando um processo de redução de dados geoespaciais para um mínimo necessário (SCHIEWE, 2021). Essa afirmativa levantada por Sester está relacionada às definições inseridas no relatório intitulado de *Cartographic Generalization* produzido em 1987, pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Segundo esse relatório, no contexto da Cartografia, todas as representações são reduções de alguma parte do ambiente e é impraticável e até mesmo impossível representar o planeta Terra em uma escala de 1:1, o que insere consequências, como a perda da clareza devido à superlotação e a passagem de um contexto específico para um geral (MCMMASTER; SHEA, 1992) necessitando de aplicações de operadores como simplificação (SESTER, 2005), agregação e deslocamentos (PILEHFOROOSHHA; KARIMI; MANSOURIAN, 2021), como exemplos, para ajustar os elementos representados às restrições gráficas impostas pela escala de representação.

A esse conjunto de operadores aplicados ao processo de compatibilização dos elementos geoespaciais às restrições gráficas, inseridas em uma determinada escala, é reduzido ao tópico conjunto de generalização cartográfica, em que se aplica um fluxo de trabalho para a confecção de mapas. A finalidade da generalização é produzir mapas respeitando requisitos de exatidão, conteúdo de informação e legibilidade (MCMMASTER; SHEA, 1992; WU; WANG, 2021). Esse processo está fortemente conectado às representações multi-escala e a multi-representações (*Level of Details – LoD*, no contexto digital) de um mesmo conjunto de dados (BILJECKI et al., 2016; TANG et al., 2020; SHEN et al., 2022). A generalização cartográfica, portanto, é o processo empregado para tratar dados geoespaciais de entrada e representá-los em escalas múltiplas, obtendo representações facetadas, desenvolvidas e aplicadas, conforme necessidade e objetivos do produtor de um mapa, sendo correspondente às regras impostas por um determinado nível de abstração (SESTER, 2020).

Historicamente, o processo de generalização é aprimorado, conforme se propõem as modificações das funções de mapas e da Cartografia propriamente dita. Segundo Schiewe (2021), esse processo se dá naturalmente, devido aos desenvolvimentos tecnológicos e sociais que inserem diferentes funcionalidades e perspectivas para os processos de representação do território. Na Cartografia analógica, busca-se generalizar para manter o processo de visualização e de comunicação cartográfica de forma adequada (MULLER, 1991), ou seja, centrada na visualização gráfica. Na perspectiva digital, o paradigma é ampliado. O propósito, então, é generalizar para reduzir a base de dados a um mínimo necessário, mas mantendo as propriedades espaciais relevantes do conjunto (MCMMASTER; SHEA, 1992; STOTER et al., 2014; ROCCA et al., 2017; SESTER, 2020; SCHIEWE, 2021). Ambas estão relacionadas com a coleta e a comunicação de informações espaciais. Contudo, ao usar uma abordagem computacional, uma separação é feita entre o conteúdo de informação do sistema e a apresentação dessas informações em forma gráfica (uma imagem – mapa – ou um modelo cartográfico) (MOREHOUSE, 1995).

A generalização cartográfica é mais do que a aplicação de operadores de generalização (CEBRYKOW, 2017), trata-se de uma tarefa complexa, que exige experiência humana e criatividade (MCMMASTER; SHEA, 1992). Apresenta-se como um tópico relevante na exploração de dados geoespaciais na era digital (STOTER et al., 2014; ROCCA et al., 2017; SCHIEWE, 2021; PILEHFOROOSHHA; KARIMI; MANSOURIAN, 2021), entretanto, nos últimos anos, observa-se uma consolidação das atividades de pesquisas científicas relacionadas à essa temática, devido às menores demandas de visualização em ambientes virtuais, quando comparado com produtos impressos (SESTER, 2020). Isso se dá, principalmente, devido ao desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG) que emprega ferramentas de zoom e camadas monotemáticas simultaneamente (MIÜLLER et al., 1995). No entanto, devido aos desenvolvimentos tecnológicos recentes e à inserção de novos processos e de metodologias complexas de aquisição de dados geoespaciais para a significação e a representação cartográfica, esse tópico de pesquisa se torna um aspecto importante para desenvolvimentos científicos e automatização computacional.

Nessa perspectiva, a questão central é: se existe o desenvolvimento de novas tecnologias de aquisição de dados geoespaciais e de processamento computacional de geodados que exigem processos de generalização cartográfica, então, novas lacunas e desafios científicos relacionados à temática deverão ser solucionados em uma perspectiva global. Para tanto, busca-se, a partir de uma pesquisa bibliográfica e bibliométrica, identificar como as novas tecnologias ampliam os paradigmas da generalização cartográfica. As discussões neste trabalho são apresentadas em 4 Subseções. Na Seção 2, apresenta-se os aspectos teóricos e evolutivos do contexto da generalização cartográfica, seguida pela Seção 3, que insere os aspectos bibliométricos. Na Seção 4, são

descritos os principais desafios e desenvolvimentos para os próximos anos relacionados à temática discutida. Por fim, na Subseção 5, destacam-se as conclusões.

2 ASPECTOS TEÓRICOS E EVOLUTIVOS

Existem várias propostas de definição de generalização cartográfica, todavia, devido à complexidade e à subjetividade da temática, uma teoria única é de difícil implementação. Dentre as teorias existentes, Robinson et al. (1995) a define como um conjunto de procedimentos aplicados em uma base de dados geoespaciais com o intuito de adequá-los a uma representação cartográfica em uma nova escala de representação, respeitando requisitos da comunicação e da legibilidade. Essa definição pode ser corroborada pelas afirmativas levantadas pela *Swiss Society of Cartography* (SSC, 2002), que define o tema como um processo de simplificação gráfica de mapas de grande escala, conforme o detalhamento do produto a ser representado e considerando aspectos de uso, precisão posicional, características e representação gráfica coerentes (comumente empregado no contexto da produção de cartas topográficas). Uma definição semelhante é proposta pela *International Cartography Association* (ICA, 1973), que define a generalização cartográfica como o processo de seleção e de representação simplificada de detalhes apropriada à escala e/ou ao propósito do mapa, com o intuito, conforme McMaster e Shea (1992) (em uma conjuntura digital), de derivar de uma fonte de dados geoespacial, um conjunto cartográfico codificado simbólica ou digitalmente, através da análise cartométrica e da aplicação de transformações espaciais e de atributos. Esses dois processos consistem, de acordo com NOAA (1987), nas etapas que constituem o processo de generalização cartográfica: a seleção de informações e a aplicação de operadores de generalização condicionados à escala e ao formato do produto. Respectivamente, essas etapas representam análises baseadas na avaliação semântica do conjunto de dados e na definição de restrições gráficas condicionais.

No contexto atual, com o desenvolvimento da cartografia digital e do SIG, a generalização passou a ser aplicada na manipulação de bases cartográficas digitais, com o intuito de automatizar o processo para novos conceitos e diferentes aplicações. Segundo Wu e Wang (2021), os desenvolvimentos relacionados à temática são um campo desafiador e automatizá-los em um ambiente digital ainda é uma questão central que a Cartografia Moderna enfrenta. Inclusive, observando um panorama histórico, as primeiras tentativas de generalização cartográfica buscavam solucionar problemas restritos, como as feições lineares em que se aplica o algoritmo de Douglas e Peucker (1973) ou de ponto e área (TOPFER; PILLEWIZER, 1966). Com base nesses estudos e no amadurecimento dos conceitos e dos ideais, outros autores propuseram metodologias e aspectos conceituais para melhor compreender os elementos e o processo de generalização cartográfica.

Segundo McMaster e Shea (1992), as etapas que constituem a generalização cartográfica são complexas, subjetivas e holísticas. Os resultados e procedimentos empregados dependerão do operador, de suas experiências e perspectivas em relação ao objeto de estudo. O principal problema é selecionar operadores de generalização corretos e aplicá-los seguindo um ordenamento coerente em relação ao contexto analisado (SESTER, 2020). No âmbito digital (com o desenvolvimento do SIG), buscou-se expender processos objetivos, para formalizar a escolha de operações de generalização (LI; OPENSHAW, 1993). A proposição para esse problema foi o desenvolvimento de modelos conceituais para sistematizar elementos e definir estratégias de generalização como um todo. A principal razão para o desenvolvimento de modelos é facilitar o acesso a dados no ambiente SIG, no qual o usuário interage com geo-objetos sem conhecimento da sua representação interna, enquanto a generalização cartográfica é impulsionada por princípios da comunicação, as quais não funcionam independentemente, sendo a primeira percussora da segunda.

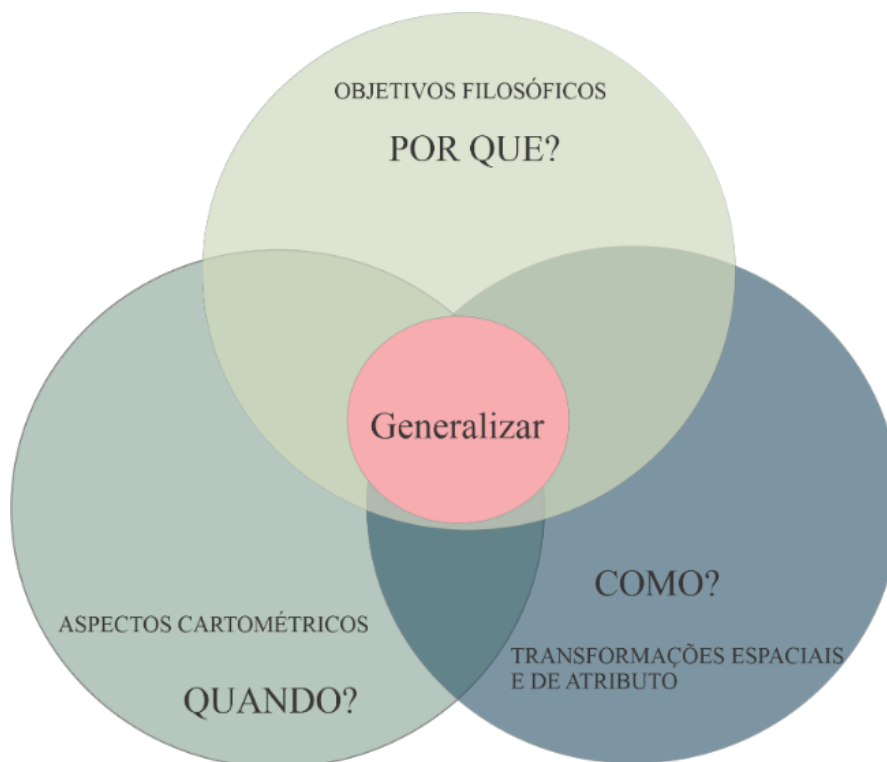
Conforme Cerbrykow (2017), os modelos conceituais são tentativas de abordar a generalização de forma geral em direção a permitir a distinção de elementos básicos dentro do processo e de seus relacionamentos espaciais. Os modelos na fase digital foram divididos em duas etapas: 1) A generalização do modelo de dados (*Digital Landscape Model* - DLM) e; 2) a generalização do modelo cartográfico digital (*Digital Cartographic Model* - DCM). O primeiro estágio é tratado como a preparação do Banco de Dados Geoespacial (BDG) (seleção, eliminação e redução de classes e de subclasses), ou seja, a modelagem orientada a dados para o segundo estágio, que é responsável por gerar o produto cartográfico adequado ao propósito e à visualização do mapa (derivação de representações secundárias num contexto multi-escala). Essa afirmação é

corroborada por MIÜLLER et al. (1995). que mencionam que a principal distinção entre o ponto de vista digital e o cartográfico analógico é a possibilidade de manipulação do BDG no primeiro caso, independente da representação cartográfica.

Vários modelos, portanto, foram propostos para oferecer uma base teórica para a compreensão desse problema, como os desenvolvidos por McMaster e Shea (1992), Ratajski (1967), Morison (1974), Nickerson e Freeman (1986) e Brassel e Weibel (1988). Dentre esses, o mais completo é o desenvolvido por Brassel e Wibel (1988). Segundo esses autores, conhecer a generalização cartográfica significa extrair as estruturas características básicas dos dados geoespaciais para identificar os procedimentos necessários, desde a formalização dos operadores e suas aplicações até a exibição dos dados geoespaciais em um produto cartográfico. Todos os trabalhos supracitados buscavam definir como a generalização cartográfica deveria incorporar-se em um ambiente digital. Uma das alternativas para responder esse questionamento foi proposta por McMaster e Shea (1992), um modelo conceitual de generalização largamente aceito até os dias atuais.

McMaster e Shea (1992) entendem a generalização como uma transformação de dados espaciais e de atributos realizada para fornecer conteúdo adequado à representação, de acordo com sua escala, e é baseado em três questionamentos: por que (objetivos filosóficos), quando e como generalizar? (Figura 1). Os objetivos filosóficos (comunicabilidade, requisitos e recursos computacionais) justificam e provocam a possibilidade de generalização em meio digital e fornecem a base teórica para o segundo estágio do modelo conceitual de McMaster e Shea (1992), em que se busca responder quando generalizar. Essa segunda etapa está associada à afirmativa de Li; Openshaw (1993), os quais mencionam que o motivo da generalização está na relação entre legibilidade gráfica e escala.

Figura 1 – Modelo conceitual de generalização (McMaster, Shea).



Elaboração: Os autores (2022).

McMaster e Shea (1992) caracterizam essa análise como avaliação cartométrica (condições geométricas, espaciais e de transformação), que são informações de base para solucionar o terceiro questionamento: como generalizar? A etapa que define como generalizar é responsável pela determinação dos operadores de generalização, que são classificados em espaciais (simplificação, suavização, agregação, amalgamação, união, colapso, refinamento, exagero, realce e deslocamento) e de atributo (classificação e simbolização), adotados para a realização de transformações geométricas e semânticas.

Independente do modelo conceitual empregado, o objetivo da aplicação do processo de generalização é semelhante. Segundo Brassel e Weibel (1988), no contexto analógico, os processos são usados como uma etapa preparatória para a confecção de mapas. No contexto da generalização orientada a modelos conceituais, preocupa-se não apenas com a exibição, mas também com o contexto de redução de dados que permita minimizar custo computacional de processamento e armazenamento. O objetivo principal é a aplicação de algoritmos de generalização gerenciáveis para diferentes usos, minimizando requisitos de memória e maximizando a eficiência computacional (processamentos analíticos em SIG e transferência de dados em rede, como exemplos). No caso digital, os dados de saída não são mapas propriamente ditos, mas dados geoespaciais pré-processados para uso em ambientes SIG, contendo processos completamente formalizados sem habilidades de decisões gráficas subjetivas.

Nesse quesito, apesar das proposições dos modelos conceituais no âmbito digital e da ampla adoção do modelo de McMaster e Shea (1992), a inserção de novas tecnologias e procedimentos de representação dos ambientes insere desafios em relação à automatização e à aplicação das estratégias de generalização cartográfica. A automação dessas atividades requer a compreensão da relação entre os diferentes objetos presentes no conjunto de dados e o seu valor informativo, necessitando definir estratégias e formulações a partir de um conjunto de regras, para geração de conhecimento e/ou descoberta de padrões. As dificuldades estão relacionadas às características intrínsecas aos dados geoespaciais que formam o BDG primário e à heterogeneidade dos ambientes a serem mapeados.

Apesar das dificuldades, um conjunto de dados geoespacial faz parte da Linguagem Natural (LN), que pode ser entendida como qualquer forma de linguagem desenvolvida naturalmente pelo ser humano (MAROTTA et al., 2011). Esse conceito é proveniente da Linguística de *Corpus* (LC) (SÁNCHEZ, 1995), área da linguística que analisa um conjunto de amostras linguísticas (*corpus*) para identificar a dinâmica e os significados das palavras no contexto do Processamento da Linguagem Natural (PLN) (BRODEUR et al., 2003), a qual, por sua vez, é uma subárea da Ciência da Computação e da linguística que estuda os problemas de geração e de compreensão automática de línguas humanas naturais. Dentro da área científica da LC, objetiva-se a coleta e a exploração dos corpora linguísticos sistematizados e suficientemente extensos em amplitude, de maneira que sejam representativos da totalidade do uso linguístico, a partir de evidências empíricas extraídas por meio de computador (SÁNCHEZ, 1995).

A Ciência da Computação objetiva entender a representatividade de um *corpus* e gerar hipóteses e soluções a partir do PLN, preocupando-se não somente com um objeto isolado, mas com o entendimento semântico de toda a estrutura, em que a percepção e a cognição humana desempenham um papel importante e, devido às limitações cognitivas e à mutação da língua em decorrência do dia a dia, a maioria dos enunciados humanos são muito mais simples, repetitivos e previsíveis, a partir da aplicação de métodos estatísticos modernos (HINDLE et al., 2016). Na área da LC, um *corpus* linguístico é analisado para identificar a dinâmica e os significados das palavras. No âmbito geoespacial, um conjunto de geodados (*corpus* geoespacial) é processado e interpretado para significar ambientes geoespacializados. Em ambos os casos, computacionalmente busca-se segmentar e extrair informações para gerar conhecimento automático sobre os aspectos analisados. No âmbito cartográfico, a PNL é empregada para a compreensão geoespacial de eventos e permite a derivação de significados de um *corpus* de maneira automatizada, a partir de evidências empíricas extraídas por meio de computador.

A partir de um *corpus* geoespacial, todo processo de generalização cartográfica envolve o contexto cognitivo humano para interpretá-lo, extrair conhecimento e definir quais as informações são necessárias para a compilação de um objetivo em específico. Isso está relacionado com as decisões do analista em saber como generalizar ou resolver potenciais conflitos na generalização. No processo manual, é relativamente simples implementar essas estratégias holísticas (MCMASTER; SHEA, 1992), entretanto, no digital, soluções subjetivas são de difícil implementação (ZHANG; WANG; LI, 2021; TOUYA; LOKHAT, 2021). As soluções encontradas partem do princípio de que a generalização cartográfica pode ser decomposta em processos computacionais, seguindo o contexto do PLN e considerando que o domínio geoespacial apresenta repetibilidade geométrica e semântica; logo, é possível, a partir de métodos estatísticos e uma linguagem formalizada de programação computacional, interpretar e generalizar um *corpus* geoespacial. Nesse quesito, observa-se que operadores de generalização cartográfica - como definidos por McMaster e Shea (1992) - e

algoritmos de generalização têm uma relação hierárquica. Enquanto o operador define a transformação que deve ser alcançada, o algoritmo computacional é empregado para implementar uma transformação particular em decorrência da análise do *corpus* geoespacial. Nesse caso, os operadores de generalização são independentes do modelo de dados ou das classes de uso específicos (estradas, edificações, hidrografia, etc).

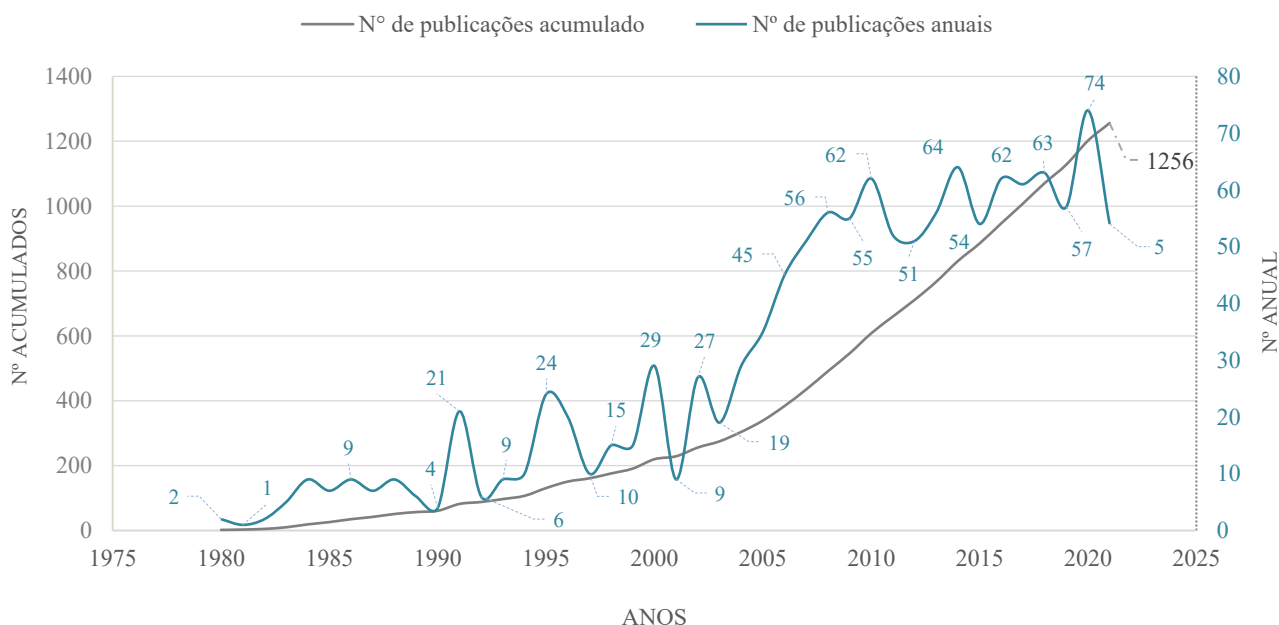
Assim, a generalização cartográfica no âmbito digital deve ser subdividida em um conjunto de operadores de generalização (SHEN et al., 2022) capazes de solucionar problemas muito específicos automaticamente (BANASIK; CHROBAK; BIEGUN, 2022). Isso pode acarretar dificuldades quando se muda o BDG primário e as suas características geométricas e/ou estatísticas não refletem o conjunto anteriormente analisado. Fator que influencia diretamente nos desenvolvimentos científicos recentes e na evolução dos métodos de generalização digital que buscam entender como implementar transformações, independentemente do *corpus* geoespacial que se deseja generalizar (SUN et al., 2016; SESTER; FENG; THIEMANN, 2018; DUO; YU et al., 2020; ZHANG, 2021; YANG et al., 2022).

Para analisar as pesquisas recentes são apresentados aspectos bibliométricos na Seção 3, como segue.

3 ASPECTOS BIBLIOMÉTRICOS

Para analisar os modelos da literatura científica quantitativamente, foram considerados artigos publicados entre os anos de 1980 e 2021 e recuperados a partir da análise dos tópicos *Cartographic Generalization* e *Map Genralziation*. Foi aplicado o processo computacional automático para a seleção de artigos de forma consistente, eliminando redundância a partir da análise dos títulos e possíveis trabalhos que não abordam a temática propriamente dita, mas que foram inseridos como resultados nas buscas de cada plataforma. No total, 1256 trabalhos foram selecionados, apresentando-se como uma temática de interesse global, abordada por pesquisadores de diferentes países. No gráfico da Figura 2, é ilustrado o crescimento de pesquisas relacionadas à generalização cartográfica. Mesmo apresentando variações anuais, o saldo é crescente e positivo, fator que demonstra ainda a necessidade de aprimoramentos e de investigação.

Figura 2 – N° de publicações em generalização cartográfica.



Elaboração: Os autores (2022).

A partir da Figura 2, observa-se que, em 1980, são listados os dois primeiros artigos que discutem aspectos da generalização cartográfica, enquanto no ano de 2021 soma-se um total de 1256 trabalhos destinados ao aprimoramento de técnicas ou a discussões relacionadas ao tema (artigos de revisão). Apesar de a bibliometria sugerir o início das pesquisas em 1980, observa-se propostas anteriores, como Steward (1974) e Töpfer e Pillewizer (1966) (listados na plataforma *Google Acadêmicos*), que trazem aspectos teóricos

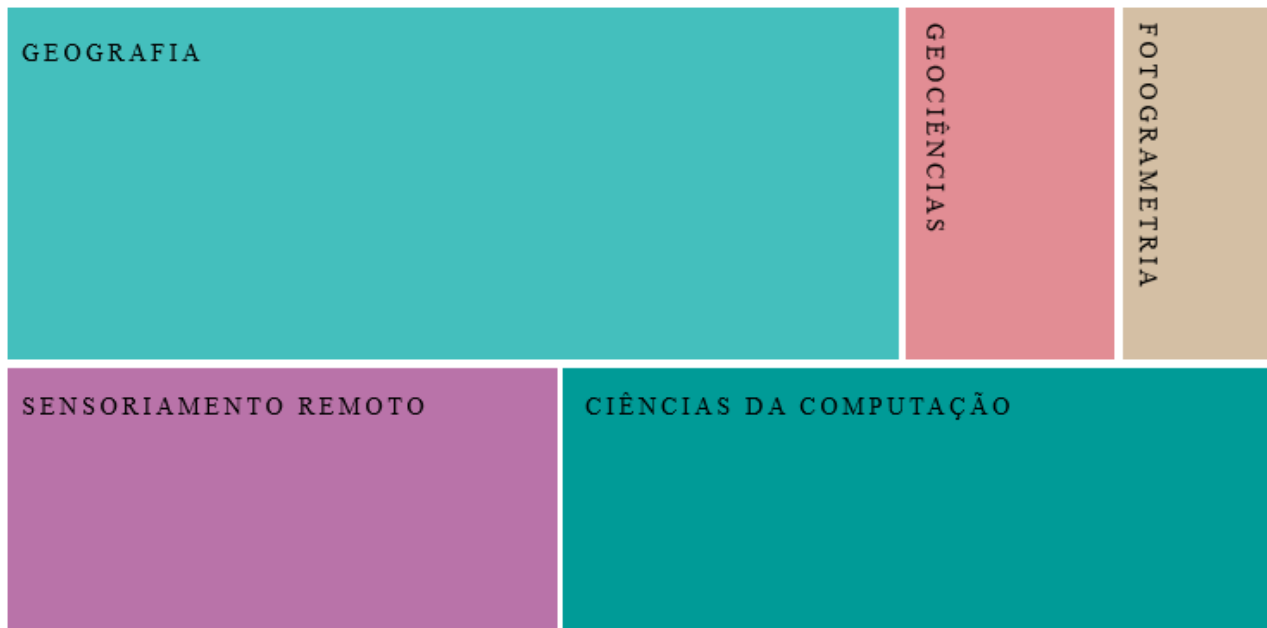
importantes no contexto da generalização. No entanto, o crescimento foi lento até os anos de 1990, década em que houve o aumento de atividades relacionadas à automação por meio de computadores. Segundo Sester (2020), as agências nacionais de mapeamento se esforçaram para buscar a automatização de processos manuais, e pesquisadores da década foram atraídos pelo desafio inserido no processo de generalização cartográfica computacional, abrindo várias faixas de pesquisas. As discussões abertas deram início à produção científica, sendo abordadas por grupos como a ICA, a partir da comissão nominada de *Commission on Generalization and Multiple Representation* (Comissão de Generalização e representação múltipla).

Atualmente, a proposta das discussões se relaciona ao desenvolvimento de métodos automatizados que permitam a criação e a exibição de informações geoespaciais em diferentes níveis de detalhe, considerando uma variedade de tecnologias de aquisição de dados geoespaciais e de processamento disponíveis atualmente. Sester (2020) esclarece essa afirmativa a partir da exemplificação do desenvolvimento de sensores de aquisição de dados espaciais que permitem coletar geoinformação de forma altamente distribuída (*Light Detection and Ranging* (LiDAR), câmeras, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), etc.), além de novas formas de mapeamento, como o colaborativo, que fornecem um fluxo de informações atualizadas (GENCARELLI et al., 2022), por diferentes sensores, pessoas e instituições que não necessariamente tenham o foco centrado no mapeamento topográfico tradicional, mas no monitoramento, na representação e na análise espacial dos elementos que compõem o ambiente, a partir de um processamento integrado de diferentes fontes de geoinformação, com diferentes resoluções e densidades. Esses fatores implicam na necessidade de generalizar quando se trabalha com fontes de dados de forma incremental, ou seja, a realização da homogeneização dos variados conjuntos de dados que componham um BDG em um processo de integração. Ademais, a generalização digital pode ser usada para permitir uma compreensão rápida, para apoiar uma análise com um nível de detalhamento grosseiro para um refinado e também para processar dados em um LoD ideal para uma determinada tarefa, minimizando custo computacional e de armazenamento em BDG (BILJECKI et al., 2015).

Os desafios inseridos no âmbito digital associados ao avanço tecnológico recente apresentam aspectos multidisciplinares e atraindo pesquisadores de diferentes áreas, como os especialistas em BDG e modelagem ontológica, em geometria computacional e análise espacial, informática e designer de interface, serviços de web, modelagem baseada em agentes e em grande parte profissionais da Cartografia. Observa-se, na Figura 3, que na categoria denominada de Geografia (que na plataforma *WoS* se subdivide em Geografia e Geografia Física) concentram-se o maior número de publicações, seguido pelas áreas de Ciências da Computação que engloba a generalização no âmbito computacional, aspectos de armazenamento em BDG (BILJECKI et al., 2016) e o desenvolvimento de operadores de generalização a partir da implementação de algoritmos heurísticos (MARTÍN et al., 2009; ZHANG; WANG; LI, 2021; TOUYA; LOKHAT, 2021), genéticos (SUN et al., 2016) e de Inteligência Artificial (SESTER; FENG; THIEMANN, 2018; DUO; ZHENG et al., 2021), do termo em inglês, *Artificial Intelligence* (AI).

Dentre as iniciativas recentes, algoritmos computacionais são desenvolvidos e aprimorados para a materialização computacional de operadores de generalização (processos relacionados a geometria computacional e análise espacial), como simplificação de feições lineares (COURTIAL; TOUYA; ZHANG, 2021; Zheng et al., 2021) e simplificação e agregação de edificações (COURTIAL; TOUYA; ZHANG, 2021; SESTER; et al., 2018; DUO et al., 2021) por meio de AI. Estes algoritmos são aplicados para a compilação de cartas topográficas e para materializá-los é necessário que se tenha um conjunto de dados amostral relativamente extenso para treinar o modelo AI de forma adequada. A maioria das abordagens trabalham com dados no formato matricial. Iniciativas que empregam dados no formato vetorial são raras devido à complexidade do processo. Outras estratégias também são empregadas frequentemente, como Sue et al. (2016), que a partir de algoritmos genéticos desenvolveram um operador de deslocamento. No contexto web, a generalização cartográfica também apresenta um aspecto importante devido à prevalência de mapas em ambientes digitais que permitem operações de zoom e visão panorâmica em várias extensões e escalas (GRÖBE; BURGHARDT, 2021), envolvendo aspectos de modelagem ontológica (KULIK; DUCKHAM; GENHOFER, 2005; BILJECKI et al., 2016; MEMDUHOGLU; BASARANER, 2021), e interação com o usuário (GAFFURI, 2011).

Figura 3 – Áreas de concentração que buscam generalização cartográfica (WoS).



Elaboração: Os Autores (2022).

Uma outra vertente da generalização não a aplica na compilação de produtos cartográficos, mas visam a minimização da redundância do conjunto de dados geoespacial primário, como o da generalização cartográfica 3D (SESTER, 2020). Para alcançar este objetivo, a principal estratégia é aplicação de operadores de simplificação (LI et al., 2013; HUBO et al., 2006; ELSEBERG; BORRMANN; NÜCHTER., 2013; Huang et al., 2020), que buscam minimizar o conjunto de geodados sem perdas excessivas, constituindo estratégias de minimização do custo computacional de processamento e de armazenamento do conjunto de dados original. Esse processo está relacionado diretamente ao BDG e relaciona-se com a modelagem ontológica e a geometria computacional. Em um ambiente SIG, por exemplo, a visualização é essencial para exploração, interpretação e comunicação de dados. Aplicações independentes exigem graus variáveis de detalhes e necessidades de modelagem da informação geográfica em diferentes LoDs, em que o fenômeno seja melhor compreendido. O principal problema, no ponto de vista de produção de dados, é que a gestão e a manutenção dos dados são limitadas pelos requisitos de precisão.

No Brasil, existem algumas iniciativas que discutem a temática de generalização cartográfica, principalmente no contexto da produção de cartas topográficas de forma automatizada; prática não aplicada operacionalmente no país. Dentre as iniciativas, as discussões são orientadas em virtude de avaliações cartométricas a partir da detecção de problemas geométricos resultantes da redução de escala, da definição de operadores e da adoção de uma simbologia adequada seguindo os princípios de McMaster e Shea (1992), como em Taura et al. (2010) e Comé e Sluter (2015). Essas mesmas perspectivas são levantadas e aplicadas em ambientes web, a partir de discussões relacionadas a multiescala, simbolização e aplicação de operadores de generalização, como em Pombo e Sluter (2010) e Graça e Fiori (2015). A materialização de operadores de generalização por meio de algoritmos computacionais também é abordada. Nessa perspectiva, pode-se citar Gruppi et al. (2016) e Firkowski (2002), ambos os trabalhos abordam a implementação de operadores de simplificação. O primeiro para feições lineares e, o segundo, para superfícies topográficas. Andrade e Santos (2022) também discutiram o processo de simplificação, no entanto, aplicado a nuvens de pontos LiDAR para a extração de informações de vegetação.

Observa-se que a generalização cartográfica é uma área multidisciplinar e envolve uma lista extensa de subtópicos relacionados. Para ilustrá-los, na Figura 4 são apresentados os termos-chave empregados nos títulos dos artigos selecionados a partir da busca bibliométrica. Observa-se que as propostas atuais são relacionadas ao processo digital, buscando o desenvolvimento de algoritmos de generalização cartográfica automatizada, definindo operadores, o tratamento holístico das propriedades geométricas e os seus relacionamentos para a generalização do *corpus* geoespacial que integra um BDG. Constata-se que as

estratégias de generalização automática se transformam de acordo com os objetivos dos seus idealizadores e em função da primitiva geométrica analisada. Todavia, os operadores que são considerados importantes são definidos conforme a visão e o entendimento do analista acerca do contexto global, inserindo a generalização em um processo subjetivo e holístico, tornando a sua automatização um desafio (MCMASTE; SHEA, 1992).

Figura 4 – Palavras empregadas nos títulos dos artigos.



Elaboração: Os autores (2022).

As estratégias atuais, em grande parte, buscam integrar o conhecimento cartográfico em tarefas automatizadas e estão relacionadas com aspectos gráficos, como a análise de características geométricas (FORBERG, 2007; BILJECKI et al., 2016, DU et al., 2022), a designação de símbolos cartográficos (BARTONĚK; ANDĚLOVÁ, 2022) e definição de padrões (DYER et al., 2022), relacionando-se com três aspectos: 1) Critérios e especificações técnicas atuais (normatizações, padrões e especificações técnicas); 2) Análise das características geométricas e semânticas do conjunto de dados que integra o BDG primário e; 3) Definição de regras automáticas de generalização cartográfica digital materializadas por linguagem de programação. Esses tópicos devem ser estudados não apenas para analisar as regras de generalização cartográfica implementadas, mas para avaliar o sucesso do processo em uma base de dados geoespacial. No contexto digital, deve-se considerar as limitações dos ambientes computacionais, que necessitam representar formalmente o conhecimento cartográfico para generalizar de forma automática, uma vez que os algoritmos são baseados em lógica, modelos e ontologias. O principal desafio está relacionado ao seguinte questionamento: **como expressar o conhecimento dos especialistas em cartografia a partir de métodos computacionais sistematizados para a resolução dos problemas associados à generalização cartográfica?**

Apesar dos avanços, uma resposta consistente para o questionamento supracitado ainda não foi completamente formalizada, e trabalhos recentes buscam solucioná-lo. Grande parte das iniciativas busca implementar o operador de generalização cartográfica a partir de diferentes estratégias computacionais. Observa-se que a maior parte das pesquisas se concentrou em questões similares, como o desenvolvimento de operadores de simplificação de linhas ou polígonos, sendo que questões mais complexas como orientação de objeto, propósito geral da generalização digital e requisitos de BDG não são frequentemente discutidos. Dos trabalhos selecionados na pesquisa bibliométrica, no Quadro 1, são apresentados os desenvolvidos no ano de 2021, selecionados a partir da aplicação do método Proknow-C (ENSSLIN, et al., 2010). Dos 24 trabalhos listados, 7 propuseram a implementação de operadores de generalização cartográfica digital.

Quadro 1 – Pesquisas em generalização cartográfica no ano de 2021.

Autores	Estratégia de generalização cartográfica
Cheng et al. (2021)	Adaptação do algoritmo Douglas-Peucker para a generalização cartográfica de redes hidrográficas. Aplicação de processos de simplificação.
Skopeliti, Tsoulos e Pe'eri (2021)	Processo de generalização cartográfica para extração de linhas de costa de um MDT, seguindo as restrições impostas pela <i>International Hydrographic Organization</i> (IHO). Aplicação de processos de simplificação, agregação, exagero e omissão.
Li et al. (2021)	Generalização de MDT de áreas submarinas. Aplicação de algoritmos heurísticos para extração de pontos e ponderação para aplicação de processos de interpolação.
Zheng et al. (2021)	Generalização cartográfica de estradas. Aplicação de estratégias de Redes Neurais Convolucionais (RNC).
Zhang, Wang e Li (2021)	Detecção de conflitos na representação de estradas em uma análise multi-escala. Emprega o algoritmo <i>K-order</i> para identificar e analisar vizinhança para o refinamento geométrico de topologia.
Touya; Lokhat (2021)	Desenvolvimento de um algoritmo heurístico denominado de <i>ReBankment</i> para a implementação de operadores de deslocamentos em representações de taludes vizinhos a estradas e rios. Baseado no Método dos Mínimos Quadrados.
Liu et al. (2021)	Reconhecimento e extração automática de polígonos que representam edificações. Empregam estratégias baseadas em RNP em uma estrutura de grafos.

Elaboração: Os autores (2022).

Observa-se que, dentre a amostra analisada, os autores propuseram a realização de generalização de feições específicas com primitivas geométricas do tipo linha (estradas e hidrografia) ou polígono (edificações), empregando algoritmos heurísticos e/ou AI que apresentam a capacidade de realização de seleção e de extração de feições de uma base de dados geoespacial. A princípio, os algoritmos demonstraram desempenho adequada ao que é proposto pelos autores, entretanto, quando empregada em uma base de dados específica. Considerando a aplicação em outros contextos, os procedimentos implementados não apresentam os mesmos resultados, devido à impossibilidade de definir uma sequência ou uma ordem fixa para a aplicação de operadores de generalização que seja universalmente aceita para todas as escalas ou propósitos, sendo ainda um desafio a ser superado. Esse fato está associado a necessidade de identificação dos objetivos da generalização no contexto digital, ou seja, definição de quando e como generalizar a partir do desenvolvimento de um conjunto específico de métodos para abstrações e reduções de dados e discriminar a relação entre redução, qualidade e representação dessa base. Ademais, pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de modelos de generalização (relacionados ao DLM e DCM) são negligenciados e necessitam de aprimoramentos (MÜLLER et al., 1995).

Independentemente da proposta implementada, a eficiência e a precisão dos resultados obtidos com a implementação dos operadores são fatores determinantes para o desenvolvimento e a seleção de um algoritmo apropriado (MCMaster; Shearman & Sterling, 1992). Para tarefas tradicionais e em contextos específicos, os procedimentos computacionais de generalização existentes são eficientes e se assemelham com às de generalização manual. Todavia, uma solução padronizada relativa a novas tecnologias e a demandas relacionadas ao mapeamento é de difícil implementação, fator que insere desafios e lacunas científicas a serem investigadas, conforme destacado na Seção 4.

4 DESAFIOS NA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Apesar do progresso e do número de desenvolvimentos relacionados à generalização, a temática ainda é considerada um desafio para a Cartografia (Schiewe, 2021), principalmente quando se relaciona às novas tecnologias empregadas para a representação cartográfica ou aos desenvolvimentos computacionais de processamento de dados geoespaciais. Em um primeiro momento, a implementação de operadores se dava por processos matemáticos e estatísticos empregados para a materialização digital do processo de generalização, no entanto, o contexto geoespacial nem sempre é considerado (Cebryk, 2017), sendo responsabilidade do analista verificar os resultados e conectá-los com o panorama analisado. Para considerar a conjuntura geoespacial, surge o conceito de sistemas especializados (Banasiak; Chrobak; Biegun, 2022), sobre o qual se busca criar regras que refletem o conhecimento e a experiência humana por meio de formulações

algorítmicas em meio digital, todavia essa tarefa é complexa, e a maioria dos sistemas desenvolvidos nunca foram completamente implementados ou aceitos na prática.

Estratégias intermediárias ainda buscam a formalização do conhecimento cartográfico necessário para a automatização da generalização e a combinação de estratégias baseadas em estatística e em matemática, com sistemas especializados, sendo denominado pelo seu precursor, Weibel (1991), de inteligência ampliada. Nesse caso, o analista controla e decide os procedimentos a serem empregados. Uma desvantagem do processo está relacionada à falta de contextualização espacial e à necessidade de experiência no processo de generalização cartográfica por parte do analista. Métodos baseados em regras também foram propostos para automatizar a generalização cartográfica. Conforme Jones e Ware (2005), esses procedimentos são denominados de sistemas de modelagem baseados em restrições. Para sua implementação, um mapa recém-elaborado deve atender a condições pré-determinadas, como, por exemplo, o estabelecimento de dimensões de objetos relacionados a um LoD específico. Em sistemas comerciais, a maioria dos processos de generalização são classificados como semiautomáticos, sendo aplicados operadores de generalização de forma individualizada, como a agregação ou a simplificação de formas geométricas. Apesar dos desenvolvimentos, o principal desafio é a ausência de abordagens abrangentes que considerem todo o *Corpus* geoespacial de um BDG primário e a influência desse relacionamento ao geoespacial.

No contexto geral, os algoritmos de generalização cartográfica são eficientes para a maioria das tarefas relacionadas à construção de representações tradicionais, porém, para o contexto digital, ainda se necessita de avanços significativos para tarefas específicas. Entretanto, a interdependência das operações e as necessidades de implementação de meios de controle de qualidade automáticas inserem limitações. Segundo Jones e Ware (2005), trabalhos científicos das últimas décadas buscaram solucionar a problemática, no entanto, os resultados apresentaram limitações. Parte dessas limitações estão associadas com as inadequações das implementações dos operadores de generalização associadas à dificuldade do estabelecimento de um conjunto de regras apropriadas para um conjunto de situações com características específicas. Atualmente, alguns esforços estão concentrados nesse aspecto, sendo implementadas técnicas de AI, uma das novas tecnologias promissoras de desenvolvimento na temática.

Sester (2020) relaciona essas problemáticas e as insere em contexto tecnológico recente. A autora lista 3 tópicos de interesse global. O primeiro diz respeito ao potencial de métodos de AI e Redes Neurais Artificiais (RNA) aplicados para resolver problemas de generalização. A ideia central é usar conjuntos de dados existentes e treinar um modelo supervisionado para generalizar automaticamente uma base cartográfica. As RNAs são aplicadas nessa tarefa devido ao avanço de sistemas computacionais associado à disponibilidade crescente de dados de entrada que possam ser empregados como exemplos para o treino dos algoritmos supervisionados (SESTER; FENG; THIEMANN, 2018; FENG; THIEMANN; SESTER, 2019; COURTIAL et al., 2020; LIU et al., 2021). A tarefa é encontrar uma solução criativa para um problema complexo. O objetivo imediato é revelar regras subjacentes para uma ferramenta versátil que produz uma versão em escala de um determinado conjunto de dados de entrada, principalmente para dados em formato vetorial, uma vez que os métodos de AI são aplicados com frequência em dados matriciais. Os processos de generalização cartográfica com base na AI são conhecidos como métodos baseados no conhecimento. Geralmente são implementados seguindo regras relacionadas ao conhecimento geométrico (tamanho, forma, distância, etc.), estrutural (relacionamentos entre feições) e/ou processual (operações de sequenciamento de operadores de generalização).

O segundo tópico listado por Sester (2020) é a aquisição de dados de forma incremental e a criação de representações, a partir de métodos de aquisição de dados espaciais, de forma distribuída (conjunto de sensores com resoluções espaciais e perspectivas de aquisição diferentes, mapeamento colaborativo, etc.). O processo de generalização cartográfica nesse aspecto é aplicado na compilação de dados de diferentes fontes para a construção de um produto em um LoD pré-definido a ser acessado por dispositivos eletrônicos, como estações *Desktop* ou dispositivos móveis (que apresentam requisitos e desafios específicos). Por exemplo, para representar tridimensionalmente uma edificação, necessita-se de dados em diferentes perspectivas, a nível terrestre (interno e externo) e a nível aéreo, utilizando câmeras ou sensores LiDAR. O desafio é integrar os diferentes blocos de informação, levando as peculiaridades dos dados de base em consideração. Nesse caso, a generalização é necessária para garantir que a representação resultante estará em um estado consistente, mesmo que o objeto completo não seja capturado. Uma abordagem computacional hierárquica permite armazenar um

modelo preliminar grosseiro e incrementalmente pode ser refinado, uma vez que mais dados estejam disponíveis (BILJECKI et al., 2015) e levando em consideração os princípios da generalização. Os fatores supracitados estão relacionados a aspectos recentes e inovadores, como por exemplo a utilização da *Internet of Things* (IoT) (RAY, 2018) e a construção de representações que compõem sistemas de *Smart Cities* (AMORIM, 2016) e *Digital Twins* (BILJECKI et al. 2015; DÖLLNER, 2020; XUE et al., 2020).

Por fim, menciona-se a generalização cartográfica 3D como o terceiro ponto que necessita de desenvolvimento científico e que permanece um desafio. Enquanto no processo usual se aprimora a legibilidade do produto, aqui, é requerido a redução da demanda de armazenamento, a simplificação do processamento dos dados e a possibilitação de uma análise de um nível grosseiro para um refinado (BILJECKI et al., 2016; TANG et al., 2020). O principal problema é que esse processo exige tarefas de generalização, entretanto, os operadores não estão completamente definidos e dependerão da finalidade do aplicativo. Alguns esforços vêm sendo realizados, principalmente na generalização de edificações (FORBERG, 2007; BILJECKI et al., 2016; TANG et al., 2020), na construção de Modelos Digitais de Terreno (MDTs) e nos estudos da paisagem (FILIN et al., 2007; JENNY, 2021).

Nesse âmbito, abrem-se ao menos 3 lacunas científicas (Figura 5): 1) Implementação de algoritmos de AI para generalização de estruturas não regulares em formato vetorial; 2) Aplicação de processos de generalização cartográfica em dados geoespaciais adquiridos de forma incremental, respeitando a qualidade da geoinformação e 3) Definição e implementação de regras de generalização cartográfica 3D.

Figura 5 – Principais lacunas científicas em Generalização Cartográfica.



Elaboração: Os autores (2022).

Estes três tópicos estão relacionados com o surgimento das novas tecnologias de aquisição de dados e de processos de representação e a utilização de um *corpus* geoespacial que necessita de minimização do conjunto de geodados e de procedimentos computacionais formais para a significação espacial de forma adequada. Associado a estes tópicos, pode-se citar também a necessidade do desenvolvimento de métodos que permitam a análise e o conhecimento estrutural do conjunto de dados geoespaciais. Para isso é necessário o desenvolvimento de ferramentas que sejam capazes de expressar e interpretar a complexidade da distribuição e relações espaciais entre os elementos que compõem uma base cartográfica, para que os operadores de generalização sejam adequadamente aplicados.

5 CONCLUSÕES

A generalização cartográfica é um aspecto importante na produção de representações e na derivação de BDG na era digital, e os critérios mais importantes a serem considerados para a sua aplicação estão relacionados com a proposta e a escala (ou LoD para o contexto digital) do produto em questão. Dedutivamente, pode-se concluir que os principais objetivos da generalização cartográfica são: modificação semântica e geométrica do *Corpus* Geoespacial, minimização de custo de armazenamento e gerenciamento da informação. Os aspectos de generalização cartográfica e as estratégias existentes funcionam de uma forma satisfatória para contextos específicos. Todavia, na era digital, existem lacunas importantes a serem investigadas, e a generalização cartográfica automatizada continua sendo um dos maiores desafios na manutenção, na apresentação e na recuperação de um *corpus* geoespacial com um LoD que atenda aos requisitos dos usuários e dos serviços de acesso público.

Generalizar automaticamente um conjunto de dados geoespaciais digitais depende de soluções de problemas relacionados à materialização computacional dos operadores de generalização que necessitam de uma ligação imediata com a compreensão e a percepção humana. Necessita-se do desenvolvimento de novas técnicas que facilitem o acesso em redes de dados que crescem exponencialmente em sistemas Desktops e/ou dispositivos móveis, considerando aspectos específicos do corpus geoespacial analisado (como por exemplo o 2D e o 3D). A generalização cartográfica, portanto, é um tema desafiador e necessita de avanços tecnológicos para projetar e oferecer aos usuários representações, produtos e dados cartográficos de maneira eficiente. Para isso, é necessário adequar as bases de dados por processos específicos de classificação, filtragem, agregação e integração de informações geoespaciais, para apresentá-las de maneira ideal em diferentes níveis de representação.

Contribuição dos Autores

O primeiro autor realizou a conceptualização, curadoria dos dados, análise formal, investigação, metodologia e redação do texto. O segundo autor contribui na supervisão do projeto.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- AMORIM, A. L. DE. Cidades Inteligentes e City Information Modeling. Blucher **Design Proceedings. In: XX Congresso De La Sociedad Iberoamericana De Gráfica Digital**, 2016, p. 481-488. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/cidades-inteligentes-e-city-information-modeling-24838>>. Acesso em: 6 maio 2021.
- ANDRADE S., D.; SANTOS, D. R. dos. Um Estudo de Caso sobre o Emprego da Técnica de Voxelização como Método para Generalização 3D de Arborização Urbana em Dados LiDAR Aerotransportado. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 50–66, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-61577
- BANASIK, P.; CHROBAK, T.; BIEGUN, B. Algorithm of automatic digital cartographic generalisation with the use of contractive self-mapping. **Polish Cartographical Review**, v. 54, n. 1, 2022. DOI. 10.2478/pcr-2022-0001
- BARTONĚK, D.; ANDĚLOVÁ, P. Method for Cartographic Symbols Creation in Connection with Map Series Digitization. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 11, n. 2, p. 105, 2022. DOI. 10.3390/ijgi11020105
- BILJECKI, F.; LEDOUX, H.; STOTER, J.; VOSSELMAN, G. The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 116, p. 42–54, 2016. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2016.03.003
- BILJECKI, F.; STOTER, J.; LEDOUX, H.; ZLATANOVA, S.; ÇÖLTEKIN, A. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, n. 4, p. 2842–2889, 2015. DOI. 10.3390/ijgi4042842
- BRASSEL, K. E.; WEIBEL, R. A review and conceptual framework of automated map generalization. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 2, n. 3, 229–244, 1988. :10.1080/02693798808927898
- BRODEUR, J.; BÉDARD, Y.; EDWARDS, G.; MOULIN, B. Revisiting the Concept of Geospatial Data Interoperability Within the Scope of the Human Communication Processes. **Transactions in GIS**, v. 7, n. 2 p. 243–265, 2003. DOI. 10.1111/1467-9671.00143
- CEBRYKOW, P. Cartographic generalization yesterday and today. **Polish Cartographical Review**, v. 49, n.

- 1, p. 1-11, 2017. DOI. 10.1515/pcr-2017-0001
- CHENG, L.; GUO, Q.; LIFAN, F.; WEI, Z. An improved integrated generalization method for contours and Rivers using importance sequence of all points from these two elements. **Geocarto International**, v. 0, n. 0, p. 1–16, 2021. DOI. 10.1080/10106049.2021.2017012
- COMÉ, S.; SLUTER, C. R. Uma proposição para detecção das condições geométricas em cartas topográficas de regiões urbanas na escala 1:10.000 derivadas de 1:2.000. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 67, n. 6, p. 1091 - 1102, 2015.
- COURTIAL, A.; EL AYEDI, A.; TOUYA, G.; ZHANG, X. Exploring the Potential of Deep Learning Segmentation for Mountain Roads Generalisation. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 5, p. 338, 2020. DOI. 10.3390/ijgi9050338
- COURTIAL, A; TOUYA, G; ZHANG, X. Generative adversarial networks to generalise urban areas in topographic maps. **XXIV ISPRS Congress (2021 edition)**, 2021, p. 15-22. DOI. 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-15-2021.
- DÖLLNER, J. Geospatial Artificial Intelligence: Potentials of Machine Learning for 3D Point Clouds and Geospatial Digital Twins. **Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science**, v. 88, n. 1, p. 15–24, 2020. DOI. 10.3390/ijgi9050338
- DOUGLAS, D. H; PEUCKER, T. K. Algorithms for the ReGeneralization Constraintsduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature. **The Canadian Cartographer**, v. 10, n. 2, p. 112–123, 1973.
- DU, J.; WU, F.; YIN, J.; LIU, C.; GONG, X. Polyline simplification based on the artificial neural network with constraints of generalization knowledge. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 0, n. 0, p. 1–25, 2022. DOI. 10.1080/15230406.2021.2013944
- DUO, T.; ZHANG, P. Automatic Generalization of Residential Areas Based on “Paradigm” Theory and Big Data. **Computer Methods in medicine and Health Care**, p. 71–76, 2021. DOI. 10.3233/ATDE210244
- DYER, N.; KASTRISIOS, C.; DE FLORIANI, L. Label-based generalization of bathymetry data for hydrographic sounding selection. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 0, n. 0, p. 1–16, 2022. DOI. 10.1080/15230406.2021.2014974
- ELSEBERG, J.; BORRMANN, D.; NÜCHTER, A. One billion points in the cloud – an octree for efficient processing of 3D laser scans. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, n 76, v. 1, p. 76–88, 2013. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2012.10.004
- ENSSLIN, L et al. **ProKnow-C: Processo de análise sistêmica**. Brasil: Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI, 2010.
- FENG, Y.; THIEMANN, F.; SESTER, M. Learning Cartographic Building Generalization with Deep Convolutional Neural Networks. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 6, p. 258, 2019. DOI. 10.3390/ijgi8060258
- FILIN, S.; AKEL, N. A.; KREMEIKE, K.; SESTER, M.; DOYTSHER, Y. Interpretation and Generalization of 3D Landscapes from LiDAR Data. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 34, n. 3, p. 231–243, 2007. DOI. 10.1559/152304007781697857
- FIRKOWSKI, H. **Generalização cartográfica de grades retangulares regulares baseada na Teoria Matemática da Comunicação**. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002
- FORBERG, A. Generalization of 3D building data based on a scale-space approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Including Special Section**, v. 62, n. 2, p. 104–111, 2007. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2007.01.002
- GAFFURI, J. Improving Web Mapping with Generalization. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 83-91, 2011. DOI. 10.3138/carto.46.2.83.
- GENCARELLI, C. N.; VOLTOLINA, D.; HAMMOUTI, M.; ZAZZERI, M.; STERLACCHINI, S. Geospatial

- Information Technologies for Mobile Collaborative Geological Mapping: The Italian CARG Project Case Study. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 11, n. 3, p. 192, 2022. DOI. 10.3390/ijgi11030192
- GRAÇA, S., A. J.; FIORI, S. R. Proposal for a tourist web map of the south area of rio: cartographic communication and the act of representing the landscape in different scales and levels of abstraction. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 67, n. 5, p. 1079-1990, 2015.
- GRÖBE, M., BURGHARDT, D. Scale-Dependent Point Selection Methods for Web Maps. **J. Cartogr. Geogr.** v.1, n. 71, p. 143–154, 2021. DOI. 10.1007/s42489-021-00079-y
- GRUPPI, M. G; et al. Using rational numbers and parallel computing to efficiently avoid round-off error in map simplification. **Revista Brasileira de Cartografia – Special Issue GEOINFO**, [S.I.], v. 68, n 6, P. 1221-1230, 2016.
- HINDLE, A.; BARR, E. T.; GABEL, M.; SU, Z.; DEVANBU, P. On the naturalness of software. **Communications Of The Acm**, [S.L.], v. 59, n. 5, p. 122-131, 2016. DOI. 10.1145/2902362.
- HUANG, L.; SHENLONG, W; WONG, K.; LIU, J.; URTASUN, R. OctSqueeze: Octree-Structured Entropy Model for LiDAR Compression. **Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 2020, p. 1313–1323. DOI. 10.48550/arXiv.2005.07178
- HUBO, E.; MERTENS, T.; HABER, T. e BEKAERT, P. The Quantized kd-Tree: Efficient Ray Tracing of Compressed Point Clouds. In: **IEEE Symposium on Interactive Ray Tracing**, p. 105-113, 2006. DOI. 10.1109/RT.2006.280221.
- INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION (ICA). **Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography**. Wiedbaden, Franz Steiner Verlag, 1973.
- JENNY, B. Terrain generalization with line integral convolution. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 48, n. 1, p. 78–92, 2021. DOI. 10.1080/15230406.2020.1833762
- JONES, C. B.; MARK WARE, J. Map generalization in the Web age. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 8, p. 859–870, 2005. DOI. 10.1080/13658810500161104
- KULIK, L.; DUCKHAM, M.; EGENHOFER, M. Ontology-driven map generalization. **Journal Of Visual Languages & Computing**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 245-267, 2005. DOI. 10.1016/j.jvlc.2005.02.001.
- LI, Z.; OPENSHAW, S. A Natural Principle for the Objective Generalization of Digital Maps. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 20, n. 1, p. 19–29, 1993. DOI. 10.1559/152304093782616779
- LI, Q.; SUN, X.; YANG, B.; JIANG, S. Geometric structure simplification of 3D building models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 84, p. 100–113, 2013. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2013.07.006
- LI, M.; ZHANG, A.; ZHANG, D.; DI, M.; LIU, Q. Automatic Sounding Generalization Maintaining the Characteristics of Submarine Topography. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 14, p. 10278–10286, 2021. DOI. 10.1109/JSTARS.2021.3116997
- LIU, C.; HU, Y.; LI, Z.; et al. TriangleConv: A Deep Point Convolutional Network for Recognizing Building Shapes in Map Space. **International Journal of Geo-Information**, v. 10, 2021. DOI. 10.3390/ijgi10100687
- MAROTTA, G.; LENCI, L.; MEINI, L.; ROVAI, F. **Space in Language**. Proceedings of the Pisa International Conference, 2011, P. 648. Disponível em: <http://www.edizioniets.com/scheda.asp?n=9788846729026>. Acesso em: 14/4/2022
- MARTÍN, M. T.; RODRÍGUEZ, J.; IRIGOYEN, J.; MARTÍNEZ-LLARIO, J. C.; ARIAS, P. Semi-automatic Process for Hybrid DTM Generalization based on Structural Elements Multi-analysis. **The Cartographic Journal**, v. 46, n. 2, p. 146–154, 2009. DOI. 10.1179/000870409X459905
- MCMASTE, R. B.; SHEA, K. S. **Generalization in Digital Cartography**. 1º ed. Association American Geography, Washington, 1992.
- MEMDUHOGLU, A.; BASARANER, M. An approach for multi-scale urban building data integration and

- enrichment through geometric matching and semantic web. **Cartography And Geographic Information Science**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 1-17, 2021. DOI. 10.1080/15230406.2021.1952108.
- MOREHOUSE, S. **GIS-based map compilation and generalization**. GIS and generalization: Methodology and practice, p.278, 1995.
- MORISON, J. L. A theoretical Framework for Cartographic Generalization with Emphasis on the Process of Symbolization. **International Yearbook of Cartography**, p. 115-127, 1974.
- MIÜLLER, J. C.; WEIBEL, R.; LAGRANGE, J. P.; SALGÉ, F. **Generalization: state of art and issues**. In: MIÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. GIS and generalization: methodology and practice. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995.
- NICKERSON, B. G; FREEMAN H. R. Development of a rule-based System for Automatic Map Generalization. **Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data**, 1986, p. 537-556.
- PILEHFOROOSHHA, P.; KARIMI, M.; MANSOURIAN, A. A new model combining building block displacement and building block area reduction for resolving spatial conflicts. **Transactions in GIS**, v. 25, n. 1, 2021. DOI. 10.1111/tgis.12731
- RATAJSKI, L. Phenomene des points de generalization. In: K. Kirschbaum and K. H. Meine (editors), **International Yearbook of Cartography**, v. 7, p. 143–152, 1967.
- RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 3, p. 291–319, 2018. DOI. 10.1016/j.jksuci.2016.10.003
- ROBINSON, A.H.; MORRISON, J.L.; MUEHRCKE, P.C.; KIMERLING, A.J.; GUPTILL, S.C. **Elements of Cartography**. 6^a ed. New York: John Wiley & Sons, New York, 1995
- ROCCA, L.; JENNY, B.; PUPPO, E. A continuous scale-space method for the automated placement of spot heights on maps. **Computers and Geosciences**, v. 109, p. 216–227, 2017. DOI. 10.1016/j.cageo.2017.09.003
- SÁNCHEZ, A. **Corpus lingüístico del español contemporáneo: fundamentos, metodología y aplicaciones**. Sociedad General Española de Librería, 1995.
- SCHIEWE, J. The need for disciplinarity, interdisciplinarity and scientific societies - the cartographic perspective. **Geo-spatial Information Science**, v. 24, n. 1, p. 160–166, 2021. DOI. 10.1080/10095020.2020.1863748
- SESTER, M.; FENG, Y.; THIEMANN, F. Building generalization using deep learning. **ISPRS-Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-4, p. 565–572, 2018.
- SESTER, M. Cartographic generalization. **Journal of Spatial Information Science**, v. 1, n. 21, p. 5–11, 2020.
- SHEN, Y.; LI, J.; WANG, Z.; ZHAO, R.; WANG, L. A raster-based typification method for multiscale visualization of building features considering distribution patterns. **International Journal of Digital Earth**, v. 15, n. 1, p. 249–275, 2022. DOI. 10.1080/17538947.2021.2023668
- SKOPELITI, A.; TSOULOS, L.; PE'ERI, S. Depth Contours and Coastline Generalization for Harbour and Approach Nautical Charts. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 4, p. 197, 2021. DOI. 10.3390/ijgi10040197
- STEWART, H. J. Cartographic Generalisation Some Concepts and Explanation. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 11, n. 1, p. 1–50, 1974.
- STOTER, J.; POST, M.; VAN ALTENA, V.; NIJHUIS, R.; BRUNS, B. Fully automated generalization of a 1:50k map from 1:10k data. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 41, n. 1, p. 1–13, 2014. DOI. 10.1080/15230406.2013.824637
- SUN, Y.; GUO, Q.; LIU, Y.; MA, X.; WENG, J. An Immune Genetic Algorithm to Buildings Displacement in Cartographic Generalization. **Transactions in GIS**, v. 20, n. 4, p. 585–612, 2016. DOI. 10.1111/tgis.12165
- SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY (SSC). **Maps Graphics and Generalisation**. Cartographic Publication Series no 17, 2002.

- TAURA, T. A.; SLUTER, C. R.; FIRKOWSKI, H. Generalização cartográfica das cartas do mapeamento urbano nas escalas 1: 2.000, 1. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 386-402, set. 2010. DOI. 10.1590/s1982-21702010000300002.
- TANG, L.; YING, S.; LI, L.; BILJECKI, F.; ZHU, Y.; YANG, F.; SU, F. An application-driven LOD modeling paradigm for 3D building models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 161, p. 194–207, 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.01.019
- TÖPFER, F.; PILLEWIZER, W. The Principles of Selection. **The Cartographic Journal**, v. 3, n. 1, p. 10–16, 1966. DOI. 10.1179/caj.1966.3.1.10
- TOUYA, G.; LOKHAT, I. ReBankment: displacing embankment lines from roads and rivers with a least squares adjustment. **International Journal of Cartography**, v. 8, n. 1, p. 37–53, 2021. DOI. 10.1080/23729333.2021.1972787
- WEIBEL, R. Amplified Intelligence and Rule-based Systems. *Map Generalization*, p. 172-186, London, 1991.
- WU, F.; WANG, J. Advances. **Cartography and Geographic Information Engineering**. p.151–211, Singapore 2021.
- XUE, F.; LU, W.; CHEN, Z.; WEBSTER, C. From LiDAR point cloud towards digital twin city: Clustering city objects based on Gestalt principles. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 167, p. 418–431, 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.07.020
- YANG, M.; YUAN, T.; YAN, X.; AI, T.; JIANG, C. A hybrid approach to building simplification with an evaluator from a backpropagation neural network. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 36, n. 2, p. 280–309, 2022. DOI. 10.1080/13658816.2021.1873998
- YU, W.; ZHANG, Y.; AI, T.; GUAN, Q.; CHEN, Z.; LI, H. Road network generalization considering traffic flow patterns. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 34, n. 1, p. 119–149, 2020. DOI. 10.1080/13658816.2019.1650936
- ZHANG, J.; WANG, J.; LI, H. Topology Conflict Detection Considering Incremental Updating of Multi-Scale Road Networks. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 10, p. 655, 2021. DOI. 10.3390/ijgi10100655
- ZHENG, J.; GAO, Z.; MA, J.; SHEN, J.; ZHANG, K. Deep Graph Convolutional Networks for Accurate Automatic Road Network Selection. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, p. 768, 2021. DOI. 10.3390/ijgi10110768

Biografia do autor principal



Fabiano Peixoto Freiman, Nova Friburgo – RJ, 1992. Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), mestre em Ciências Geodésicas pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atualmente atua como professor (Dedicação Exclusiva -DE) na Universidade Federal da Bahia (UFBA), Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia. Tem experiência no processamento digital de dados fotogramétricos, análise espacial e Cartografia. Atualmente tem interesse no contexto de representações 3D, sistema BIM e SIG3D.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.