

A ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO E A AGENDA 2030: A INTEROPERABILIDADE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Resumo: Este artigo procura compreender a relação entre a interoperabilidade tecnológica e semântica (metainformação) dos sistemas de informação com a sustentabilidade, proposta global da Agenda 2030 das Nações Unidas para o desenvolvimento das nossas sociedades. Através de uma revisão sistemática da literatura e de uma análise dos resultados, pretende-se perceber o contributo da organização da informação e da interoperabilidade para o incremento do desenvolvimento sustentável. Foram colocadas duas questões de investigação: Qual o papel dos sistemas interoperáveis no desenvolvimento ambiental, social e económico? De que forma a organização da informação e a interoperabilidade podem contribuir para o desenvolvimento sustentável? Os resultados mostram que a interoperabilidade é considerada como fundamental para o desenvolvimento sustentável, sobretudo na construção de sistemas de informação integrados e normalizados. O papel dos sistemas interoperáveis no desenvolvimento ambiental, social e económico é relevante, pois a organização da informação e a interoperabilidade contribuem, de forma indireta, mas decisiva, para o desenvolvimento sustentável. Viabilizam a permuta de informação, incentivam a construção de comunidades globais de prática e ultrapassam as limitações e os défices locais. Conclui-se que a organização da informação desempenha um papel crucial e transversal nos projetos, que visam implementar os objetivos do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Organização da Informação; Agenda 2030 da ONU; interoperabilidade; desenvolvimento sustentável; metadados.

Jorge Manuel Rias Revez
Doutor em Ciências de Informação pela
Universidade de Coimbra. Professor
Assistant da Faculdade de Letras, Centro
de Estudos Clássicos,
Universidade de Lisboa
jrevez@campus.ul.pt.

Carlos Guardado da Silva
Doutor em História Medieval pela
Faculdade de Letras da Universidade de
Lisboa. Investigador do Centro de
Estudos Clássicos e Professor da
Faculdade de Letras da
Universidade de Lisboa
carlosguardado@campus.ul.pt.

THE ORGANIZATION OF INFORMATION AND THE 2030 AGENDA: INTEROPERABILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract: This article seeks to understand the relationship between the technological and semantic interoperability (metadata) of information systems with sustainability, a global proposal of the United Nations 2030 Agenda for the development of our societies. Through a systematic literature review and an analysis of the results, it intends to understand the contribution of organization of information and interoperability to the enhancement of sustainable development. Two research questions were addressed: What is the role of interoperable systems in environmental, social, and economic development? How can organization of information and interoperability contribute to sustainable development? The results show that interoperability is seen as fundamental to sustainable development, especially when building integrated and standardized information systems. The role of interoperable systems in environmental, social, and economic development is relevant, as organization of information and interoperability contribute, indirectly but decisively, to sustainable development. They enable the exchange of information, encourage the construction of global communities of practice and overcome local limitations and deficits. It is concluded that the organization of information plays a cross-cutting role in projects, which aim to implement the sustainable development goals.

Keywords: Organization of Information; UN 2030 Agenda; Interoperability; Sustainable Development; Metadata.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo procura avaliar a relação entre a interoperabilidade e a sustentabilidade. Com o foco no Desenvolvimento Sustentável, pretende-se avaliar a literatura existente sobre o contributo da interoperabilidade, enquanto fator de sustentabilidade. O Desenvolvimento Sustentável, que se desenvolve a partir de uma perspetiva eminentemente ambiental, e que emerge na década de 60 do século XX (Scott & Rajabifard, 2017), é um conceito cunhado em 1987, através da Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento. Neste ano, na *Declaração Bruntland*, a Organização das Nações Unidas (ONU) definia o Desenvolvimento Sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer as suas” (Apud Silva, 2003, p. 106), visando a qualidade de vida e respeitando os limites da capacidade dos ecossistemas. Com a evolução social e política, o conceito amplia-se e consolida-se, alcançando uma definição próxima do seu conteúdo semântico atual em 1994, quando, o *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI) define Desenvolvimento Sustentável como o desenvolvimento que proporciona serviços económicos, sociais e ambientais básicos a todos os membros de uma comunidade, sem comprometer a viabilidade dos sistemas sociais, naturais e manufacturados de que aqueles dependem. O conceito afirmou-se, sobretudo, a partir do início do século XXI com a 2.^a Cimeira da Terra, entre 24 de agosto e 4 de setembro de 2001, em Joanesburgo (África do Sul), sob o título *Cimeira Mundial para o Desenvolvimento Sustentável*, integrando os pilares económico, social e ambiental, bem como com as *Prepcom*, conferências preparatórias da Cimeira de Joanesburgo (Silva, 2003). Em 2015, um conjunto alargado de metas foi consolidado nos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que formam a Agenda 2030 da ONU. Esta engloba problemas universais, como a fome ou a pobreza, e almeja desenvolver aspetos essenciais, como a saúde, a educação, a igualdade de género, o acesso a água potável e saneamento, as energias renováveis, o trabalho digno, a inovação, a redução das desigualdades, as cidades sustentáveis, a produção e o consumo sustentáveis. Procura, ainda, combater as alterações climáticas, proteger os oceanos e os ecossistemas terrestres, bem como alcançar a paz e a justiça, num esforço global de parcerias para o desenvolvimento (United Nations, 2015).

A Organização da Informação (OI) é uma das áreas mais trabalhadas e consolidadas no seio da Ciência da Informação. Dedicase aos processos de organização, ou seja, lógica, arrumação, ordem, entre outros, sempre com o foco de permitir e viabilizar a recuperação da

informação. A acumulação de recursos de informação exige o desenvolvimento de atividades e de ferramentas de organização, que garantam o acesso contínuo e correspondam às necessidades de informação das diferentes comunidades. Reunir a informação que é semelhante e separá-la da que é distinta são as operações básicas da OI. A representação dessa organização é materializada em diferentes formas de metainformação, cumprindo a função de descrever e de substituir o recurso primário (Svenonius, 2000; Joudrey & Taylor, 2018; Rowley & Farrow, 2018).

Apesar dos debates terminológicos e epistemológicos (Hjørland, 2012), diferentes autores distinguem entre OI e Organização do Conhecimento (Brascher & Café, 2008). A primeira formulação diz respeito à organização e representação de objetos informacionais, enquanto a segunda se aplica às unidades de pensamento, aos conceitos, dando origem a sistemas de organização do conhecimento, isto é, estruturas conceituais de representação do conhecimento, que acabam por ser essenciais para a própria representação da informação. A literatura tem mostrado uma utilização alargada do termo OI (Rodríguez Bravo, 2011; Frické, 2012; Park & Howarth, 2013; Chatterjee, 2017), bem como a presença desta designação em formação pós-graduada. Como se verá adiante, a realidade acaba por convocar ambas as perspectivas, em estreita articulação, pois a OI é indissociável para a Organização do Conhecimento, e vice-versa.

Entre as várias subáreas que dão corpo à OI, a criação e a gestão da metainformação ou dos metadados são dos campos mais relevantes. Metadados é um termo normalmente usado como sinónimo de metainformação. Estes ‘dados sobre dados’ ou ‘informação sobre informação’ podem ter origens, naturezas e estruturas diversas, podem ser criados ou gerados automaticamente, podem ser descritivos, administrativos, técnicos, de preservação ou de uso (Baca, 2008; Riley, 2017).

Um aspeto fundamental dos metadados é a sua capacidade de serem interoperáveis. Interoperabilidade significa a capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes trocarem e utilizarem a informação (ISO 25964, 2013). A interoperabilidade apresenta diferentes camadas: semântica (contexto dos dados); estrutural (arquitetura dos dados), sintática (linguagens e formatos); e sistémica (redes, aplicações, etc.) (Zeng, 2019). Tendo em conta que o desenvolvimento sustentável só será alcançável mediante o esforço e o contributo de toda a humanidade, e que isso implicará necessariamente a convergência de múltiplos sistemas de gestão e de troca de informação, a pergunta que está na origem da presente investigação é: será

a interoperabilidade, pela sua natureza, um fator de sustentabilidade? Poderá a interoperabilidade contribuir decisivamente para o desenvolvimento sustentável?

Outro caminho, alternativo ou complementar à interoperabilidade, seria a fusão ou a convergência entre sistemas tecnológicos de informação, mas tal como foi observado no caso das bibliotecas, arquivos e museus, essas soluções não apresentam qualquer vantagem imediata, pois o que interessa é a missão global, e não apenas as ferramentas utilizadas. O essencial é tornar a informação um elemento de conexão entre todos os seres humanos: “We should not be constrained by the existing institutions and practices but must focus on how to provide systems and services that serve the users. This is not primarily a technical issue but is intimately connected to an understanding of the value and relevance of what is mediated” (Rasmussen & Hjørland, 2021).

Na literatura, existe uma quantidade assinalável de trabalhos recentes que apontam para a relação entre a interoperabilidade e o Desenvolvimento Sustentável. Temáticas como as cidades inteligentes (Jeong et al., 2020), a eficiência energética (Martínez et al., 2021), o património cultural (Turillazzi et al., 2021), a biodiversidade (Buttigieg et al., 2019; Magagna et al., 2021), a agricultura (Adam-blondon et al., 2016; Eissa Alreshidi, 2019), entre outras, mostram a diversidade da investigação na procura da construção de sistemas de informação, que rompam a lógica isolada de silos de informação (Pennington & Cagnazzo, 2019), em busca de uma efetiva partilha e reutilização de dados abertos e de investigação (Charalabidis et al., 2018), com respeito pelos princípios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) (Grandcolas, 2019). Estes princípios foram propostos em 2016 e, desde então, recomendados por diversas organizações (Wilkinson et al., 2016).

Para esta investigação estabeleceram-se duas questões:

- Q1: Qual o papel dos sistemas interoperáveis no desenvolvimento ambiental, social e económico?
- Q2: De que forma a organização da informação e a interoperabilidade podem contribuir para o desenvolvimento sustentável?

Na secção seguinte, serão apresentados os detalhes metodológicos da revisão sistemática da literatura. Na secção de Resultados, será realizada uma análise da amostra

selecionada. A Discussão confronta os resultados com a literatura anterior, e a Conclusão responde às duas questões de investigação.

2 METODOLOGIA

Para responder às duas questões de investigação, foi realizada uma pesquisa sistemática na base de dados *SCOPUS*, escolhida pela sua relevância e abrangência. A pesquisa foi replicada nas bases de dados especializadas em Ciência da Informação *LISA* (ProQuest) e *LISTA* (EBSCO), para obter literatura especializada e cobrir algumas fontes que não estejam disponíveis em bases generalistas. De acordo com a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021), uma revisão sistemática “uses explicit, systematic methods to collate and synthesise findings of studies that address a clearly formulated question” (2021, p. 3).

Dada a ambiguidade semântica das expressões ‘interoperabilidade’ e ‘sustentabilidade’, optou-se pela criação de uma expressão de pesquisa o mais precisa possível, tendo em conta as questões de investigação, articulando os conceitos de metadados, interoperabilidade e Desenvolvimento Sustentável. Limitou-se a pesquisa a estudos posteriores a 2010, de forma a diminuir o universo de registos recuperados e a recuperar os trabalhos mais recentes. Não foram introduzidos outros elementos delimitadores da pesquisa, como a linguagem ou o tipo de documento. Contudo, a pesquisa foi apenas executada com termos na língua inglesa. O percurso de recuperação e as suas diferentes opções estão resumidos na Tabela 1. As pesquisas foram realizadas no dia 24 de setembro de 2021.

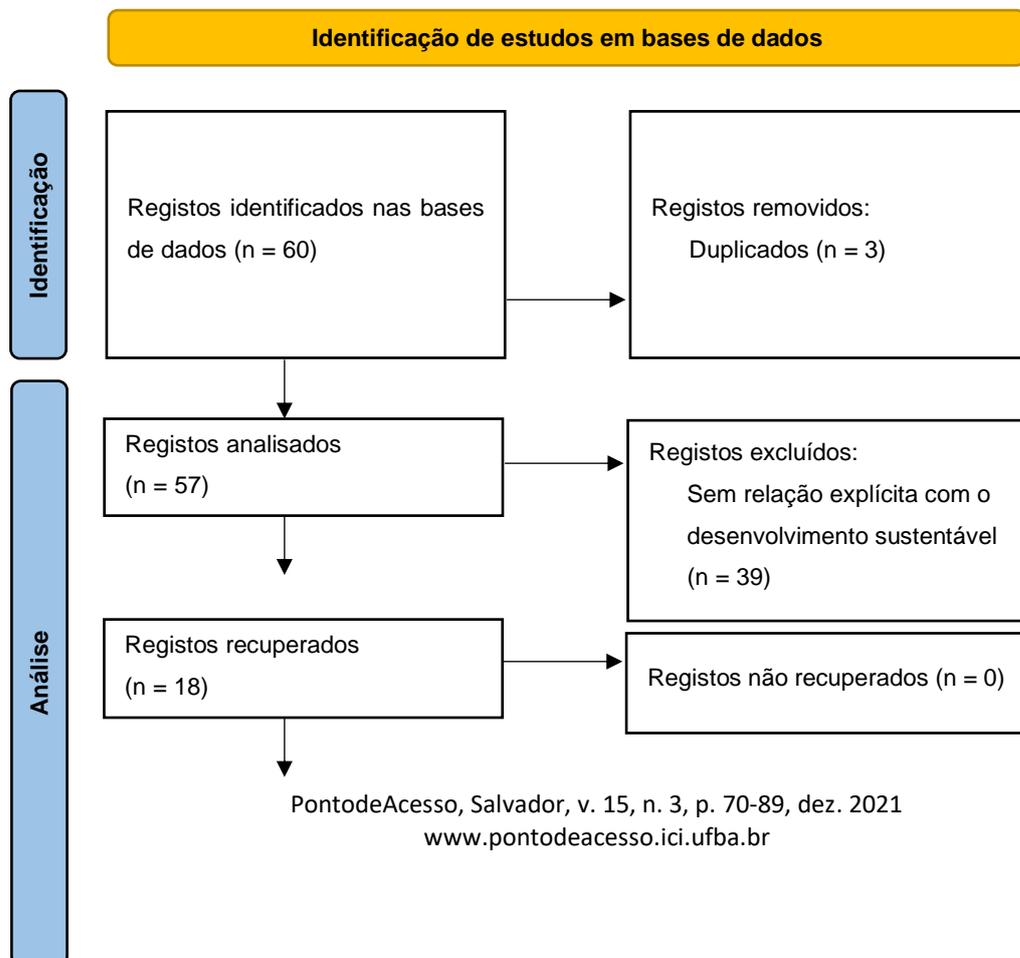
A escolha de bases especializadas em Ciência da Informação não restringe o âmbito desta análise aos construtos históricos ou aos serviços de informação, como as bibliotecas e os arquivos, pois assume-se a dimensão transversal da OI em todas as atividades humanas. Nos resultados, apresenta-se uma relação da literatura analisada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, que mostram a transversalidade da interoperabilidade.

Tabela 1: Fontes, expressões de pesquisa e resultados (24-set-2021)

Fonte	Expressão de pesquisa	Número de resultados
SCOPUS	Pesquisa nos títulos, resumos e palavras-chave (2010-) por: metadata AND “sustainable development” AND interop*	25
LISA	Pesquisa em todos os campos (2010-) por: metadata AND “sustainable development” AND interop*	35
LISTA	Pesquisa em todos os campos (2010-) por: metadata AND “sustainable development” AND interop*	0
Total		60

Os resultados foram reunidos numa folha do *MS Excel*, de forma a poderem ser trabalhados. Aplicaram-se diversos critérios de exclusão, identificados na Figura 1, que reproduz o modelo PRISMA (Page et al., 2021). O principal critério de exclusão aplicado relaciona-se com o não reconhecimento de uma relação entre o estudo e as várias dimensões do Desenvolvimento Sustentável, tal como propostas pela Agenda 2030. O processo de análise ocorreu, em primeiro lugar, mediante a leitura dos resumos; os registos elegíveis (n=18) foram depois sujeitos à leitura do texto integral dos documentos recuperados, não tendo havido qualquer documento excluído nessa fase. A lista final pode ser consultada na Tabela 2.

Figura 1: Esquema de resultados da recuperação de informação, de acordo com o Modelo PRISMA



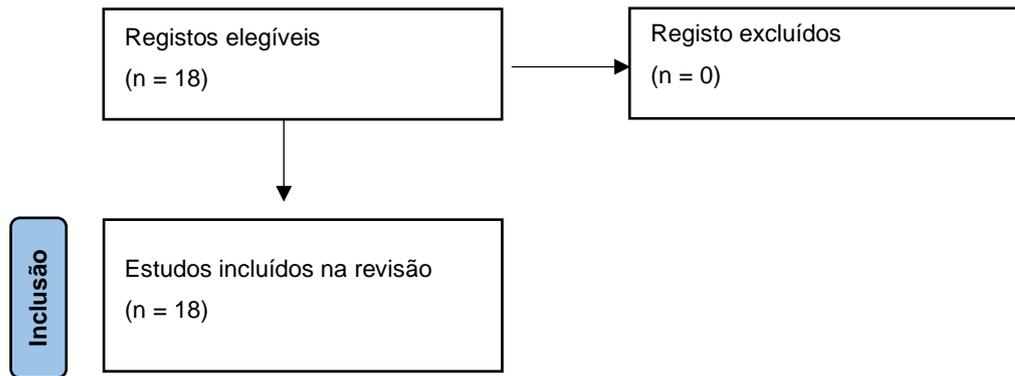


Tabela 2: Lista das publicações selecionadas para revisão (n=18)

Título	Publicação	Referência
A conceptual building-block and practical openstreetmap-interface for sharing references to hydrologic features	<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>	(Leyh, 2018)
A geoprocessing modelling interoperable framework for AgriGIS using open data and open standards	<i>PeerJ PrePrints</i>	(Santos et al., 2016)
Big data analytics: A single window IoT-enabled climate variability system for all-year-round vegetable cultivation	<i>IOP Conference Series. Earth and Environmental Science</i>	(Nwankwo & Ukhurebor, 2021)
Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a global scale	<i>Biological Reviews</i>	(Kissling et al., 2018)
Digital Technologies for Forest Supply Chain Optimization: Existing Solutions and Future Trends	<i>Environmental Management</i>	(Scholz et al., 2018)
Evolving and Sustaining Ocean Best Practices to Enable Interoperability in the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development	<i>Frontiers in Marine Science</i>	(Pearlman et al., 2021)
Fair and standard access to spatial data as the means for achieving sustainable development goals	<i>International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives</i>	(Ivánová et al., 2019)
Hacia la Interoperabilidad Semántica para el Manejo Inteligente y Sostenible de Territorios de Alta Biodiversidad usando SmartLand-LD	<i>Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação</i>	(Piedra & Suárez, 2018)
Live Monitoring of Earth Surface (LiMES): A framework for monitoring environmental changes from Earth Observations	<i>Remote Sensing of Environment</i>	(Giuliani et al., 2017)
Perspectives on Documenting Methods to Create Ocean Best Practices	<i>Frontiers in Marine Science</i>	(Hörstmann et al., 2021)

Título	Publicação	Referência
Safeguarding, integrating and disseminating knowledge on exploited marine ecosystems: The ecoscope	<i>Mediterranean Marine Science</i>	(Barde et al., 2011)
Semantics in Support of Biodiversity Knowledge Discovery: An Introduction to the Biological Collections Ontology and Related Ontologies	<i>PLoS One</i>	(Walls et al., 2014)
Sustainable development and geospatial information: a strategic framework for integrating a global policy agenda into national geospatial capabilities	<i>Geo-Spatial Information Science</i>	(Scott & Rajabifard, 2017)
SYNTHESYS+ Abridged Grant Proposal	<i>RIO</i>	(Smith et al., 2019)
The Bari Manifesto: An interoperability framework for essential biodiversity variables	<i>Ecological Informatics</i>	(Hardisty et al., 2019)
The environment ontology in 2016: bridging domains with increased scope, semantic density, and interoperation	<i>Journal of Biomedical Semantics</i>	(Buttigieg et al., 2016)
The Joint IOC (of UNESCO) and WMO Collaborative Effort for Met-Ocean Services	<i>Frontiers in Marine Science</i>	(Pinardi et al., 2019)
The role of EMODnet Chemistry in the European challenge for Good Environmental Status	<i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>	(Vinci et al., 2017)

3 INTEROPERABILIDADE E SUSTENTABILIDADE

Nesta secção, destaca-se a relação da literatura com os ODS. Esta relação mostra a transversalidade da interoperabilidade e a sua importância para o desenvolvimento de projetos, que visam o Desenvolvimento Sustentável das comunidades humanas.

Foram recuperados estudos que abordam os ODS de uma forma abrangente, mostrando que a interoperabilidade pode servir diferentes propósitos. Adicionalmente, detetaram-se trabalhos específicos de investigação em torno de 5 dos 17 ODS: ODS 2 - Acabar com a fome; ODS 6 - Água e Saneamento; ODS 13 - Combater as alterações climáticas; ODS 14 - Oceanos, mares e recursos marinhos; ODS 15 - Ecossistemas terrestres e biodiversidade.

No contexto da Agenda 2030, o problema da fome está diretamente relacionado com a questão agrícola. Relativamente à agricultura sustentável, uma equipa da Universidade de Nottingham propôs um modelo para potencializar a interoperabilidade de dados abertos, usando também software de código aberto e normas de utilização livre. Centrado em dados geoespaciais, o esquema permitirá não só a interação dos dados agrícolas, mas também o seu alojamento e disponibilização futura (Santos et al., 2016). Ainda na mesma temática (ODS 2),

investigadores da Nigéria desenvolveram um sistema, que permite que os agricultores recebam informação em tempo-real sobre as necessidades do cultivo de produtos hortícolas. A interoperabilidade de dados georreferenciados, relativos a diferentes aspetos relevantes (clima e solos, por exemplo), interliga-se com os dispositivos móveis dos agricultores, possibilitando a aplicação de análise de *Big Data* à agricultura sustentável (Nwankwo & Ukhurebor, 2021).

A gestão da água potável é um dos componentes fundamentais do Desenvolvimento Sustentável (ODS 6). Um investigador brasileiro procurou desenhar um mecanismo de interoperabilidade entre diferentes conjuntos de dados de investigação de natureza hidrológica, recorrendo à plataforma *OpenStreetmap* e explorando tecnologia de *Linked Open Data*. Qualquer ecossistema de dados está dependente da contribuição dos vários atores envolvidos, no entanto, é também possível desenvolver mecanismos de interligação entre dados disponíveis publicamente. Os dados abertos são um elemento fundamental para o Desenvolvimento Sustentável. Este estudo também utilizou diferentes standards da W3C (*World Wide Web Consortium*), demonstrando que a interoperabilidade exige a construção ou a utilização de modelos e de linguagens pré-existentes, que permitam a combinação dos dados (Leyh, 2018).

Para além da água potável e da agricultura, são necessárias medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactes. O ODS 13 visa precisamente convocar as comunidades para essa batalha. Na amostra selecionada, uma equipa de investigação suíça propôs um esquema para monitorizar as mudanças climáticas a partir de observações do nosso planeta, intitulado LIMES (*Live Monitoring of Earth Surface*). Este modelo pretende potenciar diferentes fontes de dados abertos, como repositórios, de forma a automatizar o processo de monitorização das alterações ambientais. É um exemplo claro da utilidade do desenvolvimento de serviços de interoperabilidade, interligando dados primários (principalmente imagens de satélite) provenientes de centenas de pontos de observação. Segundo os autores, este protótipo constitui uma das primeiras tentativas de fornecer uma ferramenta à escala global de monitorização das alterações climáticas, em termos espaciais e temporais (Giuliani et al., 2017).

O problema da conservação e da utilização sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos (ODS 14) é uma das temáticas mais abordadas nos estudos analisados. Algumas destas investigações têm como motivação a Década dos Oceanos (*UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development 2021–2030*), programa lançado pela ONU, em 2021, para apoiar soluções para o Desenvolvimento Sustentável dos oceanos (United Nations, 2021). Referindo-se à experiência do *Ocean Best Practices System* (UNESCO), uma equipa

internacional de cientistas defendeu que o desenvolvimento destas soluções, suportadas pelo trabalho da ciência, apenas é possível pela construção de uma comunidade global de prática. Esta comunidade precisa de uma linguagem comum para que os seus resultados possam ser utilizados e reutilizados de forma contínua e com o mínimo de entropia. A capacidade de elaborar uma linguagem comum está dependente dos mecanismos de interoperabilidade implementados e, apenas o sucesso desta linguagem permitirá a passagem de uma escala local de produção do conhecimento científico para uma escala global (Pearlman et al., 2021). Na mesma linha de investigação e com alguns autores da mesma equipa, outro estudo apresenta a necessidade de métodos adequados de documentação das práticas científicas para que esse conhecimento possa ser mais facilmente recuperado e partilhado: “structured templates, clear and complete metadata, version control, as well as mechanisms to support convergence and interdisciplinary exchange are foremost among the community’s needs” (Hörstmann et al., 2021, p. 2). Novamente, a harmonização é o componente fundamental para se criar uma comunidade de prática, pois a troca de informação é o elemento-chave da investigação científica que acolhe e beneficia das tecnologias digitais. Estabelece-se aqui, claramente, uma ligação entre a Ciência Aberta, sobretudo na questão da transparência e da reprodutibilidade, a interoperabilidade e o Desenvolvimento Sustentável.

Tendo em conta os limites temporais definidos para esta revisão, houve alguns trabalhos selecionados anteriores à Resolução da ONU de 2015, que anunciou a Agenda 2030. Um trabalho anterior sobre os oceanos, também na temática do ODS 14, mostrou que a questão da sustentabilidade era uma preocupação antiga da investigação científica. Uma equipa francesa abordou a questão da exploração dos recursos marinhos, assinalando que, além do problema da partilha dos recursos de informação, a questão da sua recuperação e descoberta convoca a interoperabilidade como a solução para otimizar esses processos. Tratando-se de recursos de informação gerados localmente, mas também capturados de forma global, os autores apresentam um sistema de informação intitulado *Ecoscope*, que visa harmonizar padrões de metadados (interoperabilidade sintática), ontologias (interoperabilidade semântica) e informação geográfica, recorrendo à *Dublin Core Metadata Initiative* como um esquema unificador dos diferentes esquemas encontrados nos diferentes objetos informacionais; no caso das ontologias, indicam o desenvolvimento, ainda por terminar, de uma ontologia, que permita uma organização semântica da informação (Barde et al., 2011).

A interoperabilidade é fundamental para otimizar o trabalho de grandes consórcios, que reúnem quantidades massivas de dados, dispersos geograficamente e com naturezas distintas. O caso da JCOMM (*WMO-IOC Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology*) é apresentado por uma vasta equipa internacional. Pretende-se construir um sistema que coordene as diferentes observações dos oceanos, a gestão dos dados e os serviços de previsão meteorológica. Sendo um consórcio internacional, à escala global, o sistema pretende, entre outros aspetos, fornecer dados abertos, em acesso livre, e disponíveis de uma forma rápida, apoiando-se nos princípios FAIR. A interoperabilidade permitirá tornar a investigação sobre os oceanos uma prática global, ultrapassando os défices locais já reconhecidos e inadequados a um conjunto de fenómenos que não têm fronteiras (Pinardi et al., 2019).

No caso da União Europeia, outro grande consórcio apresenta necessidades semelhantes de organização da informação. Os dados coletados pela investigação oceanográfica permanecem dispersos e fragmentados, apesar das orientações fornecidas pela Diretiva Europeia INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*), de 2007 (European Commission, 2021). Investigadores italianos mostraram a importância da interoperabilidade na construção de uma rede de portais de dados denominada *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet), especificamente do portal de dados de natureza química. A interoperabilidade visa melhorar a disponibilidade de dados ambientais marinhos de alta qualidade e construir uma base de conhecimentos que possa impulsionar o Desenvolvimento Sustentável (Vinci et al., 2017).

O ODS 15, a par do ODS 14, representa uma área bastante abordada no conjunto dos estudos analisados. Este objetivo visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir as florestas de forma sustentável, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e estancar a perda de biodiversidade. A interoperabilidade dos dados sobre biodiversidade motivou o desenvolvimento, por uma equipa internacional, da *Biological Collections Ontology*, e outras ontologias relacionadas, com o intuito de aumentar a organização semântica da informação. O estudo mostra a necessidade do desenvolvimento de linguagens semanticamente enriquecidas de forma a interligar dados de origens diversas, incluindo as coleções museológicas, que constituem uma base fundamental para o arquivo da biodiversidade (Walls et al., 2014). Dois investigadores do Equador abordaram também a questão da interoperabilidade semântica, apresentando a *SmartLand*, uma iniciativa criada em

2014, e o seu sistema de dados *SmartLand-LD*, para mapear e integrar dados sobre indicadores de Desenvolvimento Sustentável em territórios com alta biodiversidade, com vista à sua gestão inteligente. Estas iniciativas pretendem responder ao apelo da Agenda 2030 para uma melhor gestão de dados, de forma a apoiar projetos nacionais e internacionais, que implementem os ODS. Com o propósito de criar um ecossistema para a interoperabilidade semântica, os autores indicaram quatro níveis de interoperabilidade, que formam a arquitetura do sistema: legal (o mais abrangente), organizacional (estratégico), semântico (troca de significados) e tecnológico (troca de dados e conteúdos) (Piedra & Suárez, 2018).

O estudo da biodiversidade implica a relação entre dados locais, muitas vezes dispersos e recolhidos de forma casuística, e dados globais, agregados e normalizados, que permitam a construção de produtos para a análise da situação das espécies naturais. Em torno do conceito de *Essential Biodiversity Variables*, um conjunto mínimo de variáveis taxonómicas-espaciais-temporais usado para estudar as alterações na biodiversidade, um conjunto alargado de investigadores assinalou a necessidade de promover uma infraestrutura de gestão de dados que possa suportar o desenvolvimento de produtos baseados nos dados obtidos, segundo as referidas variáveis. Este desenvolvimento está dependente de dados e metadados FAIR, incluindo a interoperabilidade de formatos e de unidades de medida. Os padrões existentes, relacionados com a abundância e a distribuição das espécies, são revistos e analisados, embora os autores reconheçam que ainda não existe um modelo de informação, que permita a interoperabilidade semântica e a integração de dados de fontes tão diversas (Kissling et al., 2018).

Para acelerar o processo de interoperabilidade e desenvolver os produtos baseados nos dados recolhidos, segundo as *Essential Biodiversity Variables*, o Manifesto de Bari (2018) propôs 10 princípios de interoperabilidade que todas as organizações devem seguir: (1) plano de gestão de dados; (2) estrutura comum de dados; (3) metadados com padrões comumente aceites; (4) controlo da qualidade dos dados; (5) acessibilidade através de interfaces; (6) documentação e publicação dos fluxos de criação dos produtos baseados nos dados; (7) informação da proveniência dos dados primários; (8) ontologias e vocabulários de descrição; (9) preservação em repositórios com identificadores persistentes; (10) acesso aberto e princípios FAIR (Hardisty et al., 2019). Este roteiro permite a ligação entre os dados primários e o desenvolvimento de produtos, mostrando a natureza mediadora da interoperabilidade, essencial para a compreensão global e transnacional das alterações na biodiversidade.

O domínio da gestão sustentável das florestas é outro aspeto importante do ODS 15. Uma revisão da literatura realizada por uma equipa internacional mostrou que existem diversos estudos sobre o papel das tecnologias digitais na sustentabilidade das cadeias de abastecimento. Os autores sublinham que, além da interoperabilidade sintática e semântica, é necessário o desenvolvimento de estruturas efetivas de colaboração, ainda que a interoperabilidade seja a base para a otimização dos processos (Scholz et al., 2018).

Um conjunto de estudos abordou, de forma transversal, os ODS, não sendo possível associar-lhes apenas um dos objetivos. Um desses exemplos é o desenvolvimento da ontologia *The Environment Ontology* (ENVO), com uma expansão do seu âmbito inicial para abranger habitats, processos ambientais, ambientes antropogénicos e entidades relevantes para a Agenda 2030. As alterações implementadas procuraram articular-se com outra ontologia, *Sustainable Development Goal Interface Ontology* (SDGIO), desenvolvida desde 2015 pelo *United Nations Environment Programme* (U. N. Environment, 2020). A representação semântica das questões ambientais, através da *Web Ontology Language* (OWL), torna a ENVO uma ferramenta fundamental para a interoperabilidade dos sistemas que gerem os dados de investigação (Buttigieg et al., 2016).

No caso das coleções científicas de história natural, a apresentação de um projeto pan-europeu para 2019-2023, SYNTHEsys+ (SYNTHESIS, 2021), sobre acesso digital a espécimes, que dá continuidade a um consórcio de museus, jardins botânicos, universidades e empresas iniciado em 2004, mostra a importância da OI para a gestão de quantidades massivas de recursos. Para inverter o acesso fragmentado à riqueza contida nas coleções, é proposta uma infraestrutura de investigação centralizada e com acesso global. É dado especial enfoque ao problema da interoperabilidade, de forma a ultrapassar falhas identificadas anteriormente, sendo-lhe inteiramente dedicada um *work package* do projeto. Este projeto estabelece as bases para o *Distributed System of Scientific Collections* (DiSSCO), uma infraestrutura que vai reunir coleções de 115 museus europeus de 21 países (Smith et al., 2019).

O domínio da informação geoespacial é transversal a vários ODS. Muitos dos problemas que têm impacto no Desenvolvimento Sustentável precisam da informação de natureza geográfica para a obtenção de soluções, pelo que é essencial integrá-la e conectá-la a uma escala global. Um dos estudos analisados apresentou um quadro estratégico para implementar esta aspiração (Scott & Rajabifard, 2017). Contudo, os autores reconhecem que, sobretudo nos países em desenvolvimento, os dados primários de origem nacional carecem de qualidade e

capacidade de interoperabilidade, pelo que esta questão se torna crucial para o sucesso de uma estratégia global: “data, as the basis for evidence-based decision-making and accountability, will be crucial to the success of the 2030 Agenda. The key word here is “data”. The future success of the global development agendas will be dependent on data, and not whether it is statistical, geospatial, environmental, economic, health, demographic, education, or other data – just data!” (Scott & Rajabifard, 2017, p. 73).

Ainda no mesmo campo da informação geográfica, uma equipa australiana apontou a incapacidade de este tipo de dados, como é o caso dos metadados de georreferenciação, cumprirem todos os requisitos FAIR e, em consequência disso, não terem ainda a possibilidade de suportarem a implementação dos ODS: “the FAIR precise positioning data ensures timely and accurate access good health and well-being (SDG 3), efficient management of clean water and sanitation (SDG 6) and well-functioning smart and sustainable cities (SDG 11). Moreover, FAIR precise positioning data help in a responsible consumption and production (SDG 12) and assure life below water and on land (SDG 13 and 14)” (Ivánová et al., 2019, p. 38).

4 DISCUSSÃO

Os exemplos assinalados mostram, de forma clara, a relevância da interoperabilidade para a sustentabilidade. Com grande destaque para os ODS 14 e 15, relativamente aos ecossistemas aquáticos e terrestres, os resultados evidenciam o contributo fundamental da interoperabilidade para o Desenvolvimento Sustentável, sobretudo na construção de sistemas de informação integrados e normalizados.

Os princípios FAIR são referidos em diversos estudos, mostrando a importância dos dados abertos, com destaque para o I de interoperabilidade (Wilkinson et al., 2016). A convergência com estes princípios parece ser um caminho de sentido único, pois é solução para uma integração plena da matéria-prima que permitirá a produção de conhecimento a uma escala global. A partilha e a reutilização de dados permitem a reprodutibilidade da investigação, mas também a implementação de outros processos que envolvem os objetos informacionais, como as tecnologias *Linked Open Data* (Charalabidis et al., 2018). Visa-se ultrapassar a dimensão local dos dados e o seu encerramento em silos de informação (Pennington & Cagnazzo, 2019). Ou seja, também ao nível da informação é possível e desejável o lema “agir localmente, pensar globalmente”.

Os estudos mostram também o panorama de *Big Data* em que a investigação científica atua no presente. Este panorama terá ele próprio de ser sustentável, mas tem sobretudo de permitir a abordagem globalizante que o Desenvolvimento Sustentável exige. Não há sustentabilidade sem haver interligação, colaboração e esforço coletivo. Estas premissas também se aplicam aos metadados (Riley, 2017), pois são estes que tornarão viável a resposta mundial a desafios tão importantes como as alterações climáticas.

A normalização e a utilização de ferramentas e de linguagens internacionalmente reconhecidas desempenham um papel central em todo o processo. A criação de comunidades globais de prática, em estreita colaboração, exige uma linguagem comum, elemento essencial dos fundamentos da OI (Svenonius, 2000). Este trabalho coletivo mitigará os défices locais e apoiará os países mais frágeis na elaboração de informação interoperável e no aumento da reprodutibilidade do conhecimento produzido localmente.

Os estudos analisados apresentam uma relação estreita entre OI e Organização do Conhecimento. Se são realmente distintas conceptualmente (Brascher & Café, 2008), estão entrelaçadas pelo seu objetivo comum de gerir e tornar a informação e o conhecimento acessíveis. Neste ponto, destaca-se o campo das ontologias. Os estudos mostram um esforço enorme na organização semântica da informação, sobretudo na temática da biodiversidade, que visa a criação de linguagens enriquecidas para otimizar a gestão e a troca de informação, mas também a interação com as coleções museológicas, que são afinal um dos mais importantes arquivos da ciência.

Em síntese, a análise revela que a interoperabilidade desempenha um lugar central, um lugar de mediação ou de acordo (*agreement*) (Zeng, 2019), entre os dados primários ou brutos, incluindo os metadados dos objetos informacionais, e os diferentes produtos elaborados para a obtenção do conhecimento e para suportar o desenvolvimento sustentável. A este propósito, diferentes estudos testemunham a importância da informação geográfica como o alicerce para diversas abordagens aos ODS.

5 CONCLUSÃO

Esta investigação permite aferir e demonstrar a transversalidade da OI. Não estando circunscrita ao domínio dos construtos históricos, como as bibliotecas, os arquivos ou os museus, a OI é um elemento central, se não intrínseco, da investigação científica. Para apoiar a

tomada de decisão e para sustentar as políticas públicas, com vista à implementação da Agenda 2030, o desenvolvimento de mecanismos otimizados de OI será essencial para um esforço que se pretende global.

O papel dos sistemas interoperáveis no desenvolvimento ambiental, social e económico assume relevância, pois a OI e a interoperabilidade contribuem, de forma indireta, mas decisiva, para o Desenvolvimento Sustentável. Viabilizam a troca de informação, incentivam a construção de comunidades globais de prática e ultrapassam as limitações e os défices próprios do agir local. Conclui-se que a OI desempenha um papel transversal nos projetos, que visam implementar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

As limitações deste estudo prendem-se sobretudo com a recolha dos dados, pois a utilização de outras expressões de pesquisa poderia ter formado amostras diferentes. No entanto, a revisão indica aspetos que parecem ser estruturais, e que, eventualmente, poderiam igualmente surgir na análise de outros estudos.

REFERÊNCIAS

- Adam-blondon, A., Alaux, M., Pommier, C., Cantu, D., Cheng, Z., Cramer, G., Davies, C., Delrot, S., Deluc, L., Di Gaspero, G., Grimplet, J., Fennell, A., Londo, J., Kersey, P., Mattivi, F., Naithani, S., Neveu, P., Nikolski, M., Pezzotti, M., ... Quesneville, H. (2016). Towards an open grapevine information system. *Horticulture Research*, 3, 16056. Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.1038/hortres.2016.56>
- Baca, M. (Ed.). (2008). *Introduction to metadata* (2nd ed.). The Getty Research Institute.
- Barde, J., Cauquil, P., Chavance, P., & Cury, P. (2011). Safeguarding, integrating and disseminating knowledge on exploited marine ecosystems: The ecoscope. *Mediterranean Marine Science*, 12(3), 45–52. <https://doi.org/10.12681/mms.69>
- Brascher, M., & Café, L. (2008). Organização da Informação ou Organização do Conhecimento? *Diversidade cultural e políticas de informação*. IX ENANCIB. <http://hdl.handle.net/123456789/809>
- Buttigieg, P. L., Pafilis, E., Lewis, S. E., Schildhauer, M. P., Walls, R. L., & Mungall, C. J. (2016). The environment ontology in 2016: Bridging domains with increased scope, semantic density, and interoperation. *Journal of Biomedical Semantics*, 7. <https://doi.org/10.1186/s13326-016-0097-6>
- Buttigieg, P. L., Walls, R., & Thessen, A. (2019). Semantic Interoperability Solutions for the Essential Variables: Focus on biodiversity. *Biodiversity Information Science and Standards*. Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.3897/biss.3.36234>

- Charalabidis, Y., Zuiderwijk, A., Alexopoulos, C., Janssen, M., Lampoltshammer, T., & Ferro, E. (2018). *The World of Open Data: Concepts, Methods, Tools and Experiences*. Springer.
- Chatterjee, A. (2017). *Elements of Information Organization and Dissemination*. Chandos.
- Eissa Alreshidi. (2019). Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). *ArXiv.Org*. Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100513>
- European Commission. (2021). *INSPIRE*. INSPIRE Knowledge Base. <https://inspire.ec.europa.eu/>
- Frické, M. (2012). *Logic and the Organization of Information*. Springer.
- Giuliani, G., Dao, H., De Bono, A., Chatenoux, B., Allenbach, K., De Laborie, P., Rodila, D., Alexandris, N., & Peduzzi, P. (2017). Live Monitoring of Earth Surface (LiMES): A framework for monitoring environmental changes from Earth Observations. *Remote Sensing of Environment*, 202, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.040>
- Grandcolas, P. (2019). The Rise of “Digital Biology”: We need not only open, FAIR but also sustainable data! *Biodiversity Information Science and Standards*. Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.3897/biss.3.37508>
- Hardisty, A. R., Michener, W. K., Agosti, D., Alonso García, E., Bastin, L., Belbin, L., Bowser, A., Buttigieg, P. L., Canhos, D. A. L., Egloff, W., De Giovanni, R., Figueira, R., Groom, Q., Guralnick, R. P., Hobern, D., Hugo, W., Koureas, D., Ji, L., Los, W., ... Kissling, W. D. (2019). The Bari Manifesto: An interoperability framework for essential biodiversity variables. *Ecological Informatics*, 49, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.11.003>
- Hjørland, B. (2012). Knowledge Organization = Information Organization? *Categories, contexts and relations in knowledge organization: proceedings*, 8–14. https://static-curis.ku.dk/portal/files/47028310/Abstract_KO_and_IO_full.pdf
- Hörstmann, C., Buttigieg, P. L., Simpson, P., Pearlman, J., & Waite, A. M. (2021). Perspectives on Documenting Methods to Create Ocean Best Practices. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.556234>
- Ivánová, I., Brown, N., Fraser, R., Tengku, N., & Rubinov, E. (2019). *Fair and standard access to spatial data as the means for achieving sustainable development goals*. 42(4/W20), 33–39. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W20-33-2019>
- Jeong, S., Kim, S., & Kim, J. (2020). City Data Hub: Implementation of Standard-Based Smart City Data Platform for Interoperability. *Sensors*, 20(23). <https://doi.org/10.3390/s20237000>
- Joudrey, D. N., & Taylor, A. G. (2018). *The Organization of Information* (4th ed.). Libraries Unlimited.
- Kissling, W. D., Ahumada, J. A., Bowser, A., Fernandez, M., Fernández, N., García, E. A., Guralnick, R. P., Isaac, N. J. B., Kelling, S., Los, W., McRae, L., Mihoub, J.-B., Obst, M., Santamaria, M., Skidmore, A. K., Williams, K. J., Agosti, D., Amariles, D., Arvanitidis, C., ... Hardisty, A. R. (2018). Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a global scale. *Biological Reviews*, 93(1), 600–625. <https://doi.org/10.1111/brev.12359>

- Leyh, W. (2018). *A conceptual building-block and practical openstreetmap-interface for sharing references to hydrologic features* (Vol. 600, p. 148).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-60450-3_14
- Magagna, B., Rosati, I., Stoica, M., Schindler, S., Moncoiffe, G., Devaraju, A., Peterseil, J., & Huber, R. (2021). The I-ADOPT Interoperability Framework for FAIRer data descriptions of biodiversity. *ArXiv.Org*. Publicly Available Content Database.
<https://www.proquest.com/working-papers/i-adopt-interoperability-framework-fairer-data/docview/2551799599/se-2?accountid=27896>
- Martínez, I., Zalba, B., Trillo-Lado, R., Blanco, T., Cambra, D., & Casas, R. (2021). Internet of Things (IoT) as Sustainable Development Goals (SDG) Enabling Technology towards Smart Readiness Indicators (SRI) for University Buildings. *Sustainability*, 13(14), 7647. Coronavirus Research Database; Publicly Available Content Database.
<https://doi.org/10.3390/su13147647>
- Nwankwo, W., & Ukhurebor, K. E. (2021). Big data analytics: A single window IoT-enabled climate variability system for all-year-round vegetable cultivation. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 655(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/655/1/012030>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, J.-R., & Howarth, L. C. (Eds.). (2013). *New directions in information organization*. Emerald.
- Pearlman, J., Buttigieg, P. L., Bushnell, M., Delgado, C., Hermes, J., Heslop, E., Hörstmann, C., Isensee, K., Karstensen, J., Lambert, A., Lara-Lopez, A., Muller-Karger, F., Munoz Mas, C., Pearlman, F., Pissierssens, P., Przeslawski, R., Simpson, P., van Stavel, J., & Venkatesan, R. (2021). Evolving and Sustaining Ocean Best Practices to Enable Interoperability in the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development. *Frontiers in Marine Science*.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.619685>
- Pennington, D. R., & Cagnazzo, L. (2019). Connecting the silos: Implementations and perceptions of linked data across European libraries. *Journal of Documentation*, 75(3), 643–666. <https://doi.org/10.1108/JD-07-2018-0117>
- Piedra, N., & Suárez, J. P. (2018). Hacia la Interoperabilidad Semántica para el Manejo Inteligente y Sostenible de Territorios de Alta Biodiversidad usando SmartLand-LD. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 26, 104–121.
<https://doi.org/10.17013/risti.26.104-121>
- Pinardi, N., Stander, J., Legler, D. M., O'Brien, K., Boyer, T., Cuff, T., Baharel, P., Belbeoch, M., Belov, S., Brunner, S., Burger, E., Carval, T., Chang-Seng, D., Charpentier, E., Ciliberti, S., Coppini, G., Fischer, A., Freeman, E., Gallage, C., ... Xinyang, Y. (2019). The Joint IOC (of UNESCO) and WMO Collaborative Effort for Met-Ocean Services. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00410>

- Rasmussen, C. H., & Hjørland, B. (2021). *Libraries, archives and museums (LAM): Conceptual issues with focus on their convergence*. ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization. <https://www.isko.org/cyclo/lam>
- Riley, J. (2017). *Understanding metadata: What is metadata, and what is it for?* National Information Standards Organization (NISO).
- Rodríguez Bravo, B. (2011). *Apuntes sobre representación y organización de la información*. Trea.
- Rowley, J., & Farrow, J. (2018). *Organizing knowledge: An Introduction to Managing Access to Information* (3rd ed.). Routledge.
- Santos, R., Huynh, D., Suchith Anand, Ray, R. V., Mayes, S., & Leibovici, D. (2016). A geoprocessing modelling interoperable framework for AgriGIS using open data and open standards. *PeerJ PrePrints*. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2136v2>
- Scholz, J., De Meyer, A., Marques, A. S., Pinho, T. M., Boaventura-Cunha, J., Van Orshoven, J., Rosset, C., Künzi, J., Kaarle, J., & Nummila, K. (2018). Digital Technologies for Forest Supply Chain Optimization: Existing Solutions and Future Trends. *Environmental Management*, 62(6), 1108–1133. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1095-5>
- Scott, G., & Rajabifard, A. (2017). Sustainable development and geospatial information: A strategic framework for integrating a global policy agenda into national geospatial capabilities. *Geo-Spatial Information Science*, 20(2). <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1325594>
- Silva, C. G. da. (2003). Portugal e a Lusofonia no âmbito do Desenvolvimento Sustentável. *Espaço S: Revista de Educação Social*, 6 (Edição Especial), 105–118.
- Smith, V., Gorman, K., Addink, W., Arvanitidis, C., Casino, A., Dixey, K., Dröge, G., Groom, Q., Haston, E., Hobern, D., Knapp, S., Koureas, D., Livermore, L., & Seberg, O. (2019). SYNTHESYS+ Abridged Grant Proposal. *RIO*, 637–644. <https://doi.org/10.3897/rio.5.e46404>
- Svenonius, E. (2000). *The Intellectual Foundation of Information Organization*. The MIT Press.
- SYNTHESIS. (2021). *SYNTHESYS - an integrated European infrastructure for researchers in the natural sciences*. SYNTHESIS. <https://www.synthesys.info/>
- Turillazzi, B., Leoni, G., Gaspari, J., Massari, M., & Boulanger, S. O. M. (2021). Cultural heritage and digital tools: The ROCK interoperable platform. *International Journal of Environmental Impacts*, 4(3), 276–288. Coronavirus Research Database; Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.2495/EI-V4-N3-276-288>
- U. N. Environment. (2020, Julho 23). *SDG Interface Ontology*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/explore-topics/sustainable-development-goals/what-we-do/monitoring-progress/sdg-interface-ontology>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- United Nations. (2021). *The Decade of Ocean Science for Sustainable Development*. <https://www.oceandecade.org/>

- Vinci, M., Giorgetti, A., & Lipizer, M. (2017). The role of EMODnet Chemistry in the European challenge for Good Environmental Status. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(2), 197–204. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-197-2017>
- Walls, R. L., Deck, J., Guralnick, R., Baskauf, S., Beaman, R., Blum, S., Bowers, S., Buttigieg, P. L., Davies, N., Endresen, D., Gandolfo, M. A., Hanner, R., Janning, A., Krishtalka, L., Matsunaga, A., Midford, P., Morrison, N., Éamonn Ó Tuama, Schildhauer, M., ... Wooley, J. (2014). Semantics in Support of Biodiversity Knowledge Discovery: An Introduction to the Biological Collections Ontology and Related Ontologies. *PLoS One*, 9(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089606>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, Ij. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.-W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., ... Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- Zeng, M. (2019). *Interoperability*. ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization. <https://www.isko.org/cyclo/interoperability>