

## Interoperabilidade em LMSs: Uma Revisão Bibliométrica do Estado da Arte

Jackson Raniel F. da Silva<sup>1,2</sup>, Raphael A. Dourado<sup>2</sup>, Sônia R. Fortes<sup>2</sup>, Vinícius C. Garcia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus Caruaru - Universidade de Pernambuco (UPE)  
Rod. BR 104, KM 62 - 55.002-971 - Caruaru – PE – Brasil

<sup>2</sup>Centro de Informática - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Av. Jorn. Aníbal Fernandes - Recife - 50740-560 - PE - Brasil

{jrfs, vcg}@cin.ufpe.br, {raphael.dourado, sonia.fortes}@upe.br

**Abstract.** *There are several definitions and expectations about system interoperability, which vary according to different users, professionals, and application contexts. This article aims to investigate how the concept of interoperability has been applied in the context of Virtual Learning Environments (VLEs) and the open problems in this field. Therefore, a quantitative literature review was carried out using bibliometric methods, which allowed a descriptive analysis of 15,380 publications, as well as an analysis of citations and volumes of publications in the area of study and their respective thematic interests. The results show little interest from the scientific community in producing new studies on interoperability in AVAs in contrast to the growth in the adoption of interoperable solutions by the market. Even so, the area of interoperability research in VLEs has similarities with interoperability research in other areas.*

**Resumo.** *Existem diversas definições e expectativas sobre interoperabilidade de sistemas, as quais variam de acordo com diferentes usuários, profissionais e contextos de aplicação. Este artigo tem como objetivo investigar como o conceito de interoperabilidade tem sido aplicado no contexto de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) e os problemas em aberto neste campo. Para tanto, foi realizada uma revisão quantitativa da literatura através de métodos bibliométricos, que permitiram uma análise descritiva de 15.380 publicações, além de uma análise de citações e de volumes de publicações da área de estudo e seus respectivos interesses temáticos. Os resultados demonstram pouco interesse da comunidade científica em produzir novos estudos sobre interoperabilidade em AVAs em contraste com o crescimento da adoção de soluções interoperáveis pelo mercado. Ainda assim a área de pesquisa de interoperabilidade em AVAs guarda semelhanças com a pesquisa de interoperabilidade em outras áreas.*

### 1. Introdução

O uso de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs ou LMSs - *Learning Management Systems*) como mediadores do ensino-aprendizagem tem se tornado cada vez mais comum tanto na educação à distância quanto no ensino híbrido e presencial [Bradley 2021], especialmente após a pandemia de COVID-19, quando a adoção de um ou mais AVAs pelas instituições de ensino foi crucial para viabilizar a continuidade das atividades durante o

isolamento social. Os AVAs, junto com sistemas de gestão acadêmica e outros softwares de apoio ao ensino (como os *Personal Learning Environments - PLEs*), formam um ecossistema de aplicações que precisam colaborar para o bom funcionamento dos processos de ensino-aprendizagem.

No entanto, nem sempre os AVAs conseguem cooperar e se comunicar de forma efetiva com outros sistemas para atender às necessidades de estudantes, professores, gestores e demais atores envolvidos nos processos de ensino-aprendizagem [Leal and Queirós 2012, Alier et al. 2010, Bakhouyi et al. 2017]. Em outras palavras, ainda existe falta de interoperabilidade entre diferentes AVAs bem como entre AVAs e outros sistemas utilizados pelas instituições de ensino. Este cenário causa problemas como dificuldade de migração entre LMSs de diferentes fornecedores, compartilhamento de recursos educacionais e necessidade de integração manual de dados ou desenvolvimento de aplicações específicas para automatizar o compartilhamento de dados [Leal and Queirós 2012].

Nas últimas décadas, diversas propostas tem sido apresentadas para fomentar a interoperabilidade em AVAs. Padrões como o IMS-LD, LTI e SCORM voltados para a reutilização de elementos informacionais estruturados como, por exemplo, objetos de aprendizagem. Revisões bibliográficas anteriores [Leal and Queirós 2012, Alier et al. 2010] descrevem um cenário em que a existência desses padrões não são necessários para que a interoperabilidade ocorra ainda que avanços significativos tenham sido feito com o uso de *Service-Oriented Architecture (SOA)* e *Application Programming Interfaces (API)*. Porém passado mais de uma década da publicação destes trabalhos, há a necessidade de novos estudos sobre o atual estado da pesquisa sobre interoperabilidade em LMSs. Desse modo, este trabalho tem por objetivo suprir esta carência apresentando uma revisão bibliográfica atualizada, compreendendo o período de 2003-2023, em busca de elementos que possam descrever a evolução dos estudos sobre interoperabilidade nos últimos anos.

O restante deste texto está organizado da seguinte forma: a Seção 2 trata da fundamentação teórica e dos trabalhos relacionados; a Seção 3 apresenta o método de revisão bibliométrica adotado contendo o detalhamento da compilação, busca e pré-processamento dos dados; a Seção 4 descreve os resultados obtidos e às respostas às questões de pesquisa estabelecidas anteriormente; e, a Seção 5 contém as considerações finais.

## **2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados**

Nesta seção, será discutido o conceito de interoperabilidade e como este conceito se relaciona aos Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

### **2.1. Interoperabilidade**

As definições de interoperabilidade não raramente recaem em definições técnicas de como fazer interoperabilidade. A esse respeito, o artigo de Wasserman [Wasserman 1990] desenvolve seus argumentos, aparentemente, baseados em sua própria experiência. Defendendo uma arquitetura de sistema aberto para suportar a integração de ferramentas em cinco níveis: integração de plataforma, integração de apresentação, integração de dados, integração de controle e integração de processos.

Thomas e Nejme [Thomas and Nejme 1992] expandiram essa noção técnica ao argumentar que para avaliar adequadamente a integração entre duas ferramentas, as dimensões propostas por Wasserman [Wasserman 1990] devem ter critérios mais objetivos. Eles definiram, entre outros, a dimensão de dados com o atributo de interoperabilidade, referindo-se à quantidade de trabalho necessária para uma ferramenta usar dados de outra e recomendando o compartilhamento de modelos de dados ou a dedução de dados como técnicas de interoperação. Thomas e Nejme [Thomas and Nejme 1992], por outro lado, viam a integração como uma relação com outros elementos do mesmo ambiente e não uma característica da ferramenta, como defendido por Wasserman [Wasserman 1990].

Para Wicks e Dewar [Wicks and Dewar 2007], a integração é um fenômeno sócio-econômico e não meramente um aspecto técnico como abordado por seus predecessores [Wasserman 1990, Thomas and Nejme 1992]. Para esses autores, a integração de ferramentas diz respeito a técnicas para formar coalizões de ferramentas para apoiar o processo de engenharia de *software*, mesmo que em parte. Nesse estudo, identificaram que 65% dos trabalhos publicados na área de engenharia de *software* relacionados à integração são formulativos; ou seja, focados em propor soluções técnicas baseadas em *software*. Em contrapartida, os trabalhos descritivos representam apenas 6% do total. Consequentemente, esses autores consideram que muitos pesquisadores usam descrições desatualizadas do fenômeno subjacente de integração de ferramentas ao propor novas soluções.

Em seu trabalho, Ford *et al.* [Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham 2007] fez um resgate histórico da interoperabilidade no contexto militar. Eles relataram um fiasco de comunicação entre os rádios do exército e da força aérea em 1965 como uma motivação inicial para o *Department of Defense (DoD)* dos EUA começarem a resolver os problemas de interoperabilidade. Considerando que na área de defesa já há avanços em relação à interoperabilidade, incluindo suas políticas, procedimentos, organizações e mecanismos de supervisão. Ford *et al.* [Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham 2007] argumentam que é hora de refinar a interoperabilidade por meio de sua aferição. Uma das contribuições deste trabalho é que ele resume 34 diferentes definições de interoperabilidade. Embora poucas publicações originais revisadas sejam explicitamente declaradas, Ford *et al.* [Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham 2007] também listou 64 tipos de interoperabilidade que foram usados. A definição mais aceita no julgamento desses autores é a primeira que foi descrita pelo US DoD<sup>1</sup>:

“A capacidade de sistemas, unidades ou forças de fornecer serviços para aceitar serviços de outros sistemas, unidades ou forças e usar os serviços assim trocados para permitir que eles operem efetivamente juntos.” [Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham 2007]

Nesse contexto, conforme apontado pelos autores, trata-se de uma noção flexível e não técnica quando se fala em unidades e forças militares.

Diallo [Dia 2016] desconsidera diferentes atores dentro do contexto do sistema ao descrever a interoperabilidade, como um problema NP-difícil, reduzindo qualquer sistema interoperável a um conjunto de entradas e saídas causadas por essas entradas. Diallo

---

<sup>1</sup><https://standards.globalspec.com/std/3592/dodd-2010-6-d-03-11-77>, Último acesso: 21 de janeiro de 2021

[Diallo et al. 2011] já havia abordado o problema de múltiplas definições e tipos de interoperabilidade explicitamente, levantando a seguinte questão de pesquisa: “ Qual é a teoria da interoperabilidade sobre a qual todas as nossas estruturas e soluções são construídas?” Além disso, ele reconheceu que as soluções atuais não são suficientes para fornecer interoperabilidade com base apenas nos conceitos da literatura.

## **2.2. Interoperabilidade em AVAs**

Leal e Queirós [Leal and Queirós 2012] classificam as funcionalidades normalmente oferecidas por AVAs em quatro grupos: conteúdo (seções de cursos, materiais de estudo, arquivos multimídia, etc.), comunicação (chats, fóruns, blogs, listas de distribuição, etc.), colaboração (wikis, videoconferência, etc.) e avaliação (quizes, portfólios, notas, etc.). Para cada um destes grupos, segundo os autores, há requisitos de interoperabilidade específicos. Os mesmos autores propõe então duas “facetas de interoperabilidade”: Learning Content Management Systems (LCMS) e Academic Management Systems (AMS). Na primeira “faceta” estão funcionalidades voltadas ao desenvolvimento, gerenciamento e publicação de conteúdos digitais de aprendizagem que são entregues pelo AVA; ferramentas de autoria, e-Portfólios e repositórios de objetos de aprendizagem são citados como exemplos. Na segunda estão os sistemas de gestão acadêmica, responsáveis por, por exemplo, gerir as ofertas de cursos, as matrículas de estudantes e armazenar históricos e notas. Os autores ressaltam que sistemas que se enquadram no primeiro grupo tendem a apresentar um maior nível de maturidade quanto à interoperabilidade.

Bakhouyi et al. [Bakhouyi et al. 2017] apresentam um levantamento dos principais padrões de interoperabilidade existentes para AVAs. Os autores identificaram quatro organizações responsáveis por manter estes padrões. A primeira, IMS Global Learning Consortium, é um consórcio indústria/academia de fornecedores de AVAs que desenvolveram diversos padrões como o IMS-LD, LIP, ePortfolio, LTI, CC, LIS, QTI e Caliper. A segunda, IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC), é um comitê aberto responsável por padrões como Learning Object Metadata (LOM) e Computer Managed Instruction (CMI). A terceira, Aviation Industry CBT Committee (AICC), desenvolveu os padrões AICC e PENS, o primeiro para interoperabilidade via XML e o segundo para comunicação entre ferramentas de autoria e AVAs. Por fim, a Advanced Distributed Learning initiative (ADL) propôs o padrão SCORM, atualmente descontinuado, e, mais recentemente, o xAPI, baseado em JSON.

Apesar de existirem trabalhos anteriores que buscam mapear as soluções e problemas em aberto relativos à interoperabilidade em AVAs [Leal and Queirós 2012, Alier et al. 2010, Bakhouyi et al. 2017], dois deles foram publicados há mais de dez anos [Leal and Queirós 2012, Alier et al. 2010] e nenhum deles utiliza um método sistemático para levantamento dos dados bibliográficos. Desse modo, este trabalho busca preencher esta lacuna através de uma revisão bibliométrica, cujo protocolo é detalhada na seção a seguir.

## **3. Método**

O delineamento metodológico dessa seleção de textos segue as recomendações do fluxo de trabalho Zupic e Cater [Zup 2015] e da abordagem de análise de um campo de pesquisa proposta por Cobo [Cobo et al. 2011]. Além disso, utilizamos o método e as ferramentas

para realizar a seleção dos termos de busca do estudo de Marcos-Pablos e García-Peñalvo [Marcos-Pablos and García-Peñalvo 2018].

A etapa de construção de um planejamento de pesquisa consistiu-se da criação de um protocolo de pesquisa que defina as questões de pesquisa e os métodos por meio da obtenção de uma resposta para cada uma delas é a função desta etapa [Zup 2015]. Para seguir esta recomendação, as questões escolhidas para este estudo são:

- Quais são as pesquisas mais relevantes quando se trata de interoperabilidade em LMS?
- Em quais veículos essas pesquisas foram publicadas?
- Quais são os objetivos da interoperabilidade nessas pesquisas?
- Quais Elementos são interoperados?
- Quais padrões de interoperabilidade foram utilizados?
- Quais são os problemas em aberto apresentados por essas pesquisas?

Os métodos bibliométricos são adequados para revisar quantitativamente a literatura. Esses métodos permitem revisões de literatura com milhares de documentos, filtrando seus metadados. Essas questões de pesquisa foram respondidas resumindo o banco de dados bibliométrico. E posteriormente, realizando-se uma análise de contagem de citações. Para as duas últimas pesquisas uma avaliação manual feita pelos autores foi necessária, uma vez que as informações analisadas não constam nos metadados.

### 3.1. Compilação de Dados

O processo de definição adotado para a *string* de busca tem o objetivo de minimizar o viés das palavras conhecidas pelo pesquisador e buscar novas palavras-chave para compor o escopo da pesquisa [Marcos-Pablos and García-Peñalvo 2018]. O planejamento dos termos de pesquisa relevantes contém cinco etapas: 1. Uma busca piloto baseada no conhecimento prévio do pesquisador; 2. Exclusão de trabalhos duplicados e sem resumo; 3. Classificação dos resultados da pesquisa de acordo com a sua relevância; 4. Utilizar o método estatístico *Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF)* no grupo de artigos relevantes para prospectar novas palavras-chave; 5. Repita todo o processo até que nenhuma nova palavra-chave apareça.

Seguidos esses passos, também foi necessário retirar dos resultados das buscas documentos do tipo editorial (ed), revisão (re), revisão de conferência (cr), carta (le), errata (er) e notas (no). Bem como retirar documentos que não sejam relatórios de intervenção direta contendo grupos focais, análises bibliométricas e cientométricas. Resultando na *string* de pesquisa abaixo:

```
TITLE-ABS-KEY ((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND ( interoper* )) AND NOT ("focus group" OR bibliometric OR scientometric) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020 )) AND (EXCLUDE(DOCTYPE, "re") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "cr") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "ed") OR EXCLUDE (DOCTYPE, "no") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "le") OR EXCLUDE (DOCTYPE, "er" ))
```

### 3.1.1. Busca de Dados

Nesta pesquisa, os dados brutos vêm dos bancos de dados *Web of Science* (WoS) e Scopus. A Scopus abrange mais de 36 milhões de títulos de mais de 11 mil pesquisadores em diversas áreas de conhecimento. A WoS fornece acesso a índices de citações regionais e multidisciplinares, contendo mais de 34 mil revistas, livros, anais de patentes e bases de dados disponíveis para pesquisa. Entre esses índices, a *ACM Digital Library* e a *IEEE Explore*, só que com opções mais abrangentes de exportação de metadados

### 3.2. Pre-processamento

Comumente, dados retirados de fontes bibliográficas contêm erros [Cobo et al. 2011]. Portanto, pré-processamos os metadados dos documentos de origem. O primeiro passo foi importar esses dados separados por buscadores para a construção do *data frame* em R (versão 3.6.3) utilizando a biblioteca Bibliometrix (versão 3.0.1) [Aria and Cuccurullo 2017]. Nesse processo, a Bibliometrix [Aria and Cuccurullo 2017] eliminou eventuais documentos fontes duplicados entre os buscadores. Foi então realizada uma segunda verificação de duplicatas utilizando o algoritmo de distância de Damerau-Levenshtein [Bard 2007], analisando títulos de documentos com pelo menos 95% de similaridade.

Além da possibilidade de estudos duplicados de bases de dados diferentes, existe também a possibilidade de metadados registrados de forma distinta em bases de dados diferentes devido a erros de digitação, padrões de apresentação ou problemas de *charset*. A Bibliometrix não possui rotinas específicas dedicadas à limpeza de dados. Existem apenas algumas regras de limpeza para as rotinas principais: converter texto para maiúsculas, remover caracteres não alfanuméricos, remover símbolos de pontuação e espaços extras e truncar o sobrenome e o nome do meio dos autores para suas iniciais [Aria and Cuccurullo 2017]. Por conta disso, realizamos uma terceira verificação em busca de erros ortográficos, considerando os campos título e ano de publicação no *data frame*.

## 4. Análise e Resultados

Ao término do processo de planejamento, busca, compilação e limpeza dos metadados relativos à produção científica sobre interoperabilidade, os dados dos artigos foram filtrados para que contivessem apenas documentos da área de computação. Como resultado, a base de dados continha 15.380 documentos, cobrindo a produção científica entre os anos de 1978 e 2023 (até abril). A natureza desses documentos varia entre artigos, livros e capítulos de livros.

Os dados retornados pela busca tratam de sistemas interoperáveis de diversos contextos. A análise deu-se pela extração automática de termos presentes dos resumos dos documentos, utilizando a biblioteca Bibliometrix, com a configuração de 2 n-gramas para cada termo. Para restringir o escopo da busca aos objetivos deste trabalho, foram mantidos apenas os artigos que contivessem o termo “LMS” no *abstract*. Como resultado remaneceram a base 46 documentos cujas principais características podem ser observadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Resumo Bibliométrico**

Período	2003 : 2021
Fontes	40
Documentos	46
Taxa de crescimento anual	3,93
Méd. citações p/documento.	2
Méd. citações p/ano p/doc.	0,2894
Referências	849

#### 4.1. Quais são as pesquisas mais relevantes quando se trata de interoperabilidade em LMS?

Para responder a essa pergunta de pesquisa, foi utilizada a contagem de citações com métrica de relevância. De modo que os estudos com a maior quantidade de citações são considerados como mais relevantes. A Tabela 2 mostra esses estudos em ordem decrescente de quantidade de citações.

**Tabela 2. Publicações mais relevantes**

Publicação	Tot. Citações
[Govaerts et al. 2011]	19
[Muñoz et al. 2015]	18
[Costagliola et al. 2006]	12
[Queirós et al. 2011]	11
[Drira et al. 2011]	7
[García and Pariente 2009]	7
[Sirkiä and Haaranen 2017]	7
[del Blanco et al. 2012]	6
[Phankokkruad and Woraratpanya 2009]	6
[Galanis et al. 2014]	5

A análise de citações se concentra apenas nos artigos mais citados, levantando o debate entre sociólogos da ciência e pesquisadores bibliométricos sobre se a soma dos artigos menos citados não pode ser mais significativa do que a influência dos artigos mais citados. Nesse sentido, uma discussão exaustiva foi conduzida por Cole e Cole [Cole and Cole 1972], Macroberts e Macroberts [Macroberts and Macroberts 1987] e Martin [Martin 2012]. Van Raan [Van Raan 1996], alerta para o risco de viés na análise de citações provocado por autocitações e citações “*in-house*”. Mesmo com resultados não tão expressivos, como abordado por Garfield [Garfield 1979] e Zupic e Cater [Zup 2015], em algumas citações mais incomuns, a intenção é refutar ou criticar o artigo citado. No entanto, Coombes e Nicholson [Coombes and Nicholson 2013] afirmam que é impossível identificar as motivações por trás de uma citação, o que pode afetar qualquer estudo. Portanto, para fortalecer esse ponto, essas situações devem ser consideradas limitações inerentes aos estudos bibliométricos.

#### 4.2. Quais as principais veículos de publicação da pesquisa sobre interoperabilidade em computação?

Uma contagem de volume de publicações permite observar que as 46 publicações remanescentes estão fracionadas entre diversos veículos. É uma indicação de que não existem revistas ou conferências que agreguem um número significativo de publicações na área da interoperabilidade, ainda que todo o conjunto seja representativo. É importante mencionar outras fontes de publicações relevantes da Taylor & Francis, Elsevier e Springer que não aparecem nesse ranking dos 3 primeiros, mas estão presentes nos dados analisados. Essa lista está disposta na Tabela 3.

**Tabela 3. Principais veículos de publicação**

Veículos	Artigos
PROCEEDINGS - FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE FIE	4
IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE EDUCON	3
CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS	2

#### 4.3. Quais são os objetivos da interoperabilidade nessas pesquisas?

A análise dessa questão de pesquisa e das que se seguem considera-se apenas os documentos mais relevantes. Nos artigos analisados a interoperabilidade é utilizada com os objetivos principais reutilizar alguns elementos ou fornecer uma padrão de troca a ser obedecido por quem quiser ter acesso a algum elemento baseado em informação. A reutilização de elementos comumente faz uso de padrões de interoperabilidade pré-estabelecidos por comunidades ou organizações. Isso ocorre nos artigos de [Costagliola et al. 2006, del Blanco et al. 2012, Drira et al. 2011, Queirós et al. 2011, Sirkiä and Haaranen 2017].

Já nos artigos de [Galanis et al. 2014, Phankokkruad and Woraratpanya 2009] não é uma ação de troca com finalidade de reutilização, mas sim um provimento de uma maneira para que outros *softwares* interajam com os LMSs construídos ou modificados por eles. Fica nítido nesses exemplos uma dualidade onde o significado de interoperabilidade varia entre uma estrutura sintática compartilhada com finalidade de reutilização e uma estrutura de propagação de informações.

Outros estudos apresentam um meio-termo relativo aos polos dessa dualidade. Seja estabelecendo a sua própria estrutura sintática com a criação de ontologias ou utilização de tecnologias amplamente adotadas para a comunicação de dados entre sistemas Web, como é o caso dos artigos [García and Pariente 2009, Govaerts et al. 2011, Muñoz et al. 2015].

#### 4.4. Quais elementos são interoperados?

A maioria dos artigos analisado buscam interoperar para reaproveitar objetos de aprendizagem, com é o caso dos artigos de [Costagliola et al. 2006, del Blanco et al. 2012, Drira et al. 2011, García and Pariente 2009, Govaerts et al. 2011]. Também figuram como elementos interoperados perfis de usuários [Muñoz et al. 2015], portfólios de alunos [Queirós et al. 2011], atividades interativas [Sirkiä and Haaranen 2017], dados de ferramentas de aprendizagem [Galanis et al. 2014] e dados do esquema relacional do LMS [Phankokkruad and Woraratpanya 2009].

#### 4.5. Quais padrões de interoperabilidade foram utilizados?

Mais comumente, os elementos interoperados são dados e metadados estruturados de forma complexa, obedecendo a padrões criados por comunidades ou organizações. O padrão mais recorrente nos artigos analisados é o SCORM, mas também é possível observar com certa frequência o uso do padrão LTI e com menor frequência o uso dos padrões IEEE LOM, IMS-CP, IMS-LD, IMS-LIP, IMS-ePortfolio e Leap2a.

No entanto, outras duas abordagens mostraram-presentes. A primeira, a criação de uma ontologia para determinar a estrutura da comunicação, inclusive de forma semântica. A segunda, a utilização de tecnologias Web como REST e SOA desconsiderando não só questões semânticas, mas apresentando limitações sintáticas na forma como os dados são entregues.

#### 4.6. Quais são os problemas em aberto apresentados por essas pesquisas?

A maioria dos artigos analisados colocam como problemas em aberto questões relativas ao teste o extensão dos *softwares* apresentados nesses estudos, ou não apresentam problemas em aberto. Essas questões em aberto pouco contribuem para o entendimento dos caminhos que outros pesquisadores podem tomar para contribuir com o desenvolvimento da interoperabilidade em LMSs. Outros autores, a exemplo de [del Blanco et al. 2012] colocam como problemas em aberto a avaliação de abordagens educacionais através de elementos interoperados, como vídeos, jogos e atividades.

O artigo de [Drira et al. 2011] tem por objetivo permitir que a mesma pedagogia seja executada em diferentes sistemas por intermédio da interoperabilidade de objetos de aprendizagem. Nesse contexto, os autores argumentam analisar o LMS em tempo de execução, por meio de técnicas de *tracing* apresenta-se como uma oportunidade de pesquisa. De modo que o usuário poderia ser alertado sobre possíveis adequações para a melhoria dos cursos ofertados.

Já [Galanis et al. 2014] argumenta que é um desafio encorajar desenvolvedores a produzirem ferramentas interoperáveis. E que, existem oportunidades a serem exploradas com respeito à integração de dados de ferramentas de secretaria com o LMS. Escalabilidade, armazenamento de sessão e descoberta de conteúdos de *smart learning* são oportunidades de pesquisas apresentadas no artigo [Sirkiä and Haaranen 2017].

Lidar com direitos autorais de elementos interoperáveis é uma destaque feito por [Drira et al. 2011]. Por fim, [Govaerts et al. 2011] lista como problemas em aberto: avaliar a usabilidade e a utilidade de LMS baseados em mash-up; desenvolver padrões e diretrizes para a criação de *widgets* de aprendizagem; explorar novas formas de integração de dados e serviços de aprendizagem; e abordar questões de segurança e privacidade em LMS baseados em mash-up.

### 5. Conclusões

Esse artigo apresentou uma revisão bibliométrica da literatura sobre interoperabilidade em LMSs com o objetivo de buscar de elementos que possam escrever a evolução dos estudos sobre interoperabilidade nos últimos anos. Para tanto foi apresentada uma compreensiva fundamentação teórica sobre interoperabilidade e seus desafios. Além da discussão sobre a necessidade desse estudo comparando-o com trabalhos relacionados.

Metodologicamente, esse artigo faz uso de métodos quantitativos bibliométricos para a compilação, busca e pre-processamento e análise dos dados. Os métodos foram escolhidos de acordo com as sei perguntas de pesquisa: 1. Quais são as pesquisas mais relevantes quando se trata de interoperabilidade em LMS?; 2. Em quais veículos essas pesquisas foram publicadas?; 3. Quais são os objetivos da interoperabilidade nessas pesquisas?; 4. Quais Elementos são interoperados?; 5. Quais padrões de interoperabilidade foram utilizados?; 6. Quais são os problemas em aberto apresentados por essas pesquisas?.

Os resultados indicam uma produção científica baixa à respeito da temática o que vai na contramão do relato de crescimento de adoção de interoperabilidade em diversos setores da atividade econômica a uma taxa de 49% em dois anos [Accenture 2022]. Os motivos dessa suposta falta de interesse dos pesquisadores apresenta-se como uma oportunidade de pesquisa para trabalhos futuros. Também é possível concluir que existe uma preferência por interoperar elementos informacionais complexos, como atividades e portfólios, no lugar de dados brutos. Nisso, a pesquisa pesquisa sobre interoperabilidade em LMSs se aproxima da pesquisa sobre interoperabilidade em *softwares* da área de saúde. Ainda que, os padrões de armazenamento e reutilização de informações utilizados nos LMSs sejam muito mais simples do que o especificado no padrão ISO 13606 da área de *eHealth*, por exemplo.

A pesquisa sobre interoperabilidade em LMSs volta a se aproximar de outras áreas de aplicação de conceitos de interoperabilidade, como em sistemas ciber-físicos [Diallo et al. 2011], concentrando-se em definições de dados e suas respectivas estruturas. Dessa forma, é necessário questionar os problemas em aberto encontrados durante a análise dos dados. Uma vez que uma definição de dado ou de padrão de comunicação é criada em um LMS, para que o mesmo interopere, ao menos um outro LMS precisa atender a essa mesma definição. Nesse quesito, faz mesmo sentido ter tantos padrões de interoperabilidade em uma mesma área? Faz sentido criar outros padrões de interoperabilidade se a cada novo padrão criado surge um novo empecilho para a interoperabilidade com outro LMS?

Por fim, a sugestão de incentivar desenvolvedores a produzirem LMSs interoperáveis precisa ponderar os custos de desenvolvimento, adaptação de *software* legado e, sobretudo, adesão dos usuários. Uma baixa adesão, somada à complexidade técnica e a um baixo quantitativo de oportunidades de interoperar podem ser motivos suficientes para que os desenvolvedores sejam desestimulados a usar qualquer padrão interoperável.

## 6. Disponibilidade de Artefatos

A base de dados no formato de *data frame*, o *script* de execução das análises e a planilha de avaliação manual dos artigos estão disponíveis, exclusivamente no Figshare. O acesso pode ser feito através do DOI [10.6084/m9.figshare.23701434](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23701434).

## Referências

- (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3):429–472.
- (2016). On the complexity of interoperability. *Simulation Series*, 48(5):73–78.

- Accenture (2022). Value untangled: Accelerating radical growth through interoperability.
- Alier, M. F., Guerrero, M. J. C., González, M. Á. C., Peñalvo, F. J. G., and Severance, C. (2010). Interoperability for lms: the missing piece to become the common place for e-learning innovation. *International Journal of Knowledge and Learning*, 6(2-3):130–141.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. 11(4):959–975.
- Bakhouyi, A., Dehbi, R., Talea, M., and Hajoui, O. (2017). Evolution of standardization and interoperability on e-learning systems: An overview. In *2017 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, pages 1–8.
- Bard, G. V. (2007). Spelling-error tolerant, order-independent pass-phrases via the Damerau-Levenshtein string-edit distance metric. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, 68:117–124.
- Bradley, V. M. (2021). Learning management system (lms) use with online instruction. *International Journal of Technology in Education*, 4(1):68–92.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., and Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics*, 5(1):146–166.
- Cole, J. R. and Cole, S. (1972). Citation analysis suggests that only a few. 178:368 – 376.
- Coombes, P. H. and Nicholson, J. D. (2013). Business models and their relationship with marketing: A systematic literature review. *Industrial Marketing Management*, 42(5):656–664.
- Costagliola, G., Ferrucci, F., and Fuccella, V. (2006). Scorm run-time environment as a service. In *Proceedings of the 6th international conference on Web engineering*, pages 103–110.
- del Blanco, Á., Torrente, J., Serrano, Á., Martínez-Ortiz, I., and Fernández-Manjón, B. (2012). Deploying and debugging educational games using e-learning standards. In *Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 1–7. IEEE.
- Diallo, S. Y., Herencia-Zapana, H., Padilla, J. J., and Tolk, A. (2011). Understanding interoperability. *Emerging M and S Applications in Industry and Academia Symposium 2011, EAIA 2011 - 2011 Spring Simulation Multiconference*, pages 84–91.
- Drira, R., Laroussi, M., Le Pallec, X., and Warin, B. (2011). Contextualizing learning scenarios according to different learning management systems. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(3):213–225.
- Galanis, N., Alier, M., Casany, M. J., Mayol, E., and Severance, C. (2014). Tsugi: a framework for building php-based learning tools. In *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, pages 409–413.

- García, R. and Pariente, T. (2009). Interoperability of learning objects copyright in the luisa semantic learning management system. *Information Systems Management*, 26(3):252–261.
- Garfield, E. (1979). Is citation analysis a legitimate evaluation tool? *Scientometrics*, 1(4):359–375.
- Govaerts, S., Verbert, K., Dahrendorf, D., Ullrich, C., Schmidt, M., Werkle, M., Chatterjee, A., Nussbaumer, A., Renzel, D., Scheffel, M., et al. (2011). Towards responsive open learning environments: the role interoperability framework. In *Towards Ubiquitous Learning: 6th European Conference of Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2011, Palermo, Italy, September 20-23, 2011. Proceedings 6*, pages 125–138. Springer.
- Leal, J. P. and Queirós, R. (2012). A comparative study on lms interoperability. In *Virtual Learning Environments: Concepts, Methodologies, Tools and Applications*, pages 1613–1630. IGI Global.
- Macroberts, M. H. and Macroberts, B. R. (1987). Testing the Ortega hypothesis: Facts and artifacts. *Scientometrics*, 12(5-6):293–295.
- Marcos-Pablos, S. and García-Peñalvo, F. J. (2018). Decision support tools for SLR search string construction. *ACM International Conference Proceeding Series*, pages 660–667.
- Martin, B. R. (2012). The evolution of science policy and innovation studies. *Research Policy*, 41(7):1219–1239.
- Muñoz, A., Lasheras, J., Capel, A., Cantabella, M., and Caballero, A. (2015). Ontosakai: On the optimization of a learning management system using semantics and user profiling. *Expert Systems with Applications*, 42(15-16):5995–6007.
- Phankokkruad, M. and Woraratpanya, K. (2009). Web services for learning management systems: Communication architecture. In *2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, pages 403–408. IEEE.
- Queirós, R., Oliveira, L., Leal, J. P., and Moreira, F. (2011). Integration of eportfolios in learning management systems. In *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2011: International Conference, Santander, Spain, June 20-23, 2011. Proceedings, Part V 11*, pages 500–510. Springer.
- Sirkiä, T. and Haaranen, L. (2017). Improving online learning activity interoperability with acos server. *Software: Practice and Experience*, 47(11):1657–1676.
- Thomas, I. and Nejme, B. A. (1992). Definitions of tool integration for environments. *IEEE Software*, 9(2):29–35.
- Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, D. R. J. (2007). A Survey on Interoperability Measurement. *Twelfth International Command and Control Research and Technology Symposium (12th ICCRTS)*, page 28.
- Van Raan, A. (1996). Advanced Bibliometric Methods As Quantitative. *Science*, 36(3):397–420.
- Wasserman, A. L. (1990). Tool integration in software engineering environments. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 467 LNCS:137–149.

Wicks, M. N. and Dewar, R. G. (2007). A new research agenda for tool integration.  
*Journal of Systems and Software*, 80(9):1569–1585.