

Sistemas de informação para laboratórios científicos: uma revisão narrativa

Information systems for scientific laboratories: a narrative review

Sistemas de información para laboratorios científicos: una revisión narrativa

Recebido: 18/02/2022 | Revisado: 25/02/2022 | Aceito: 01/03/2022 | Publicado: 11/03/2022

Gabriele Dani Bonetti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8973-2862>
Universidade de Caxias do Sul, Brasil
E-mail: gdani@ucs.br

Fernanda Pessi de Abreu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5006-4833>
Universidade de Caxias do Sul, Brasil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: fpabreu1@ucs.br

Pedro Lenz Casa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4666-9434>
Universidade de Caxias do Sul, Brasil
E-mail: plcasa@ucs.br

Scheila de Avila e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3472-3907>
Universidade de Caxias do Sul, Brasil
E-mail: sasilva6@ucs.br

Mirian Salvador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9404-0262>
Universidade de Caxias do Sul, Brasil
E-mail: msalvado@ucs.br

Resumo

Em laboratórios científicos são criados dados que necessitam de gerenciamento apropriado. Nesse sentido, surgiram os sistemas de informação aplicados para esses ambientes, desde cadernos físicos de anotação até plataformas eletrônicas personalizadas. Com o passar do tempo, os instrumentos físicos de anotação passaram a não ser mais suficientes para suprir a demanda existente em ambientes dinâmicos de pesquisa. Assim, este trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão narrativa sobre os elementos-chave para o desenvolvimento de sistemas de informação eficientes aplicados a laboratórios científicos. Ainda, salienta-se que é imprescindível a construção de sistemas personalizados que consigam atender de forma específica as necessidades dos usuários. Este trabalho também exemplifica a contribuição de sistemas de informação digitais para pesquisas científicas nas áreas das ciências da vida e saúde. Para isso, os principais conceitos e fundamentos envolvidos no desenvolvimento de sistemas de informação aplicados à pesquisa científica são descritos, podendo ser utilizados para o planejamento de novas plataformas.

Palavras-chave: Sistemas de informação; Sistemas de informação em laboratório; Gestão da informação em saúde; Sistemas de gerenciamento de base de dados; Software de aplicações computacionais.

Abstract

Data originated from scientific laboratories require appropriate management. In this sense, there are information systems tailored for this type of working environment, ranging from physical notebooks to personalized electronic platforms. Over time, physical annotation instruments have become no longer sufficient to meet the existing demand in more dynamic research environments. In this context, the objective of this work was to present a narrative review on the key elements surrounding the development of efficient information systems applied to scientific laboratories. In this paper, it is emphasized how essential it is to build customized systems that can specifically meet the needs of the user. This paper also exemplifies the contribution of digital information systems towards research in the areas of life and health sciences. For this, the main concepts and principles involved in the development of scientific research information systems are described, which may be used in the planning stage of new platforms.

Keywords: Information systems; Laboratory information systems; Health information management; Database management systems; Computer applications software.

Resumen

En los laboratorios científicos se crean datos que necesitan una gestión adecuada. En este sentido, surgieron sistemas de información aplicados a estos entornos, desde cuadernos físicos hasta plataformas electrónicas personalizadas. Con

el tiempo, los instrumentos de anotación física ya no son suficientes para satisfacer la demanda existente en proyectos de investigación dinámicos. Así, este trabajo tuvo como objetivo presentar una revisión narrativa sobre los elementos clave para el desarrollo de sistemas de información eficientes aplicados a los laboratorios científicos. Aún así, se enfatiza que es fundamental construir sistemas personalizados que puedan satisfacer específicamente las necesidades de los usuarios. Este trabajo también ejemplifica la contribución de los sistemas de información digital a la investigación científica en las áreas de las ciencias de la vida y la salud. Para ello, se describen los principales conceptos y fundamentos que intervienen en el desarrollo de sistemas de información aplicados a la investigación científica y que pueden ser utilizados para la planificación de nuevas plataformas.

Palabras clave: Sistemas de información; Sistemas de información de laboratorio; Gestión de información de salud; Sistemas de gestión de bases de datos; Software de aplicación informática.

1. Introdução

No ambiente de pesquisa científica, o compartilhamento de ideias, evidências e descobertas é essencial para o progresso do conhecimento. No cenário atual de apoio ao movimento Open Science (Gallagher et al., 2020) (que visa a disponibilidade gratuita e integral de dados, recursos, metodologias, algoritmos, artigos e transparência no processo de revisão), entende-se que o gerenciamento e organização dos dados brutos de laboratório deve ser uma preocupação dos pesquisadores (Surkis & Read, 2015). Os sistemas de informação para laboratórios científicos (SILC) são uma alternativa para a adoção de práticas alinhadas, não apenas aos princípios de Open Science, mas também ao rigor relacionado à qualidade dos dados que se espera de uma pesquisa científica (Office of The Director, NIH, 2020). O contexto de Open Science incentiva o uso de modelos e padrões modernos de troca de dados, permitindo que os pesquisadores utilizem uma camada comum de interoperabilidade e análise. Desse modo, os SILC's podem contribuir para que os pesquisadores mantenham a proveniência de dados e modelos e, adicionalmente, os SILC's podem fornecer análises exclusivas de dados e suporte ao design de informações (Anderson et al., 2007).

Uma das primeiras publicações sobre o gerenciamento digital de dados de pesquisa científica foi em 1985, a qual relata que nenhum dos sistemas disponíveis na época continha todos os recursos necessários para os laboratórios. Além disso, são mencionados problemas atemporais como segurança dos dados e aceitação por pesquisadores mais tradicionais (Kanare, 1985). Os sistemas científicos de gerenciamento de fluxo de trabalho simplificam a utilização de ferramentas computacionais específicas, auxiliam na automação de tarefas e na reprodutibilidade das análises (Amorim et al., 2017). É notório o papel de sistemas de informação eficientes e adequados para novos insights na ciência (Dirnagl & Przesdzing, 2016; Nussbeck et al., 2014). Nessa conjuntura, o presente trabalho tem como finalidade apresentar uma revisão inarrativa relacionada aos sistemas de informação aplicados para laboratórios científicos, abordando conceitos sobre as tecnologias e metodologias computacionais associadas ao seu desenvolvimento. Exemplos de SILC's na área das ciências da vida e da saúde são também descritos.

2. Metodologia

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa, sobre sistemas de informação aplicados a laboratórios científicos. Os trabalhos de revisão narrativa possuem como finalidade abranger informações publicadas anteriormente, apresentando uma perspectiva ampla e completa de uma temática em questão, assim esses trabalhos tornam-se um importante instrumento educacional (Rother, 2007; Green et al., 2006). A revisão abrangeu artigos científicos, livros, monografias, teses e dissertações publicados e disponíveis nos repositórios: PubMed, ScienceDirect, Scielo, Google Acadêmico, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, Biblioteca Virtual de e-books da Universidade de Caxias do Sul, bem como demais plataformas de buscas. De forma sintetizada, os textos utilizados estão apresentados na Tabela 1, sendo que foram escolhidos de forma arbitrária, sem utilização de critérios sistemáticos.

Tabela 1: Compilação dos materiais bibliográficos utilizados para fundamentação da revisão.

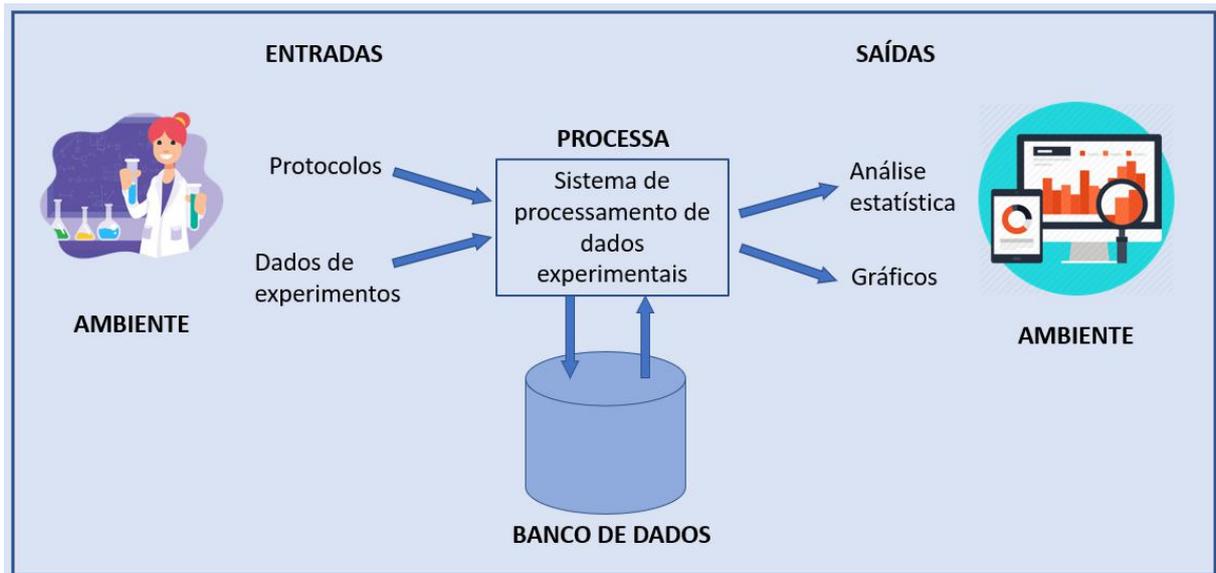
Autor e Ano	Título	Tipo da Obra	Assunto
Date (2004)	Introdução a Sistemas de Bancos de Dados	Livro	
Elmasri & Navathe (2010)	Sistemas de Banco de Dados	Livro	
Heuser (2008)	Projeto de Banco de Dados: Volume 4	Livro	Fundamentos e implicações no desenvolvimento e utilização de sistemas de informação, bancos de dados computacionais e metodologias de desenvolvimento de software
Mannino et al. (2008)	Projeto, Desenvolvimento de Aplicações e Administração de Banco de Dados	Livro	
Pressman et al. (2016)	Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional	Livro	
Setzer & Silva (2005)	Bancos de Dados: Aprenda o que São, Melhore seu Conhecimento, Construa os Seus	Livro	
Stair & Reynolds (2020)	Principles of Information Systems	Livro	
Dirnagl & Przesdzing (2016)	A pocket guide to electronic laboratory notebooks in the academic life sciences	Artigo	
Ferreira (2019)	Application of the LabTablet app in a laboratory environment: Case study I3S	Dissertação de Mestrado	
Haried et al. (2019)	Evaluation of health information systems research in information systems research: A meta-analysis	Artigo	
Kanza et al. (2017)	Electronic lab notebooks: Can they replace paper?	Artigo	Cadernos eletrônicos de laboratório (Electronic laboratory notebook)
Kumar (2013)	Electronic Lab Notebooks-Collaborative Tool for Managing Knowledge in Pharmaceutical Research and Development.	Artigo	
Machina & Wild (2013)	Laboratory Informatics Tools Integration Strategies for Drug Discovery: Integration of LIMS, ELN, CDS, and SDMS	Artigo	
Park et al. (2012)	Anatomic Pathology Laboratory Information Systems: A Review	Artigo	

Fonte: Autores (2022).

3. Fundamentos Computacionais de Sistemas de Informação

Um sistema de informação baseado em computadores (CBIS, computer based information system) é um conjunto único de hardware, software, bancos de dados, telecomunicações, pessoas e procedimentos configurados para coletar, manipular, armazenar e processar dados em informações (Stair & Reynolds, 2020). Assim, a concepção de um sistema computacional envolve a definição da melhor forma de armazenar essas informações. Além disso, os usuários realizam operações sobre essa coleção de dados, tais como adicionar (inserir) novos dados, recuperar (consultar) dados armazenados e atualizar ou modificar a estrutura dos dados eliminando informações desnecessárias (Setzer & Silva, 2005). A Figura 1, utilizando como exemplo procedimentos de um laboratório científico, ilustra o funcionamento dos sistemas de informação.

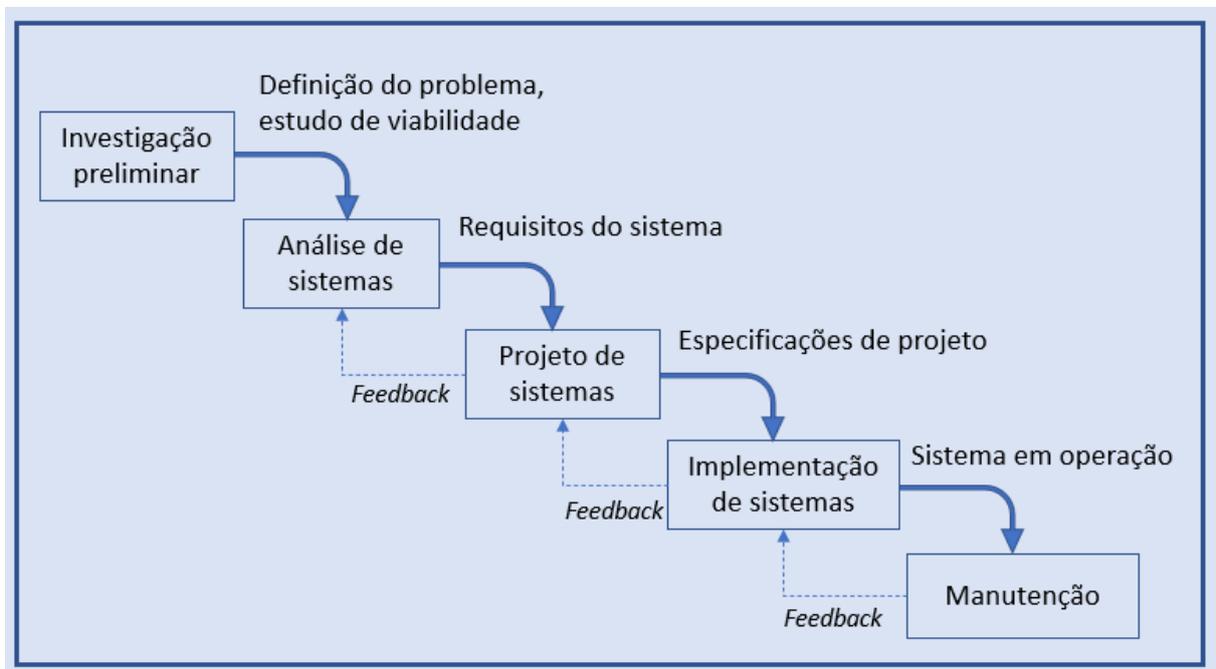
Figura 1: Visão Geral do Sistema de Processamento de Dados Experimentais.



Fonte: Adaptado de Mannino et al. (2008).

O desenvolvimento de sistemas inclui fases diferenciadas desde a sua concepção até a finalização do produto (Figura 2). Não há um único padrão para as fases específicas do ciclo de vida do produto de software. O ciclo de vida tradicional é conhecido como o modelo ou metodologia em cascata, visto que o resultado de cada etapa flui para a próxima fase.

Figura 2: Fases de desenvolvimento de sistemas.



Fonte: Adaptado de Mannino et al. (2008).

Para a maioria dos sistemas, a fronteira entre fases não é clara e há um considerável vaivém entre as fases. A principal contribuição do modelo tradicional é a descrição do tipo de atividade e o acréscimo de detalhes até que surja um sistema em operação. As fases de desenvolvimento de software são detalhadas na Tabela 2. A concepção de um software envolve muito

mais que aspectos técnicos relacionados à tecnologia, envolve também questões de entendimento do problema, definição de funcionalidades e interação com o usuário (Mannino et al., 2008).

Tabela 2: Etapas de desenvolvimento de software e seus objetivos.

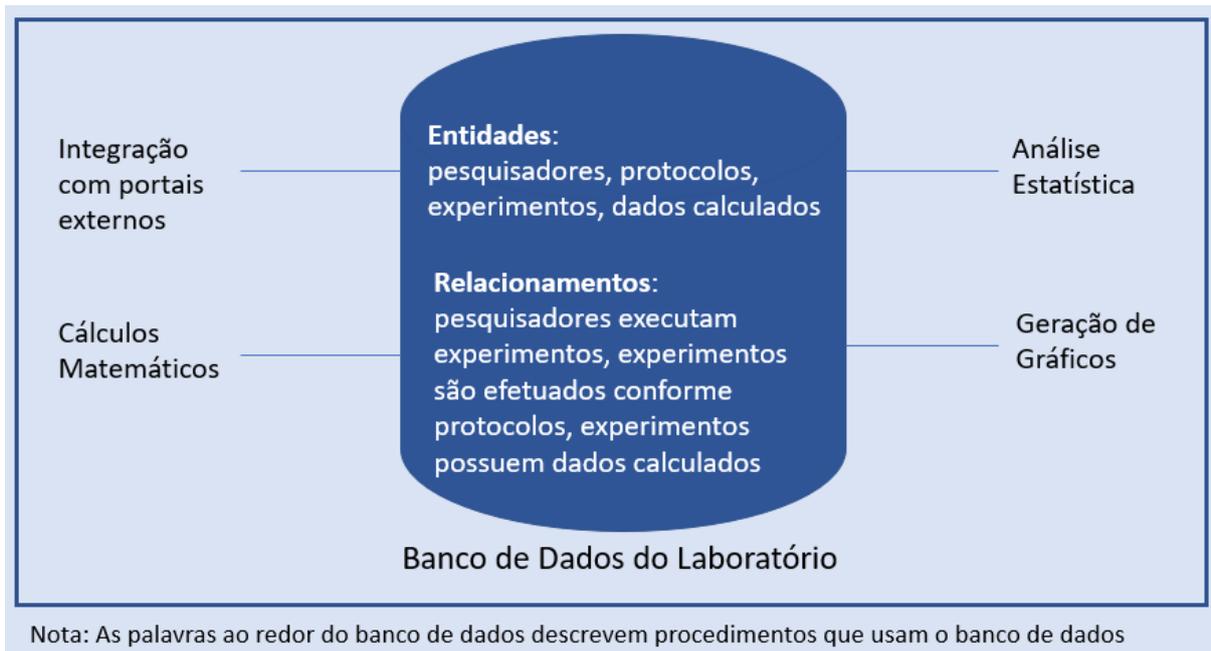
Etapas no Desenvolvimento de Software	Objetivo da Etapa
Investigação Preliminar	Produz uma definição do problema e um estudo de viabilidade. A definição do problema inclui objetivos, restrições e escopo do sistema. O estudo de viabilidade identifica os custos e benefícios do sistema. Se o sistema é viável, é dada a aprovação para começar a análise de sistemas.
Análise de Sistemas	Apresenta os requisitos ao descrever processos, dados e interações com o ambiente. Técnicas de diagramação são usadas para documentar processos, dados e interações com o ambiente. Para apresentar os requisitos, o sistema atual é estudado e são entrevistados os usuários do sistema proposto.
Projeto de Sistemas	Produz um plano para implementar eficientemente os requisitos. As especificações de projeto são criadas para processos, dados e interação com o ambiente. As especificações de projeto focalizam as escolhas para otimizar os recursos considerando as restrições.
Implementação de Sistemas	Produz um código executável, bancos de dados e documentação para usuários. Para implementar o sistema, as especificações de projeto são codificadas e testadas.
Manutenção	Produz correções, mudanças e melhorias em um sistema de informação em operação. A fase de manutenção começa quando um sistema de informação se torna operativo. A fase de manutenção é fundamentalmente diferente das outras fases porque abrange atividades de todas as outras fases. A fase de manutenção acaba quando um novo sistema passa a ter um custo justificável. Devido aos altos custos fixos de desenvolver novos sistemas, a fase de manutenção pode durar décadas.

Fonte: Adaptado de Mannino et al. (2008).

Um dos elementos que constituem um sistema digital são os bancos de dados. Um banco de dados computacional (BD) é um repositório de informações que representam aspectos do mundo real, possuem coerência lógica entre si e inferem significado e interesse para um grupo de usuários. Assim, entende-se que um banco de dados é uma coleção estruturada de fatos ou dados. O banco de dados é o recipiente de mais alto nível que pode ser usado para agrupar todos os objetos e códigos que servem a um propósito comum (Elmasri & Navathe, 2010).

A estrutura de um BD é formada por entidades e suas propriedades, sendo que há relacionamentos entre entidades (Figura 3). A entidade representa o modelo de um objeto normalmente existente na realidade humana, sobre o qual se deseja armazenar informações dentro de uma base de dados (Heuser, 2008). No contexto deste trabalho, são exemplos de entidades os protocolos de experimentação e os dados resultantes da execução de um experimento. Em relação ao objeto que as entidades representam são associadas propriedades que serão utilizadas no armazenamento da informação (Date, 2004). Pode ser considerado uma propriedade, por exemplo, a data de realização de um experimento ou as etapas de aplicação de um protocolo. Já os relacionamentos podem ser definidos como um conjunto de associações entre as entidades (tabelas) que compõem uma base de dados (Heuser, 2008). Um relacionamento que pode ser exemplificado é o do experimento e seus valores de coleta e os resultados da aplicação de conceitos de análise estatística sobre os mesmos.

Figura 3: Exemplo de estrutura de banco de dados.



Fonte: Adaptado de Mannino et al. (2008).

O desenvolvimento de banco de dados envolve três etapas: Modelagem de Dados Conceitual, Projeto Lógico de Banco de Dados e Projeto Físico de Banco de Dados. A fase de modelagem de dados conceitual utiliza os requisitos de dados. Nessa fase são criados diagramas que representam as entidades e os relacionamentos. A fase do projeto lógico de banco de dados transforma o modelo conceitual de dados em um formato compreensível por sistemas gerenciadores de banco de dados, gerando as tabelas que conterão os dados. A fase de projeto físico de banco de dados, trata da implementação, ou seja, como as relações descritas no esquema conceitual são realmente armazenadas nos dispositivos computacionais (Mannino et al., 2008; Ramakrishnan et al., 2007).

No contexto da pesquisa científica, os bancos de dados são repositórios de informações coletadas em experimentos científicos, literatura e análises computacionais, referente a dados ou medidas coletadas a partir de fontes primárias ou secundárias. Tomando a área biológica como exemplo, os primeiros bancos surgiram no início da década de 1970, na qual pesquisadores, influenciados pelo crescimento das ciências da computação e por causa do acúmulo de dados biológicos, começaram a agrupar resultados em portais de livre acesso (Cooray, 2012). O primeiro banco de dados biológicos surgiu em 1971 e foi chamado de Protein Data Bank (PDB) (Bernstein et al., 1977), tendo como objetivo a disponibilização de informações sobre a estrutura de várias proteínas. Depois disso, bancos de dados com os mais variados objetivos foram criados, como aqueles focados em genomas, vias metabólicas, famílias de proteínas, compostos, entre outros, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Bancos de Dados Biológicos.

Banco de Dados	Descrição	URL do Banco de Dados
NCBI	National Center for Biotechnology Information. Repositório de informações genômicas e biomédicas (NCBI Resource Coordinators, 2018).	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/
CAZy	Possui como objetivo a análise e disponibilização de informações genômicas, estruturais e bioquímicas sobre enzimas ativas por carboidratos (CAZymes) (Lombard et al., 2014).	http://www.cazy.org/
GenBank	Maior base pública de dados de sequências genéticas, onde podem-se extrair sequências de genes, proteínas, genomas completos, dados de homologia e expressão gênica, além de possuir informações sobre os artigos relacionados a cada descoberta genética (Sayers et al., 2021).	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank
Pfam	Vasta coleção de famílias de proteínas (Punta et al., 2012).	https://pfam.xfam.org
PDB	Informações sobre estrutura 3D de proteínas, ácidos nucleicos (Berman et al., 2000).	https://www.rcsb.org/
UNIPROT	Alto nível de anotação de proteínas, como suas funcionalidades, estrutura, variações, entre outros (The UniProt Consortium, 2015).	https://www.uniprot.org
KEGG	Integração de genômica, química e informações sistêmicas funcionais. Provê principalmente um catálogo de genes de sequências genômicas completas (Kanehisa et al., 2014).	https://www.genome.jp/kegg
PROSITE	Banco de dados de famílias e domínios de proteínas (Sigrist et al., 2013).	https://prosite.expasy.org/

Fonte: Autores (2022).

Os bancos de dados constituem uma camada de software não visível pelo usuário final. O usuário dos sistemas acessa os dados por meio de uma interface de acesso ao usuário (UI). O projeto da UI (também denominado projeto de usabilidade) incorpora elementos estéticos (layout, cor, imagens, mecanismos de interação), elementos ergonômicos (layout e o posicionamento de informações, metáforas, navegação da UI) e elementos técnicos (padrões UI, componentes reutilizáveis) (Pressman et al., 2016).

A meta do projeto da UI é definir um conjunto de objetos e ações de interface (e suas representações na tela) que permitam a um usuário realizar todas as tarefas definidas para atender a todas as metas de usabilidade estabelecidas para o sistema. Assim, ele usualmente é dividido em etapas que podem ser agrupadas em quatro grandes grupos: análise e modelagem da interface, projeto de interface, construção de interface e validação da interface. A análise de interfaces se concentra na determinação do perfil dos usuários que vão interagir com o sistema. Nessa etapa, são analisados os níveis de habilidades, o conhecimento da área e a receptividade geral em relação ao novo sistema a fim de definir categorias de usuários. Para cada categoria de usuário, é feito o levantamento de requisitos. Após a definição dos requisitos gerais é realizada a análise das tarefas que o usuário realiza para alcançar os objetivos do sistema. Na análise do ambiente do usuário concentra-se nas características do ambiente de trabalho físico (local, iluminação, restrições posicionais). Por fim, a etapa de validação da interface visa verificar se: (i) a interface apresenta corretamente todas as tarefas de usuário, (ii) atende a todos os requisitos gerais dos usuários, (iii) apresenta facilidade de uso e aprendizado da interface e (iv) há aceitação do usuário da interface como uma ferramenta útil no seu trabalho (Pressman et al., 2016).

4. Plataformas de Gerenciamento de Dados em Laboratórios

O desenvolvimento de sistemas de informação aplicados a laboratórios científicos visa atender de forma mais específica as necessidades da pesquisa (Kanza et al., 2017; Machina & Wild, 2013). Dentre os sistemas desenvolvidos, cita-se

como exemplo os cadernos eletrônicos de laboratório (do inglês electronic laboratory notebook - ELN). A utilização desses, assim como o uso de outras plataformas eletrônicas de gerenciamento de dados, apresenta vantagens e limitações que serão exploradas nesta seção.

Quando analisadas as vantagens destaca-se a usabilidade flexível desses sistemas, permitindo aos cientistas integração e conexão com outras plataformas. Além disso, auxiliam na colaboração entre colegas de trabalho por meio do compartilhamento de projetos e seus resultados experimentais, principalmente, quando a equipe está separada geograficamente. Os dados podem ser sincronizados com dispositivos portáteis, como tablets e smartphones, o que oferece novos pontos de acesso e compartilhamento. Os ELNs eliminam a necessidade de transcrição manual das anotações físicas, visto que os dados são inseridos no sistema gradativamente ao longo da execução da pesquisa, proporcionando o monitoramento do andamento da pesquisa. Nesse aspecto, por meio da acessibilidade aos dados, documentos e atividades realizadas pelos integrantes da equipe, ocorre uma gestão do ambiente organizacional otimizada e inteligente. O abandono de anotações em manuscritos físicos minimiza problemas de elegibilidade, bem como a chance de perda ou danificação. Outro aspecto importante é o armazenamento independente de espaço físico e a busca por informações de modo específico (Ferreira, 2019; Machina & Wild, 2013).

Os ELNs possibilitam a criação de um ecossistema de softwares através da integração entre outras plataformas. Nesse caso, repositórios ou bancos de dados podem ser associados ao ambiente de acordo com as linhas de pesquisa do laboratório. De forma complementar, os ELNs podem estar conectados com outros sistemas de informática utilizados nos laboratórios, por exemplo equipamentos de instrumentação analítica, programas de modelagem e simulação, sistemas de inventário, entre outros. Por fim, essa dinamização possibilita a geração de relatórios de modo facilitado, auxilia a reprodutibilidade dos testes e experimentos, e promove a reutilização das informações geradas (Ferreira, 2019; Kanza et al., 2017; Machina & Wild, 2013a, 2013b).

Ainda que a utilização de ELNs seja promissora e atrativa para os pesquisadores, uma das barreiras que impede seu uso é a segurança dos dados armazenados eletronicamente. Como exemplificado por Kanza et al. (2017), as políticas de privacidade são reguladas de modo diferente em cada plataforma. De modo complementar, o estudo ainda alerta que os pesquisadores devem ter conhecimento sobre as políticas de privacidade e assegurar que essas garantam que os dados gerados por suas pesquisas estejam seguros e não possam ser acessados por terceiros (Kanza et al., 2017).

Em relação às limitações que poderiam dificultar a adesão aos ELNs, Kanza et al. (2017) aponta o orçamento limitado dos laboratórios de pesquisa. Nesse sentido, estão incluídas prováveis despesas com o custo de acesso à plataforma ou compra da licença de uso do software, manutenção e suporte técnico. Apesar de existirem opções gratuitas, essas normalmente não são personalizadas e os usuários têm receio que as plataformas “desapareçam”, levando consigo os dados de suas pesquisas, visto a falta de recursos para manutenção. Outros aspectos destacados como barreiras para a implementação de ELNs são as mudanças na rotina do laboratório e o tempo de implementação dos sistemas (Kanza et al., 2017). Em conclusão, Dirnagl e Przesdzinng (2016) salientam que os ELNs são substitutos adequados para as versões tradicionais de papel, sendo relevantes para pesquisas científicas modernas (Dirnagl & Przesdzinng, 2016).

5. Sistemas de Informação para Laboratórios Científicos na Área da Vida e Saúde

A pesquisa científica gera grandes quantidades de informações. Essas são, normalmente, oriundas de diferentes abordagens metodológicas que resultam dados finais desuniformes. Para o registro dessas informações, os pesquisadores experimentais em ciências da vida e saúde, por exemplo, utilizam um caderno de laboratório. A organização e compilação dessas informações quando contidas em instrumentos físicos de anotação, como blocos e planilhas de papel, estão sujeitas a perda e deterioração, acarretando possíveis dados ausentes ou conclusões precipitadas. Além disso, observa-se que os

pesquisadores investem cerca de 20-40% do seu tempo procurando informações, realizando atividades administrativas e fazendo anotações em cadernos de laboratório (Haried et al., 2019; Kumar, 2013).

Atualmente, os dados são quase exclusivamente digitais. Assim, os sistemas de informação de base computacional fornecem ferramentas para registrar, anotar, compartilhar, processar e armazenar todas as informações que impulsionam cumulativamente o progresso nas ciências da vida (Dirnagl & Przesdzing, 2016). Também, é importante ressaltar que as pesquisas envolvem colaboração entre diferentes pesquisadores, esses podendo ser de outros laboratórios da mesma ou de outras instituições. Visto a dinâmica presente em laboratórios de pesquisa é evidente a necessidade da utilização de sistemas de informação (Ferreira, 2019; Kumar, 2013).

A relação entre sistemas de informação e laboratórios científicos de pesquisa nas áreas da vida e saúde proporciona um novo cenário para o gerenciamento dos dados nesse setor. A metanálise realizada por Haried e colaboradores (2017) averiguou 126 artigos científicos publicados entre 2000 e 2015 relacionados à pesquisa de sistemas de informação em saúde. Entre os trabalhos selecionados, nenhum abordou simulações experimentais, e somente uma publicação abordou experimentos de laboratório (Haried et al., 2019). Assim, a revisão aqui apresentada torna-se um subsídio para desenvolvimento futuro de ferramentas para essa finalidade.

Uma aplicação dos sistemas de informação em laboratórios clínicos, por exemplo, está no gerenciamento das informações de biobancos, que usualmente é definido como um repositório profissional de amostras biológicas. As amostras coletadas são processadas, analisadas e adequadamente preservadas para serem compartilhadas com a comunidade científica em geral (Haried et al., 2019). As informações dos biobancos podem ser empregados em estudos de fisiopatologia, diagnósticos, dentre outras aplicações. Nesses centros de análise, a utilização de ferramentas que auxiliem no registro das amostras e informações macro e microscópicas mostra-se um elemento-chave no gerenciamento do fluxo de trabalho, elaboração e compartilhamento de relatórios (Park et al., 2012).

Um exemplo de Sistema de Informação na área da saúde no Brasil é o DATASUS (Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde), um órgão nacional que tem como finalidade coletar, processar e divulgar informações sobre saúde. Essas são disponibilizadas em uma plataforma online e aberta. Dessa maneira, podem ser utilizadas por diferentes finalidades, incluindo o ensino e a pesquisa (Grand et al., 2019; Ministério da Saúde, 2009).

No âmbito dos laboratórios de pesquisa científica, ELN's de código aberto e proprietários foram desenvolvidos. As soluções comerciais são normalmente produtos desenvolvidos para oferecer suporte facilmente a grandes laboratórios e, usualmente, suas taxas de licença não são compatíveis com orçamentos de laboratórios de pequeno e médio porte. Adicionalmente, essas soluções comerciais baseiam-se em procedimentos laboratoriais comuns e melhores práticas, que podem não se adequar bem a configurações altamente específicas. Exemplos destes softwares são STARLIMS (Abbott Informatics, 2022), Sapio (Sapio Sciences, 2022) e LabVantage SAPPHIRE (LabVantage, 2022), LabFolder (Labfolder, 2022), LabArchives (LabArchives, 2022), entre outras soluções computacionais.

Por este motivo, o desenvolvimento de soluções internas e/ou adaptação de projetos open source às suas próprias necessidades vem aumentando em laboratórios de pesquisa científica. Assim, as soluções oferecem funcionalidades que atendam às necessidades específicas dos pesquisadores. Do ponto de vista computacional, o desenvolvimento de soluções internas também permite explorar e adotar novas tecnologias, com o objetivo de definir melhores modelos de dados e melhorar o desempenho do sistema (Barillari et al., 2016; Craig et al., 2017; Riley et al., 2017).

6. Considerações Finais

As tecnologias computacionais não alteraram os princípios do método científico, mas alteraram a forma como os experimentos podem ser realizados, como os resultados podem ser obtidos e como as descobertas são compartilhadas. A

reutilização dos dados originalmente obtidos para um objetivo específico pode promover novas descobertas científicas. Para isso, o gerenciamento dos dados de forma automatizada deve ser uma rotina para os laboratórios científicos. Na presente revisão narrativa foram explanadas as principais características de SILC's. Dentre as principais limitações, salienta-se a incerteza de segurança no compartilhamento dos dados. Ainda assim, muitos são os benefícios conferidos pela aplicação dessas ferramentas, incluindo usabilidade flexível e a criação de um ambiente colaborativo de trabalho. É importante ressaltar também que sistemas desenvolvidos de forma personalizada são importantes. Um sistema que integre as necessidades de um laboratório inclui armazenamento e análise de dados experimentais. Como resultado do processamento dos dados de entrada é requerido uma forma gráfica de apresentação da informação final e análise estatística. É evidente a demanda por sistemas de informação em laboratórios científicos. Sendo assim, para elaboração de trabalhos futuros é necessário conhecimento acerca de conceitos de ciência de dados e inteligência artificial, bem como de seus fundamentos. A geração de informações sobre a aplicação dos sistemas de informação em laboratórios científicos possibilita a adequabilidade para suprir a demanda que cada laboratório possui, além disso, torna-se uma oportunidade para aceitação de novos sistemas pelos pesquisadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, bem como a Universidade de Caxias do Sul pelo suporte e oportunidade de desenvolvimento do trabalho.

Referências

- Abbott Informatics. (2022). *Sistema de gestão de informações laboratoriais (LIMS) / STARLIMS*. <https://www.informatics.abbott/int/pt/home>
- Amorim, R. C., Castro, J. A., Rocha da Silva, J., & Ribeiro, C. (2017). A comparison of research data management platforms: Architecture, flexible metadata and interoperability. *Universal Access in the Information Society*, 16(4), 851–862. <https://doi.org/10.1007/s10209-016-0475-y>
- Anderson, N. R., Lee, E. S., Brockenbrough, J. S., Minie, M. E., Fuller, S., Brinkley, J., & Tarczy-Hornoch, P. (2007). Issues in Biomedical Research Data Management and Analysis: Needs and Barriers. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 14(4), 478–488. <https://doi.org/10.1197/jamia.M2114>
- Barillari, C., Ottoz, D. S. M., Fuentes-Serna, J. M., Ramakrishnan, C., Rinn, B., & Rudolf, F. (2016). openBIS ELN-LIMS: An open-source database for academic laboratories. *Bioinformatics*, 32(4), 638–640. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv606>
- Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., Shindyalov, I. N., & Bourne, P. E. (2000). The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Research*, 28(1), 235–242. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.235>
- Bernstein, F. C., Koetzle, T. F., Williams, G. J. B., Meyer, E. F., Brice, M. D., Rodgers, J. R., Kennard, O., Shimanouchi, T., & Tasumi, M. (1977). The protein data bank: A computer-based archival file for macromolecular structures. *Journal of Molecular Biology*, 112(3), 535–542. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(77\)80200-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(77)80200-3)
- Cooray, M. (2012). Molecular biological databases: Evolutionary history, data modeling, implementation and ethical background. *Sri Lanka Journal of Bio-Medical Informatics*, 3(1), 2–11. <https://doi.org/10.4038/sljbm.v3i1.2489>
- Craig, T., Holland, R., D'Amore, R., Johnson, J. R., McCue, H. V., West, A., Zulkower, V., Tekotte, H., Cai, Y., Swan, D., Davey, R. P., Hertz-Fowler, C., Hall, A., & Caddick, M. (2017). Leaf LIMS: A Flexible Laboratory Information Management System with a Synthetic Biology Focus. *ACS Synthetic Biology*, 6(12), 2273–2280. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00212>
- Date, C. J. (2004). *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados*. GEN LTC.
- Dirnagl, U., & Przesdzing, I. (2016). A pocket guide to electronic laboratory notebooks in the academic life sciences. *F1000Research*, 5, 2. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7628.1>
- Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2010). *Sistemas de Banco de Dados* (6a ed.). Pearson Universidades.
- Ferreira, A. L. da C. (2019). *Application of the LabTablet app in a laboratory environment: Case study I3S* [Integrated Master in Bioengineering]. Universidade do Porto.
- Gallagher, R. V., Falster, D. S., Maitner, B. S., Salguero-Gómez, R., Vandvik, V., Pearse, W. D., Schneider, F. D., Kattge, J., Poelen, J. H., Madin, J. S., Ankenbrand, M. J., Penone, C., Feng, X., Adams, V. M., Alroy, J., Andrew, S. C., Balk, M. A., Bland, L. M., Boyle, B. L., & Enquist, B. J. (2020). Open Science principles for accelerating trait-based science across the Tree of Life. *Nature Ecology & Evolution*, 4(3), 294–303. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1109-6>

- Grand, A., Geda, E., Mignone, A., Bertotti, A., & Fiori, A. (2019). One tool to find them all: A case of data integration and querying in a distributed LIMS platform. *Database: The Journal of Biological Databases and Curation*, 2019, baz004. <https://doi.org/10.1093/database/baz004>
- Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *Journal of chiropractic medicine*, 5(3), 101-117. [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6)
- Haried, P., Claybaugh, C., & Dai, H. (2019). Evaluation of health information systems research in information systems research: A meta-analysis. *Health Informatics Journal*, 25(1), 186–202. <https://doi.org/10.1177/1460458217704259>
- Heuser, C. A. (2008). *Projeto de Banco de Dados: Volume 4* (6a ed.). Bookman.
- Kanare, H. M. (1985). *Writing the Laboratory Notebook*. American Chemical Society. <https://eric.ed.gov/?id=ED344734>
- Kanehisa, M., Goto, S., Sato, Y., Kawashima, M., Furumichi, M., & Tanabe, M. (2014). Data, information, knowledge and principle: Back to metabolism in KEGG. *Nucleic Acids Research*, 42(D1), D199–D205. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1076>
- Kanza, S., Willoughby, C., Gibbins, N., Whitby, R., Frey, J. G., Erjavec, J., Zupančič, K., Hren, M., & Kovač, K. (2017). Electronic lab notebooks: Can they replace paper? *Journal of Cheminformatics*, 9(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13321-017-0221-3>
- Kumar, M. J. K. (2013). Electronic Lab Notebooks-Collaborative Tool for Managing Knowledge in Pharmaceutical Research and Development. *Journal of Engineering Computers & Applied Sciences*, 2(11), 14–19.
- LabArchives. (2022). *LabArchives Better Science*. LabArchives. <https://www.labarchives.com/>
- Labfolder. (2022). *Electronic Lab Notebook (ELN)*. Labfolder. <https://www.labfolder.com/>
- LabVantage. (2022). *Lab Informatics Solution*. LabVantage. <https://www.labvantage.com/>
- Lombard, V., Golaconda Ramulu, H., Drula, E., Coutinho, P. M., & Henrissat, B. (2014). The carbohydrate-active enzymes database (CAZy) in 2013. *Nucleic Acids Research*, 42(D1), D490–D495. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1178>
- Machina, H. K., & Wild, D. J. (2013a). Laboratory Informatics Tools Integration Strategies for Drug Discovery: Integration of LIMS, ELN, CDS, and SDMS. *Journal of Laboratory Automation*, 18(2), 126–136. <https://doi.org/10.1177/2211068212454852>
- Machina, H. K., & Wild, D. J. (2013b). Electronic Laboratory Notebooks Progress and Challenges in Implementation. *Journal of Laboratory Automation*, 18(4), 264–268. <https://doi.org/10.1177/2211068213484471>
- Mannino, M. V., Honorato, B., Prairo, D., Moura, L., Sonoe, S., Guardado, A. F. N., & Viana, S. da S. (2008). *Projeto, Desenvolvimento de Aplicações e Administração de Banco de Dados* (3a edição). AMGH.
- Ministério da Saúde. (2009). *A experiência brasileira em sistemas de informação em saúde*. Editora MS.
- NCBI Resource Coordinators. (2018). Database resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Research*, 46(D1), D8–D13. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1095>
- Nussbeck, S. Y., Weil, P., Menzel, J., Marzec, B., Lorberg, K., & Schwappach, B. (2014). The laboratory notebook in the 21st century: The electronic laboratory notebook would enhance good scientific practice and increase research productivity. *EMBO Reports*, 15(6), 631–634. <https://doi.org/10.15252/embr.201338358>
- Office of The Director, NIH. (2020). *Final NIH Policy for Data Management and Sharing*. National Institutes of Health. <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-21-013.html>
- Park, S. L., Pantanowitz, L., Sharma, G., & Parwani, A. V. (2012). Anatomic Pathology Laboratory Information Systems: A Review. *Advances in Anatomic Pathology*, 19(2), 81–96. <https://doi.org/10.1097/PAP.0b013e318248b787>
- Paskal, W., Paskal, A. M., Dębski, T., Gryziak, M., & Jaworowski, J. (2018). Aspects of Modern Biobank Activity – Comprehensive Review. *Pathology Oncology Research*, 24(4), 771–785. <https://doi.org/10.1007/s12253-018-0418-4>
- Pressman, R. S., Maxim, B. R., Arakaki, R., Arakaki, J., & Andrade, R. M. de. (2016). *Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional* (8a edição). AMGH.
- Punta, M., Coghill, P. C., Eberhardt, R. Y., Mistry, J., Tate, J., Bournsnell, C., Pang, N., Forslund, K., Ceric, G., Clements, J., Heger, A., Holm, L., Sonnhammer, E. L. L., Eddy, S. R., Bateman, A., & Finn, R. D. (2012). The Pfam protein families database. *Nucleic Acids Research*, 40(D1), D290–D301. <https://doi.org/10.1093/nar/gkr1065>
- Ramakrishnan, R., Gehrke, J., Taniwake, C., Tortello, J. E. N., & Sousa, E. P. M. de. (2007). *Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados* (3a edição). AMGH.
- Riley, E. M., Hattaway, H. Z., & Felse, P. A. (2017). Implementation and use of cloud-based electronic lab notebook in a bioprocess engineering teaching laboratory. *Journal of Biological Engineering*, 11(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s13036-017-0083-2>
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta paulista de enfermagem*, 20(2), v-vi. <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>
- Sapio Sciences. (2022). *Laboratory Information Management System Software (LIMS)*. Sapio Sciences. <https://www.sapiosciences.com/>
- Sayers, E. W., Cavanaugh, M., Clark, K., Pruitt, K. D., Schoch, C. L., Sherry, S. T., & Karsch-Mizrachi, I. (2021). GenBank. *Nucleic Acids Research*, 49(D1), D92–D96. <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa1023>

Setzer, V. W., & Silva, F. S. C. da. (2005). *Bancos de Dados: Aprenda o que São, Melhore seu Conhecimento, Construa os Seus*. Blucher.

Sigrist, C. J. A., de Castro, E., Cerutti, L., Cucho, B. A., Hulo, N., Bridge, A., Bougueleret, L., & Xenarios, I. (2013). New and continuing developments at PROSITE. *Nucleic Acids Research*, *41*(D1), D344–D347. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1067>

Stair, R., & Reynolds, G. (2020). *Principles of Information Systems*. Cengage Learning.

Surkis, A., & Read, K. (2015). Research data management. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, *103*(3), 154–156. <https://doi.org/10.3163/1536-5050.103.3.011>

The UniProt Consortium. (2015). UniProt: A hub for protein information. *Nucleic Acids Research*, *43*(D1), D204–D212. <https://doi.org/10.1093/nar/gku989>