



DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que o trabalho intitulado **Livros vivos: uma proposta de ensino reproduzível com R & Rstudio** de autoria de **José Maurício Schneedorf Ferreira da Silva** submetido e aceito para publicação nos Anais do Congresso Internacional Movimentos Docentes – 2024, no formato de **resumo**, participou de seleção interna no referido Congresso e foi selecionado para publicação em formato de **artigo inédito**, no periódico científico Revista Eletrônica Casa de Makunaima (ISSN 2595-5888) Qualis B1 em Educação e Ensino.

O artigo encontra-se em processo de publicação e tem como previsão de liberação o segundo semestre de 2025.

Diadema, 10 de setembro de 2025.

Profa. Dra. Marilena Rosalen

Coordenadora Geral

Realização



Apoio Institucional



Colaboração



Livros vivos: uma proposta de ensino reprodutível com R & Rstudio

1 Resumo

O ensino reprodutível (ER) compreende uma abordagem ativa que combina códigos de programação a textos formatados para conteúdos educacionais. Tem surgido recentemente na literatura, e aplicado em sua maioria nos campos de matemática e estatística. Seu racional deriva de uma integração da *programação letrada de Knuth* com os conceitos de *Ciência Aberta* e de *Pesquisa reproduzível (PR)*, comungando com esses os princípios de transparência, acesso, dados e revisão abertos, softwares livres, colaboração, e compartilhamento. Entre as linguagens de programação elegíveis, a plataforma *R & RStudio*, consolidada há tempos para a pesquisa científica nas mais diversas áreas do conhecimento, se apresenta ao ER como uma ferramenta potencialmente útil à sua implementação. A plataforma permite a criação de documentos dinâmicos variados, e de cuja compilação a partir do código-fonte resulta uma combinação de textos estilizados a elementos visuais, tais como gráficos, tabelas, mapas, cálculos, análises, e outros objetos de aplicação ao ensino e aprendizagem. A plataforma também permite a saída alternativa do documento para a web, o que reforça sua habilidade de disseminação irrestrita, e emprega bibliotecas adicionais interatividade junto aos objetos criados. Tangente a essas características, renova-se a possibilidade de criação e compartilhamento de materiais didáticos específicos: *livros vivos*. Um esboço discreto nessa direção tem sido envidado na construção e aprimoramento do site [Bioquanti](#). O site disponibiliza um conjunto de 3 softwares abertos, seus tutoriais de uso, e algumas aplicações. Entre essas, alguns objetos didáticos e códigos-fonte para *R & Rstudio*, tanto ao ensino superior (Bioquímica, Físico-Química, e áreas correlatas), como ao ensino básico (Matemática, C. da Natureza, C. Humanas, e Linguagens).

Palavras-chave:

Pt: ensino reprodutível, programação letrada, ciência aberta, educação aberta, Educação 4.0, recursos educacionais abertos, R, RStudio, pacotes interativos, documentos dinâmicos, objetos interativos

En: reproducible teaching, literate programming, open science, open education, Education 4.0, open educational resources, R, RStudio, interactive packages, dynamic documents, interactive objects

2 Introdução

2.1 Ciência Aberta

A democratização de acesso público à produção científica, ainda que presente desde o século XVII pela *Philosophical Transactions of the Royal Society*, retomou fôlego na década de 1990 com repositórios digitais na web, tais como a disseminação gratuita de manuscritos autorais não revisados pelo [arXiv](#). Uma década depois, a declaração da [Iniciativa de Budapeste em Acesso Aberto - BOAI 2002](#) preconizava a disseminação de periódicos científicos de acesso livre, movimento que hoje conta com quase 2 mil assinaturas institucionais para [periódicos científicos abertos](#). A BOAI de fevereiro de 2002 para *acesso aberto* na Ciência definiu que:

Por acesso aberto* a esta literatura, queremos dizer sua disponibilidade gratuita na internet pública, permitindo que qualquer usuário leia, baixe, copie, distribua, imprima, pesquise ou crie links para os textos completos destes artigos, rastreie-os para indexação, passe-os como dados para software ou use-os para qualquer outro propósito legal, sem barreiras financeiras, legais ou técnicas além daquelas inseparáveis para se obter acesso à própria internet. A única restrição à reprodução e distribuição, e o único papel dos direitos autorais neste domínio, deve ser dar aos autores pelo controle sobre a integridade de seu trabalho e o direito de serem devidamente reconhecidos e citados.

Atualmente a *Ciência Aberta* tem estendido seus veios para incluir políticas públicas educacionais e qualidade das pesquisas científicas (Costa; Nascimento; Stascxak, 2024), também corroboradas pela [Recomendação sobre Ciência Aberta da UNESCO](#). Em suma, entende-se hoje que *Ciência Aberta* deva ratificar:

- Dados abertos;
- Softwares científicos abertos;
- Colaboração aberta;
- Revisão aberta por pares;
- Transparência e reprodutibilidade na pesquisa

2.2 Programação letrada e Pesquisa Reproduzível

Em função das características acima, uma das possibilidades de implementação da *Ciência Aberta* no âmbito autoral envolve a *programação letrada* ou alfabetizada (*literate programming*) definida por Donald Knuth nos anos 80. Em um artigo embrionário (Knuth, 1984), o programador defendeu um casamento entre códigos de programação (*Pascal*) e formatação de documentos para a consolidação de *documentos dinâmicos* capazes de gerar cálculos simultaneamente a textos estilizados. O sistema combinava a linguagem *Tex* para formatação de documentos (também de sua autoria, e hoje derivada ao *LaTeX*), com a linguagem de programação *Pascal*. Curiosamente, foi denominado *WEB*, uma década antes da chegada da internet.

E quase outra década após o trabalho seminal de Knuth, Jon F. Claerbout e Martin Karrenbach, avaliando o processamento e filtragem de dados de exploração sísmica por meio digital (Claerbout; Karrenbach, 1992), sugeriram o potencial inerente da ferramenta para reprodução de análises, imagens e textos a partir de um mesmo código-fonte, ao que foi denominado *Pesquisa Reproduzível* (PR).

Em sua essência, a PR insere-se nos fundamentos da *Ciência Aberta*

também como solução de contorno à crise de credibilidade da pesquisa científica (Byington; Felps, 2017). No geral, espelha e personaliza os princípios daquela em transparência e compartilhamento de códigos, dados, métodos, documentação pormenorizada, uso de softwares abertos, controle de versões, armazenamento e acesso de longo prazo à pesquisa (Konkol; Nüst; Goulier, 2020).

2.3 Competências digitais à Educação 4.0 e 5.0

Competências digitais voltadas à educação envolvem um conjunto de atitudes, habilidades, e conhecimentos para a literacia digital ao ensino e aprendizagem (Silva; Behar, 2019). O protagonismo do educando frente às novas tecnologias de informação e comunicação permitem que se opere sobre distintas competências em segurança digital, ambientes digitais de ensino-aprendizagem, criação, colaboração e comunicação de conteúdos digitais. Frente ao [Plano de Ação Para Educação Digital](#) da União Europeia para o período de 2021 a 2027, um conjunto de ações foi proposto para melhoria de infraestrutura, adaptação curricular à demanda tecnológica, e incorporação de competências digitais.(Xu; Lu, 2021).

Assim, o uso de ambientes virtuais interativos, de tecnologias digitais variadas, do emprego da realidade aumentada e virtual, bem como do recente estabelecimento da inteligência artificial no cotidiano, tem sido concebido como pedra angular para a consolidação de uma *Educação 4.0* (Vaz *et al.*, 2025). Ampliada pelo foco de bem-estar social, humanismo, ética de condutas, e sustentabilidade responsável que permeiam a globalização e os avanços tecnológicos em velocidade taquiônica, essa *Educação 4.0* parece ter sofrido recente um *upgrade* de versões ao ensino-aprendizagem para uma *Educação 5.0* (Ahmad *et al.*, 2023).

Não obstante suas premissas voltadas ao cotidiano cada vez mais abrangente de tecnologias de ponta, o mesmo não parece devotar aos assim denominados “*nativos digitais*”. Embora imersos em redes sociais e IA, seu acesso

às tecnologias virtuais do mundo contemporâneo não tem espelhado o aprimoramento de suas competências digitais (Lissitsa, 2025). para avaliação de fontes, segurança da informação e pensamento computacional.

2.4 Ensino Reprodutível (ER)

Ensino reprodutível tem ganhado destaque na literatura como uma abordagem ativa de ensino e aprendizagem baseada no uso de linguagem de programação para criação de materiais didáticos reprodutíveis e adaptáveis. Mine, em sua revisão intitulada “*Reproducibility in the Classroom*” (Dogucu, 2024), diferencia reprodutibilidade de replicabilidade e apresenta recomendações para implementação da primeira.

Para Ostblom e Timbers, a reprodutibilidade no ER está associada à colaboração, confiança e integridade científica (Ostblom; Timbers, 2022). Os autores sugerem o uso de projetos baseados na realidade, além da adoção de ferramentas como controle de versão com [Git](#), o uso de *Notebooks interativos*, e documentação estruturada dos algoritmos, para facilitar a aprendizagem e a reprodutibilidade.

Baseado nos princípios de *Ciência Aberta* (Mendonça; Franco, 2021) e de *Pesquisa Reprodutível* (Griego *et al.*, 2024) para uma *Educação Aberta* (Chaka, 2022), tem como premissas a reprodutibilidade computacional, a documentação detalhada e o compartilhamento transparente dos materiais produzidos (Dogucu; Çetinkaya-Rundel, 2022).

O ER também possibilita a criação de objetos interativos, aptos a promover uma apropriação do conteúdo técnico-científico, ao mesmo tempo que incentivam a *alfabetização digital*. Educadores e estudantes podem reproduzir, modificar ou criar novos materiais a partir de códigos compartilhados, ampliando a experiência de ensino e aprendizagem. O ER se alinha às competências digitais exigidas pelo século XXI (Rasskazova *et al.*, 2020), representando uma alternativa à digitalização crescente do ensino. Seu potencial abrange desde a produção e compartilhamento de conteúdos até a implementação de ambientes

interativos, nos quais educandos podem explorar conceitos de forma dinâmica e personalizada.

Ainda que sob debate, a distinção entre *Ensino Reproduzível* e *Ensino Reprodutível* não é tênue, Enquanto a primeira repousa nas práticas pedagógicas tradicionais baseadas em repetição e memorização, alinhando-se ao modelo bancário de educação identificado por Paulo Freire (Santos *et al.*, 2025) a *ER* centraliza um metodologia ativa que combina códigos e textos para possibilitar atualizações e adaptações consistentes a materiais pertinentes ao ensino e aprendizagem.

Diversas ferramentas suportam a implementação do ER, destacando-se *R & RStudio*, que permitem a criação e execução de documentos dinâmicos, códigos reprodutíveis e interações computacionais para ensino e pesquisa, e em diferentes áreas do conhecimento (Bean, 2023).

2.5 Livros Vivos

O conceito de *livros vivos* remonta ao final do século XIX, quando a educadora vitoriana Charlotte Mason (Mason, 2021) propôs a Educação como uma ciência de relações. Por tal condição, as relações naturais envolvidas na percepção da criança deveriam ser treinadas de forma estimuladora. E dessa forma, distante dos manuais didáticos convencionais, uma absorção mais fluida e em áreas variadas, como atividade física, natureza, artesanato, ciência e arte, seriam porventura mais vívidas frente ao que denominou por *livros vivos*.

Nas últimas décadas, contudo, a necessidade do mercado editorial aliada a tecnologia digital tem permitido que imensos repositórios de livros caibam numa mídia removível. E nesse sentido, as assombrosas e magnificentes bibliotecas baseadas em papel, viscerais à ciência e cultura universais, foram paulatinamente confrontadas pela praticidade das bibliotecas eletrônicas (Barker, 1996).

Em contrapartida, se isso soa assombroso, por outro um conceito distinto

de *livros vivos* poderia fluidificar uma melhor absorção de conteúdos de livros didáticos (Eshet; Chajut, 2007): a experiência audiovisual experimentada frente à tela de um computador para um livro didático (texto e narração). Com a capilarização da internet em nossos dias e o rápido desenvolvimento de novas tecnologias, tais como a *inteligência artificial generativa*, o futuro mercado editorial para livros técnico-científicos vem sofrendo nova transformação irresoluta num mundo fluido e virtual. Nas palavras de Antokhina; Balonin; Sergeev (2015):

”Separação de informações em texto e um programa, que deve ser executado em algum ambiente de software, não é mais do que apenas uma confusão técnica, muito patética e impraticável.”

São várias as iniciativas nessa direção para o ensino-aprendizagem, tais como o [Media Writing One](#), voltado para a simultaneidade de textos, áudios, vídeos, filmes, animações e games (Walters; Quinn, 2003). Por outro lado, o termo *livro vivo* tem sido mais recentemente utilizado para abordar plataformas computacionais remotas que permitam integrar a inserção de texto estilizado juntamente a trechos de código de programação (Antokhina; Balonin; Sergeev, 2015). Isto inaugura uma nova aresta em literacia computacional voltada à Educação como alternativa aos livros escolares pois, diferente das propostas anteriores para *livros vivos*, nesta o usuário interage diretamente no ambiente virtual da obra, alterando a saída para objetos em função de sua ação.

Basta uma busca rápida na rede para se obter uma ilustração desses novos princípios de vivificação de conteúdos, e para os quais a atuação do usuário sobre um trecho de código resulta num produto distinto do previamente concebido por seus desenvolvedores. O [Google Colaboratory \(Colab\)](#), por exemplo, permite a edição e execução de códigos em algumas linguagens, como *Python*, diretamente no navegador e sem necessidade de configuração. Assim, um educando ou educador pode experimentar, desde um cálculo matemático singelo, até *ciência de dados* e *aprendizagem de máquina*, esta o coração das IA generativas no

campo da inteligência artificial.

Outros exemplos repousam em plataformas *online* tais como [Jupyter Notebooks](#), para linguagens de programação e texto combinados, [Geogebra](#) para matemática e geometria, [Matlab](#) para cálculos avançados (dê uma olhada num [exemplo](#) em Estatística), e [DataCamp](#), essa para projetos, engenharia de software, diversas linguagens de programação, bem como desenvolvimento de aplicativos de IA.

Outras plataformas se juntam à essa iniciativa, como [Scratch](#), para história, games e animação ao público infantil utilizando programação facultativa por blocos, [Glitch](#) para desenvolvimento colaborativo de aplicações web interativas, [Observable](#), para notebooks interativos em *JavaScript* e visualização em painéis (*dashboards*).

Outrossim, também a plataforma sugerida neste texto, *R & RStudio*, e que possibilita todas as habilidades acima descritas e várias outras, incluindo a inserção de atividades e experimentos no mundo real do ensino de poucos recursos. Nesse caso, a plataforma habilita a transferência de dados em ambiente físico, como comunicação sem fios (*wifi*, *bluetooth*), possibilitando sua integração em tempo real a laboratórios de maior complexidade, bem como a conexão com placas microcontroladoras ([Arduino](#) e recursos para *IoT*, permeando o limite da criatividade coletiva.

3 Discussão

3.1 A plataforma *R & RStudio*

R & RStudio são amplamente utilizados na pesquisa científica, ciência de dados e aprendizado de máquina. Enquanto [R](#) é uma linguagem para estatística computacional, [RStudio](#). Inspirado na linguagem *S* dos anos 1970, o *R* opera por comandos de *prompt* e sua adoção tem sido crescente desde sua criação em 1992 na Universidade de Auckland (Ihaka, 2017). Em 1997, o projeto foi assumido pelo [R Core Team](#) (Team, 2000), garantindo sua evolução contínua

e ampla distribuição. Embora sua sintaxe exija aprendizado da linguagem de programação, sua curva é considerada suave.

Não obstante, sua interface textual foi complementada por ambientes gráficos de acesso aberto, como o [RStudio](#) (RStudio Team, 2023), que se destacou nos últimos anos, sendo aprimorado continuamente pela [Posit](#). *RStudio* é um ambiente de desenvolvimento integrado (*IDE*) concebido para facilitar o uso do *R* por uma interface gráfica. *RStudio* oferece um ambiente interativo com editor de código, depurador, visualização gráfica integrada e organização de projetos. A combinação *R* & *RStudio* possibilita fluxos de trabalho eficientes, incluindo importação de dados, análise, visualização e relatórios dinâmicos.

Agrega-se também à plataforma a própria extensibilidade para pacotes adicionais do *R*, num quantitativo de quase [22 mil pacotes](#) ao momento desta escrita, e que permitem aplicações diversas, incluindo matemática avançada, engenharia, biotecnologia, georeferenciamento, análise de imagens, música e educação. Exemplificando para os processos de ensino e aprendizagem, a plataforma conta com bibliotecas para animações e interatividade de gráficos e mapas, como `plotly`, promovendo flexibilidade e compartilhamento na criação de objetos didáticos e análises.

Uma vantagem adicional é a possibilidade de acesso ao *RStudio* na nuvem, por meio da plataforma [RStudio Cloud](#), eliminando a necessidade de instalação local, e possibilitando colaboração em nuvem. Isso facilita a construção, edição e compartilhamento de materiais, permitindo o trabalho diretamente pelo navegador.

A reprodutibilidade em *R* é facilitada por ferramentas como *knitr*, que integram código e documentação (Xie (2018)). O *knitr* aprimora a programação letrada do sistema, incorporando ao documento criado as ferramentas de trabalho contidas nas linguagens *LaTeX*, *HTML* e *Markdown*. Suas funcionalidades incluem *cache* de resultados para otimização, suporte a múltiplas linguagens (*Python*, *Shell*), e personalização de saída, promovendo transparência na produção de documentos

e objetos de aprendizagem.

Em relação a esses, o pacote *quarto* do *R* incorpora algumas habilidades para a produção de materiais didático-científicos. Entre essas habilidades, o software [Pandoc](#) um conversor universal de documentos amplamente utilizado em fluxos de trabalho para publicação. O *Pandoc* aceita diversas linguagens de entrada e saída, tais como *HTML*, *LaTeX*, *EPUB*, *DOCX*, e *PDF*.

3.2 Características da plataforma para ensino reproduzível

A plataforma *R* & *RStudio* possui um conjunto de características que a tornam estratégica para o ensino reproduzível (*ER*). A seguir, destacam-se algumas das principais, organizadas de forma mais estruturada para melhor compreensão.

3.2.1 Abertura e Flexibilidade

- Programas de distribuição livre e código-fonte aberto.
- Não são conteudistas, permitindo criação e adaptação de materiais educacionais.
- Dirigidos por texto (*text-driven*), garantindo maior controle sobre o conteúdo.
- Independência de sistema operacional (Windows, Linux, macOS, ChromeOS).
- Baixos requisitos de hardware, funcionando em máquinas mais antigas.
- Acessível via nuvem (*cloud computing*), eliminando a necessidade de instalação.

3.2.2 Robustez e Comunidade

- *R* está ativo como linguagem de código aberto desde 1993 e *RStudio* desde 2011.
- Possui uma curva de aprendizado suave, com vasta documentação gratuita.

- Utilizado por universidades e empresas de grande porte (Google, Facebook, Twitter, etc.).
- Comunidade ativa e bibliografia extensa, facilitando a solução de dúvidas e aprendizado.
- Conta com quase 22 mil pacotes especializados para diversas áreas do conhecimento.

3.2.3 Funcionalidades Educacionais

- Uso da linguagem *R Markdown* para integração de código, texto e resultados.
- Criação de documentos dinâmicos que incluem gráficos, tabelas, equações e mapas.
- Interface gráfica personalizável para melhor visualização e execução de códigos.
- Suporte a múltiplas linguagens (*Python, MATLAB, Java, C/C++*).
- Conectividade com bases de dados (*SQL*), permitindo integração com grandes volumes de dados.
- Controle de versão integrado ao *GitHub* para rastreamento de alterações e colaboração.

3.2.4 Produção e Compartilhamento de Conteúdos

- Permite a geração de relatórios dinâmicos e interativos.
- Facilitação de gerenciamento bibliográfico com integração a padrões de citação.
- Suporte a diferentes formatos de saída (*HTML, LaTeX, PDF, Word, EPUB*).
- Compatibilidade com ferramentas para redação técnica e acadêmica, incluindo *Quarto*.
- Produção de livros digitais, blogs e websites interativos com pacotes como *bookdown* e *distill*.

3.2.5 Aplicações no Ensino e Pesquisa

- Ampla utilização em ciência de dados, aprendizado de máquina e estatística.
- Suporte a simulações para experimentação científica e ensino de conceitos abstratos.
- Facilitação do letramento digital e inclusão digital em diversos níveis educacionais.
- Uso em qualquer modalidade de ensino (presencial, remoto, híbrido).
- Aplicação em situações críticas, como ensino em regiões remotas ou emergências sanitárias.

3.2.6 Interatividade e Integração Tecnológica

- Criação de gráficos interativos e visualizações dinâmicas com pacotes como *plotly* e *shiny*.
- Atualização instantânea de documentos hospedados na nuvem com *GitHub*.
- Controle de revisões para melhorar a detecção de erros e otimização de códigos.
- Suporte para automação de tarefas repetitivas e reaproveitamento de scripts.
- Operação em tempo real com microcontroladores como *Arduino*, *ESP* e *Raspberry Pi*.
- Recursos voltados à acessibilidade digital para deficientes visuais.

3.2.7 Alternativas de Acesso e Mobilidade

- Disponível via *cloud computing* no [Posit Cloud](#), dispensando instalação.
- Pode ser utilizado via *Google Colaboratory*, permitindo execução remota de códigos.
- Disponível em aplicativos móveis para *Android* e *iOS*.

- Funcionalidade aprimorada em dispositivos móveis com instalação de *Linux via Andronix*.

3.3 A plataforma e a criação de objetos de aprendizagem

Entre os milhares de pacotes disponíveis no [site oficial do R](#), muitos possuem potencial para o ensino-aprendizagem por meio da produção de objetos didáticos (*LO, learning objects* (Convertini *et al.*, 2006)). Além dos pacotes oficiais, outros tantos estão disponíveis em repositórios como *Bioconductor*, *R-Forge* e *R Universe*, bem como em plataformas abertas como *GitHub*, *GitLab* e *Bitbucket*. A plataforma *R & RStudio* permite o desenvolvimento de códigos que, quando executados, geram cálculos, análises, animações, simulações, gráficos e mapas.

Dentro desse vasto ecossistema, destacam-se pacotes voltados para animações (`anim.plots`, `animate`), gráficos interativos (`iplots`, `manipulate`, `ganimate`, `plotly`), mapas interativos (`leaflet`, `highcharter`), tabelas interativas (`DT`, `kable`) e construção de *dashboards* (`flexdashboard`, `shiny`). A Figura 1 ilustra o emprego de alguns pacotes.

Figura 1: Pacotes R para gráficos, tabelas, simulações e animações (estáticos ou interativos).

Categoria	Tipo	Pacotes
Estático	Gráfico	<code>ggplot2</code> , <code>lattice</code> , <code>graphics</code> , <code>grid</code> , <code>cowplot</code> , <code>patchwork</code> , <code>RColorBrewer</code> , <code>ggpubr</code>
	Tabela	<code>kableExtra</code> , <code>xtable</code> , <code>gt</code> , <code>huxtable</code> , <code>flextable</code>
	Simulação	<code>deSolve</code> , <code>markovchain</code> , <code>MASS</code> , <code>boot</code> , <code>SimDesign</code>
	Animação	<code>ganimate</code> , <code>animation</code>
Interativo	Gráfico	<code>plotly</code> , <code>leaflet</code> , <code>highcharter</code> , <code>echarts4r</code> , <code>dygraphs</code> , <code>googleVis</code> , <code>threejs</code> , <code>rgl</code>
	Tabela	<code>DT</code> , <code>reactable</code> , <code>formattable</code> , <code>shinyTable</code> , <code>handsontable</code>
	Simulação	<code>manipulate</code> , <code>shiny</code> , <code>shinydashboard</code> , <code>learnr</code> , <code>flexdashboard</code>
	Animação	<code>r2d3</code> , <code>htmlwidgets</code>

Dos pacotes listados na tabela, alguns se destacam pela aplicabilidade ao ensino-aprendizagem, especialmente no contexto escolar e universitário, devido à simplicidade sintática e ao foco em gráficos, simulações e tabelas. Entre esses, destacam-se `anim.plots` e `ganimate` para animações, `manipulate`

para simulações interativas, `plotly` para gráficos interativos e `leaflet` para mapas interativos. Essas bibliotecas instaladas possuem diferentes requisitos para o ambiente interativo em que são utilizadas. Algumas, como `manipulate`, necessitam do *RStudio* para visualização. Outras, como `anim.plots` e `gganimate`, geram animações que podem ser exibidas sem necessidade de *R*, uma vez que produzem arquivos de imagem animada (*png* ou *gif*). Já pacotes como `plotly`, `DT` e `leaflet` permitem interação direta do usuário com o objeto compilado e podem ser exportados como arquivos *HTML* autossuficientes, facilitando o compartilhamento de materiais didáticos.

Seja qual a escolha do pacote, é tácito refletir sobre o grau de dificuldade para implementação de códigos estruturados ao ensino ou pesquisa, posto que sua concretização exige o conhecimento da linguagem de programação envolvida, *R* no caso. Ainda que sua curva de aprendizado seja relativamente suave quando comparada a outras linguagens, que exista um número muito grande de tutoriais para sua aprendizagem, além de diversos livros no assunto, e que haja uma extensa comunidade global afoita para escovar seus códigos, o usuário inevitavelmente depara-se com as dificuldades inerentes do aprendizado em programação.

Contudo, vivemos no tempo da inteligência artificial generativa, a qual possui, entre suas discutíveis virtudes, uma habilidade superlativa para criação, edição, e correção de códigos de programação em diversas linguagens, e acompanhados com explicações textuais do passo-a-passo envolvido. Exemplificando, o código para um objeto interativo pretendido ao ensino-aprendizagem, tal como um mapa ou gráfico interativo sobre um conjunto de dados ou funções a explorar, pode ser elaborado em segundos. Ainda que possa conter erros inerentes das ferramentas experimentais da IA, a condução de *prompts* sucessivos durante a interação humano-máquina (*literacia de prompts*) tende a facilitar e contornar falhas de compilação inicial do código sugerido pela IA. Quer um teste ? Peça a um assistente de IA qualquer para criar um código em *R* para um gráfico de barras contendo a variação dos pesos atômicos dos elementos da tabela

periódica, ou para um mapa interativo sobre os biomas brasileiros.

3.4 Um *website* para ensino reprodutível

Ao final de 2022 foi disponibilizado o site [Bioquanti](#), para oferecer aplicações e ferramentas interativas voltadas ao ensino reprodutível (ER). Inicialmente concebido para auxiliar no ensino de *Bioquímica* com uma abordagem quantitativa, o *Bioquanti* disponibiliza três ferramentas principais: *Jmol*, para visualização tridimensional de estruturas moleculares, *SISMA*, desenvolvido na UNIFAL-MG para simulação dinâmica de processos em rede (como vias metabólicas), e *R & RStudio*, voltado para cálculos e geração de gráficos.

Além das ferramentas principais, o site inclui três esboços para livros vivos autoinstrucionais, cada qual correlato a seus softwares abertos, além de três *ebooks* espelhados para aprendizagem dos temas. Sua interatividade dá-se por intervenção do usuário, tanto na reprodução como na modificação e testes dos trechos de códigos para conteúdos temáticos nos três softwares. O site foi reconhecido ao segundo lugar no *Prêmio Nacional de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular Bayardo Baptista Torres* (SBBq, 2023), e incluído como um recurso educacional aberto junto ao portal eduCAPES.

Em seu formato atual, o *Bioquanti* apresenta 3 rascunhos de livros vivos autoinstrucionais para três modalidades de interatividade:

1. Texto e imagem de *ebook* para reprodução de ações em programa de computador *offline* (*SISMA*);
2. Texto, imagem, e hiperlink para aplicação web externa, visando a compilação dos códigos sugeridos no conteúdo do site (*Jmol*);
3. Combinação de texto, imagem, cálculo, gráfico, tabela, diagrama, simulação, animação, e interatividade direta (gráficos, mapas, e tabelas), para reprodução ou modificação de códigos-fonte de programação letrada em plataforma instalada em computador (*R & RStudio*), ou diretamente em nuvem ([RStudio Cloud](#)).

Para o ensino superior o *Bioquanti* disponibiliza material autoinstrucional em conteúdos de química, bioquímica, físico-química, química analítica, bioinformática, cálculo integral e diferencial, álgebra matricial, estatística descritiva e inferencial. Todos contextualizados em temáticas da Bioquímica.

Para o ensino básico, o *Bioquanti* disponibiliza tutoriais práticos de *Jmol* para visualização de moléculas em 3D e de *R & RStudio* para a geração de gráficos e mapas interativos. Esses tutoriais são apresentados em versões acessíveis na nuvem, dispensando a necessidade de instalação local dos programas. Além disso, o portal conta com um repositório de modelos atômicos interativos e organizados num *Jardim de Moléculas*, além de conjunto de OIER que abordam conteúdos diversos

Esses OIER são estruturados em três partes: a apresentação do objeto com referência aos códigos da *BNCC*, o código-fonte necessário para sua reprodução, e sugestões de personalização para adaptação a diferentes contextos didáticos. A maioria desses objetos foi desenvolvida com o pacote 'plotly, para ações interativas e interface amigável ao usuário. Os OIER ilustrados no site foram concebidos para apresentar o potencial do pacote ao ensino e aprendizagem interativos. Dessa forma, seus OIER disponibilizam ferramentas como menus suspensos, deslizadores, seletores de intervalo de eixo, botões, caixas de checagem, e animações controladas pelo usuário, proporcionando diferentes níveis de interatividade ao educando.

4 Considerações finais

O ensino reproduzível apresenta-se como uma proposta embrionária para convergir ferramentas computacionais a uma diversidade virtualmente infinita de labores no ensino e aprendizagem ativos. Basicamente, é possível elaborar e compartilhar códigos para textos estilizados contendo elementos audiovisuais e interativos (animações, simulações, análises), e em uma gama de *documentos dinâmicos* contendo objetos intercambiáveis. Tais documentos são passíveis

de utilização tanto na academia quanto no chão de escola (apresentação, relatório, monografia, TCC, dissertação, tese, artigo, capítulo de livro, livro), com saídas estáticas ou multimidiáticas (*DOCX*, *EPUB*, *PDF*, *HTML*), e para objetos interativos e seus códigos, desde gráficos de simples construção, até o compartilhamento de livros vivos na rede mundial.

A elaboração deste documento

O delineamento para texto estilizado em *RMarkdown*, figura, e gerenciamento bibliográfico para compilação deste *documento dinâmico*, foram conduzidos com o pacote *quarto* para *R* (versão 4.3.3, fev/2024) em ambiente *RStudio* (versão 2024.12.0 Build 497). Para a configuração de fontes para títulos, subtítulos, legendas de tabelas e figuras, bem como para citações longas, como explicitado nas *Diretrizes Para Autores*, foram empregados pacotes *LaTeX* inseridos na plataforma. O código-fonte desse manuscrito encontra-se no site [Bioquanti](#).

Agradecimentos

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

Minibiografia

Nome: José Maurício Schneedorf Ferreira da Silva Biólogo com doutorado direto em Bioquímica pela UFMG (Belo Horizonte, 1998; interação experimental ligante-proteína), e estágio pos-doc pela UFV (Viçosa-MG, 1999; termodinâmica de células tumorais). Professor titular do Depto. de Bioquímica da UNIFAL-MG, onde atua como docente em disciplina homônima em diversos Cursos de Graduação e dos Programas de Pós-Graduação de Química (Eletroanálise) e de Biotecnologia (Bioquímica Quantitativa) da Instituição. Temas de interesse: Ensino Reprodutível, e Bioeletroquímica.

Link do Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0436922594542722>

Link do ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2031-6315>

Referências

AHMAD, S. *et al.* Education 5.0: Requirements, Enabling Technologies, and Future Directions. **arXiv preprint arXiv:2307.15846**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2307.15846>.

ANTOKHINA, Y.; BALONIN, N.; SERGEEV, M. «Living Books» and the advanced network technologies for education in a technical university. *Em.*, 2015. **Smart Education and Smart e-Learning**. [S. l.]: Springer, 2015. p. 129–139.

BARKER, P. Living books and dynamic electronic libraries. **The electronic library**, [s. l.], vol. 14, n.º 6, p. 491–501, 1996.

BEAN, B. L. Teaching Reproducibility to First Year College Students: Reflections From an Introductory Data Science Course. **Journal on Empowering Teaching Excellence**, [s. l.], vol. 7, n.º 2, p. 5, 2023.

BYINGTON, E. K.; FELPS, W. Solutions to the credibility crisis in management science. **Academy of Management Learning & Education**, [s. l.], vol. 16, n.º 1, p. 142–162, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5465/amle.2015.0035>.

CHAKA, C. Is Education 4.0 a sufficient innovative, and disruptive educational trend to promote sustainable open education for higher education institutions? A review of literature trends. *Em.*, 2022. **Frontiers in Education**. [S. l.]: Frontiers Media SA, 2022. p. 824976. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.824976>.

CLAERBOUT, J. F.; KARRENBACH, M. Electronic documents give reproducible research a new meaning. *Em*: SEG TECHNICAL PROGRAM EXPANDED ABSTRACTS 1992. [S. l.]: Society of Exploration Geophysicists, 1992. p. 601–604.

CONVERTINI, V. *et al.* The OSEL taxonomy for the classification of learning objects. **Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects**, [s. l.], vol. 2, n.º 1, p. 125–138, 2006.

COSTA, M. A. A. da; NASCIMENTO, K. A. S. do; STASCXAK, F. M. As publicações acerca da Ciência Aberta na base de dados ERIC: um estado da arte. **Revista Práxis Educacional**, [s. l.], vol. 20, n.º 51, 2024. Disponível em: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?pid=S2178-26792024000100129&script=sci_arttext.

DOGUCU, M. Reproducibility in the Classroom. **Annual Review of Statistics and Its Application**, [s. l.], vol. 12, 2024.

DOGUCU, M.; ÇETINKAYA-RUNDEL, M. Tools and recommendations for reproducible teaching. **Journal of Statistics and Data Science Education**, [s. l.], vol. 30, n.º 3, p. 251–260, 2022.

ESHET, Y.; CHAJUT, E. Living books: The incidental bonus of playing with multimedia. **Journal of educational multimedia and hypermedia**, [s. l.], vol. 16, n.º 4, p. 377–388, 2007. Disponível em: <https://www.learntechlib.org/primary/p/21878/>.

GRIEGO, C. *et al.* Introducing Students to Research and Reproducibility with Open Science Tools. *Em*., 2024. **2024 ASEE Annual Conference & Exposition**. [S. l.: s. n.], 2024.

IHAKA, R. The r project: A brief history and thoughts about the future. **Univ. Auckl**, [s. l.], vol. 4, p. 22, 2017.

KNUTH, D. E. Literate programming. **The computer journal**, [s. l.], vol. 27, n.º 2, p. 97–111, 1984.

KONKOL, M.; NÜST, D.; GOULIER, L. Publishing computational research—a review of infrastructures for reproducible and transparent scholarly communication. **Research integrity and peer review**, [s. l.], vol. 5, p. 1–8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41073-020-00095-y>.

LISSITSA, S. Generations X, Y, Z: The Effects of Personal and Positional Inequalities on Critical Thinking Digital Skills. **Online Information Review**, [s. l.], vol. 49, n.º 1, p. 35–54, 2025. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.110>

MASON, C. **School education**. [S. l.]: Routledge, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780429290930>.

MENDONÇA, P. C. C.; FRANCO, L. G. **A ciência aberta ea área de Educação em Ciências: perspectivas e diálogos. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**SciELO Brasil, 2021.

OSTBLOM, J.; TIMBERS, T. Opinionated practices for teaching reproducibility: motivation, guided instruction and practice. **Journal of Statistics and Data Science Education**, [s. l.], vol. 30, n.º 3, p. 241–250, 2022.

RASSKAZOVA, O. *et al.* Key Competencies in the Digital Age and Transformation of Education. *Em.*, 2020. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. [S. l.]: IOP Publishing, 2020. p. 012093.

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R.**

Boston, MA: Posit Software, PBC, 2023. Disponível em: <https://posit.co/products/open-source/rstu>

SANTOS, A. N. S. dos *et al.* PAULO FREIRE E O CURRÍCULO ESCOLAR–DA PRÁTICA COTIDIANA DOS EDUCANDOS À SUPERAÇÃO DA «EDUCAÇÃO BANCÁRIA». **ARACÊ**, [s. l.], vol. 7, n.º 1, p. 3428–3455, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev7n1-205>.

SILVA, K. K. A. da; BEHAR, P. A. Competências digitais na educação: uma discussão acerca do conceito. **Educação em Revista**, [s. l.], vol. 35, p. e209940, 2019.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/wPS3NwLTxtKgZBmpQyNfdVg/>.

TEAM, R. C. R language definition. **Vienna, Austria: R foundation for statistical computing**, [s. l.], vol. 3, n.º 1, p. 116, 2000.

VAZ, D. *et al.* EDUCAÇÃO 4.0: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A APRENDIZAGEM. **Vivências**, [s. l.], vol. 21, n.º 42, p. 7–23, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/vivencias.v21i42.1096>.

WALTERS, T.; QUINN, S. Living Books™ A culturally-sensitive, adaptive e-Education process. *Em:*, 2003. **SSGRR International conference on Advances in infrastructure for e-business, e-education, e-science, s-medicine and Mobile Technologies on the Internet, L'Aquila, Italy**. [S. l.]: Citeseer, 2003.

XIE, Y. knitr: a comprehensive tool for reproducible research in R. *Em:* IMPLEMENTING REPRODUCIBLE RESEARCH. [S. l.]: Chapman; Hall/CRC, 2018. p. 3–31.

XU, Y.; LU, D. Prospect of Vocational Education under the Background of Digital Age: Analysis of European Union's «Digital Education Action Plan (2021-2027)». *Em*: PROSPECT OF VOCATIONAL EDUCATION UNDER THE BACKGROUND OF DIGITAL AGE, 2021. **Proceedings of the 2021 International Conference on Internet, Education and Information Technology (IEIT)**. [S. l.]: IEEE, 2021. p. 164–168. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9526113>.