

CIÊNCIA DIGITAL E DEMOCRATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

*Roberto C. S. Pacheco
Valdir Fernandes*

INTRODUÇÃO

Em um mundo em plena transformação, promovida pelas tecnologias digitais e por seus impactos culturais, sociais e econômicos, um dos poucos consensos é que, em praticamente todas as áreas, a sociedade contemporânea exige novas competências e novas maneiras de realizar o trabalho.

De todos os setores e segmentos, a ciência e a educação são provavelmente os únicos que têm um papel dual na transformação digital. De um lado, são elas que geram tanto o conhecimento como o capital humano, fatores indispensáveis ao desenvolvimento das tecnologias da informação e da comunicação geradoras da transformação (disrupção) digital. E, de outro, ciência e educação têm sido, também, profundamente impactadas pela transformação digital.

Portanto, ciência e educação também são demandantes de novos profissionais e novos *modus* de trabalho. Nesse sentido, pergunta-se: como será o cientista do futuro? Quais têm sido os impactos da era digital em que vivemos na produção de conhecimento científico? Como nossos professores da Educação Básica podem atuar na formação dos cientistas do futuro?

Neste capítulo, pretendemos ajudar nestas questões, primeiro, apresentando os principais elementos dessa ciência contemporânea. Para isso, retomamos a definição que propusemos recentemente para a ciência digital – sistema compartilhado por comunidades científicas e sociais engajadas em resolver problemas complexos, baseadas na noção de bem comum e na coprodução de dados, informações e

conhecimento por meio de infraestrutura metodológica e tecnológica integradas. (PACHECO *et al.*, 2018). Posteriormente, discutimos casos e exemplos de como a ciência digital já está presente nas salas de aula de todos os níveis educacionais.

UMA ERA DE TRANSFORMAÇÃO DISRUPTIVA

Em seu livro **3001: the final odyssey**, Arthur C. Clarke¹ conclui sua odisseia no espaço com a história do personagem Frank Poole, o astronauta que, como nós, é um cidadão do século XX. Poole é resgatado de sua cápsula criogênica, mil anos após ter sido perdido no espaço. No livro de Clarke, o ser humano do início do quarto milênio praticamente só está interessado em uma única contribuição dos nossos tempos atuais: a tecnologia espacial (que se mostrou crucial para sobrevivência da raça humana).

Não estaremos lá para saber, mas é muito provável que, em sua projeção do futuro, Clarke tenha minimizado o efeito transformador da era em que vivemos, principalmente em relação a tudo o que a humanidade viveu anteriormente.

Nenhuma outra era até aqui foi tão transformadora como a atual, social, econômica e culturalmente. Se o ponto de vista deve ser o espacial, como faz Clarke, talvez a melhor metáfora para entender a transformação digital seja a de Morin e Kern: trata-se de uma visão da “terra vista da terra” (1995, p. 42) em alusão à Terra vista da Lua.

Convergência digital

Para Henry Jenkins, nossos tempos são equivalentes a uma ‘Renascença Digital’, caracterizada pela convergência de mídias tecnológicas e industriais, em que conteúdos e audiências vivenciam uma fusão de dimensão tecnológica, econômica, social, cultural e global. (JENKINS, 2006). Nessa visão, de forma análoga ao que ocorreu no período renascentista, a humanidade não voltará a patamares semelhantes, vividos no período industrial.

Para Jenkins, a principal característica da sociedade em que vivemos está na 1) convergência dos meios de comunicação; 2) na cultura participativa e na 3) inteligência coletiva.

O primeiro fenômeno se dá pelo fluxo de conteúdos por meio de múltiplas plataformas, de múltiplos locais, com diferentes contextos culturais, sociais e econômicos. Para que esse fluxo de conteúdos ocorra, há, também, a cooperação entre múltiplos produtores mediáticos, bem como a atitude migratória de público, que se desloca entre diversas fontes emissoras, em busca de informação, entretenimento ou oportunidades.

Jenkins alerta, no entanto, que a convergência não tem natureza tecnológica, mas se origina da mudança de papel dos interlocutores, que são agora incentivados a buscarem novas informações, produzirem os próprios conteúdos e se conectarem por múltiplas mídias. A esse fenômeno Jenkins associa o segundo fenômeno, que é a cultura participativa da sociedade contemporânea. Nela não há mais a

separação linear produtor-consumidor, típica da sociedade industrial, mas sim copartícipes de um sistema complexo, com papéis (e poderes) não equitativos no fluxo produtor-emissor-receptor de conteúdo.

O terceiro fenômeno apontado por Jenkins é a inteligência coletiva. O autor lembra que a convergência não ocorreria exclusivamente com o fluxo de conteúdos e a cultura participativa. Esses dois fenômenos combinados levaram a uma explosão de conteúdo. A convergência surge em nossa atitude individual: incapazes de deter toda informação que acessamos, somos levados à interação social crescente, formando o que Pierre Lévy denomina de ‘inteligência coletiva’. O resultado é uma rede de indivíduos que pode levar à rápida discussão, apropriação e modificação de conteúdos e atitude coletiva, um fenômeno que muda o tempo e o espaço das tomadas de decisão e que tem desafiado arranjos sociais, políticos e culturais.

Segundo Gibbons *et al.* (2000), esse processo produz, também, uma mudança cognitiva principalmente nos jovens, que são nativos digitais.

Cultura e natividade digital

Também para o teólogo e consultor Rex Miller, a era de transformação atual se manifesta na profunda mudança de cultura desses tempos. Miller utiliza a expressão ‘cultura digital’ para denominar os tempos em que vivemos, de profunda convergência de textos, gráficos, sons e dados, que leva à conectividade, complexidade, aceleração, intangibilidade e instantaneidade das comunicações. (MILLER, 2005).

Em relação à trajetória até os tempos atuais, Miller lembra que a humanidade passou pelas eras da ‘cultura oral’, da ‘cultura impressa’, da ‘cultura radiotelevisiva (*broadcast*)’ e chega, agora, à era da ‘comunicação digital interativa’, com impacto transformador nas atividades sociais, profissionais, econômicas e culturais.

Essa mudança nas culturas traz profundas diferenças nas visões de mundo de cada geração. Segundo Ertmer e Ottenbreit-Leftwich (2010), os profissionais do século XXI pensam e atuam diferentemente daqueles dos séculos precedentes e essa diferença pode ser atribuída diretamente às tecnologias digitais e a sua influência em todas as atividades sociais, econômicas e culturais.

Curiosamente, ciência e educação parecem viver certo dilema: de um lado, estiveram entre os principais fatores responsáveis pelas mudanças de era – especialmente por terem propiciado as Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC) – e, de outro, têm enfrentado dificuldades para se adaptar à era atual, para adotar as inovações e assumir a cultura digital com a mesma velocidade de outros campos da atividade humana contemporânea.

Não se trata apenas de reconhecer e adotar as novas mídias, como redes sociais e grandes bases de dados como instrumentos educacionais e de produção de conhecimento. A transformação digital é inexoravelmente disruptiva não apenas tecnológica, mas cultural e cognitivamente, como ressaltaram Gibbons *et al.* (2000). Essa característica está na essência nas visões da convergência digital de Jenkins, na cultura digital de Miller, na inteligência coletiva de Pierre Lévy e na visão que diversos outros pensadores contemporâneos têm apresentado para descrever o momento em que vivemos.

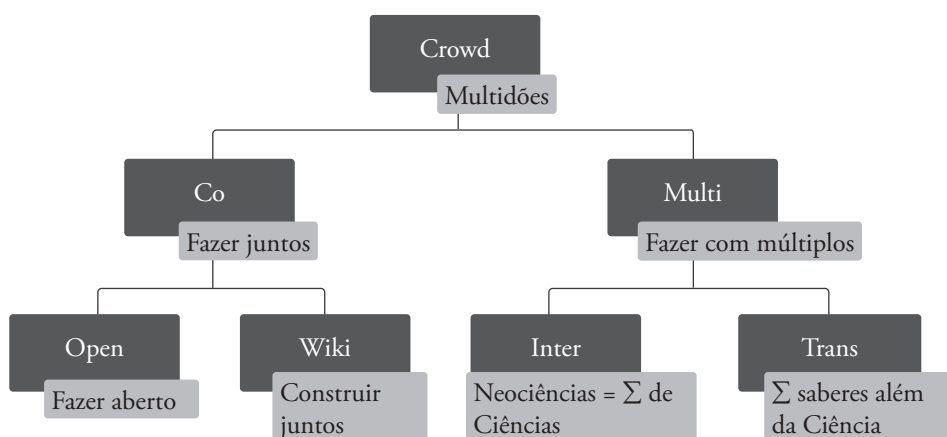
As mudanças na sala de aula já estão em curso, mas são certamente mais efetivas quando professores, gestores de escolas e pais reconhecem os fatores e os impactos da sociedade digital sobre seus sistemas educacional e científico.

Uma das formas de se verificar esses fenômenos contemporâneos está na melhor compreensão da gama de novas denominações que têm emergido para caracterizar fenômenos de convergência, participação e produção coletiva, como explicamos a seguir.

Prefixos da disrupção digital

Um dos principais indicativos da cultura digital está na proliferação de prefixos que têm caracterizado a era em que vivemos, como ‘*crowd*’, ‘co’, ‘multi’, ‘open’, ‘wiki’, ‘inter’ e ‘trans’, ilustrados na Figura 1. Tais prefixos identificam as principais características da convergência digital: magnitude e abrangência, multiplicidade, convergência, abertura, combinação e transposição de padrões e práticas prévias à era digital.

Figura 1 – Prefixos da era digital.



Fonte – Adaptado de Pacheco, 2016.

O prefixo ‘co’ – estar/fazer com – precede o advento das TIC e é utilizado para caracterizar atividades típicas da era da convergência. A coprodução, por exemplo, é uma proposta de Elinor Ostrom, primeira e única mulher ganhadora do Nobel de Economia, para caracterizar a necessidade de sociedade e governo serem corresponsáveis pelo bem público. Há muito tempo suas variantes ‘cocriação’, ‘colaboração’ e ‘cooperação’ identificam formas de aproximar atores na realização de propósito comum. Em todas essas expressões o prefixo ‘co’ indica a concomitância de atuação, com diferentes graus de participação e propriedade de seus protagonistas.

Quando o número de protagonistas cresce exponencialmente, surgem os fenômenos típicos do prefixo ‘*crowd*’. Destacam-se as iniciativas que reúnem multidões em plataformas de tecnologia de informação, com um propósito comum, tal como ‘colaboração’ (*crowd collaboration*), ‘competição’

(*crowd competition*), ‘provimento’ (*crowd sourcing*), ‘investimento’ (*crowd funding*), ‘trabalho’ (*crowd work*) ou mesmo ‘inovação’ (*crowd innovation*).

A possibilidade de democratização do acesso à informação fez disseminar o prefixo ‘open’ como característico para se referir a sistemas, tecnologias, processos, práticas e dados da sociedade digital ‘abertos’ a seus interessados. Essa abertura pode ser de natureza tecnológica, legal, regulatória, metodológica, econômica ou social. Em serviços públicos, por exemplo, o chamado ‘governo aberto’ (*open government*) contempla desde a abertura de dados à transparência à viabilização do controle pelo cidadão. Em desenvolvimento de sistemas, o ‘software aberto’ (*open software*) indica o acesso ao código-fonte por terceiros e, em ciência, a chamada ‘ciência aberta’ (*open Science*) está relacionada aos processos de produção do conhecimento científico e acesso a ele de forma pública (normalmente gratuita).

O prefixo ‘wiki’, por sua vez, refere-se a processos abertos de coprodução e acesso a documentos. Sua origem está no projeto Wikipédia, de Jimmy Wales, uma enciclopédia livre que foi o primeiro veículo de informação a utilizar a linguagem de marcação ‘Wiki’ e que permite a edição coletiva via sistemas de navegação na *Web*. Don Tapscott e Anthony Williams propuseram o termo ‘Wikinomics’ para descrever o impacto do trabalho coletivo em grande escala sobre os modelos econômicos e formas de produção empresarial resultantes da participação coletiva em todos os estados da produção de bens e serviços. (TAPSCOTT; WILLIAMS, 2006).

Já o prefixo ‘multi’ se refere à coexistência de múltiplos componentes de diversas naturezas, tais como tecnológicos (ex. multimídia), organizacionais (ex. multi-institucional), culturais (ex. multicultural), conceituais (ex. multirreferencial), científicos (ex. multidisciplinar). Normalmente, os múltiplos fatores ou protagonistas, embora participem ou atuem conjuntamente, não chegam a se transformar em novos fatores ou protagonistas. No caso da multidisciplinaridade, por exemplo, não há a intenção de se criar uma nova ‘multidisciplina’, e sim de combinar conhecimento de diferentes origens para resolver um problema complexo.

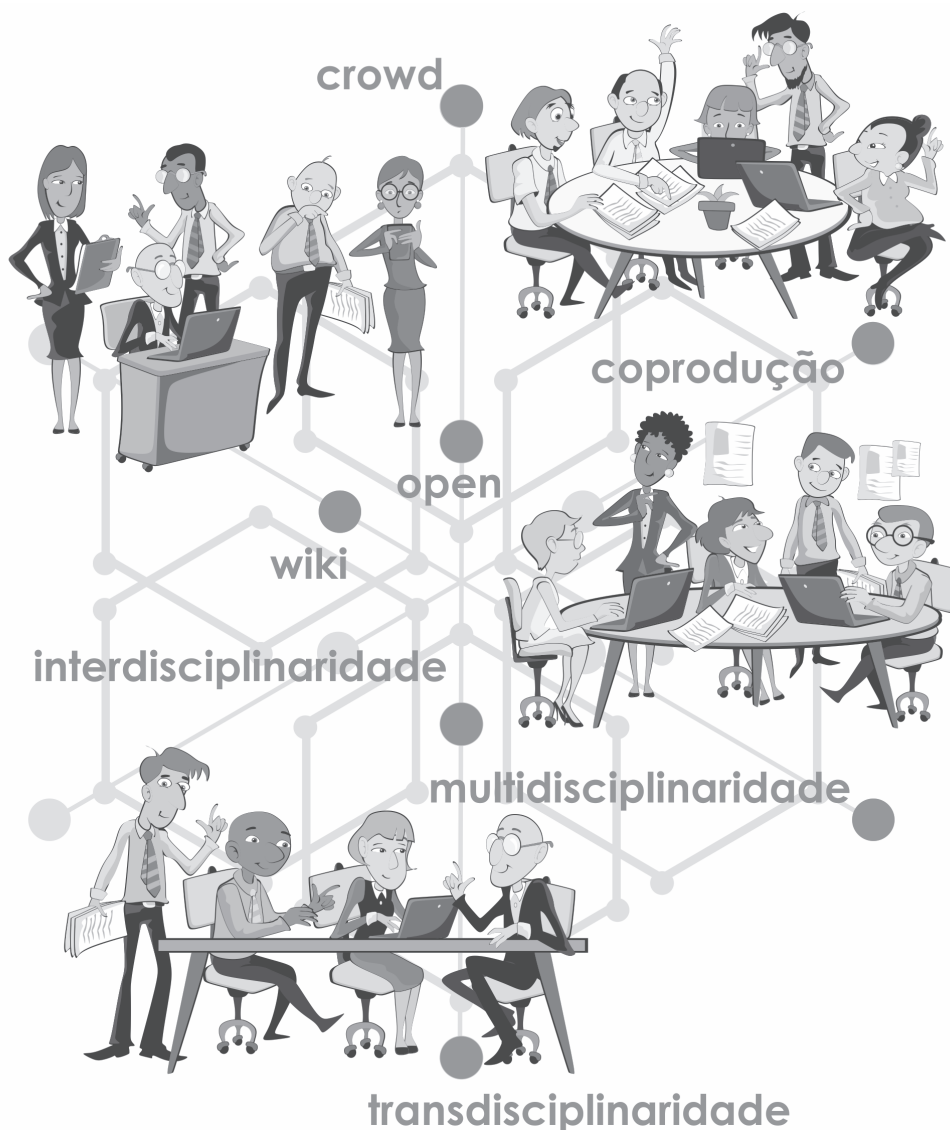
Quando a combinação de múltiplos elementos adquire uma nova identidade, fruto da interdependência de seus elementos, utiliza-se o prefixo ‘inter’, que indica o que está ou surge entre os componentes. Estes podem ser organizações (ex. interinstitucionalidade), regiões (ex. interestadual), países (internacional) ou disciplinas (interdisciplinaridade). A nova identidade está no surgimento de novos fatores ou atores em decorrência da convergência. Na ciência, por exemplo, a interdisciplinaridade leva, com o tempo, à criação de novos métodos, definições e visões que combinam as disciplinas partícipes, dando origem a uma nova ‘interciência’.

Os prefixos ‘multi’ e ‘inter’ denotam combinações de múltiplos fatores ou componentes, respeitando-se, porém, limites previamente estipulados (ex. quanto à natureza ou missão dos partícipes). Já o prefixo ‘trans’ significa ‘através’ ou ‘além de limites pré-existentes’. Quando os limites estão na forma, significa modificar o formato original (transformar). Quando se referem a espaço, significa levar de um lugar para outro (transportar). Na atividade científica, o prefixo refere-se ao conceito da ‘transdisciplinaridade’, que implica ir além dos limites da disciplinaridade (e, também, da interdisciplinaridade). Há diferentes formas de ultrapassar esses limites. Robert Frodeman (2013), por exemplo, sugere que o conhecimento transdisciplinar decorre da participação de atores científicos e

não acadêmicos em atividades de pesquisa, caracterizando, assim, a chamada ‘transdisciplinaridade de coprodução’.

A combinação de vários prefixos pode ilustrar bem o impacto da cultura digital. Milhares de pessoas (*crowd*) podem trabalhar coletivamente na elaboração de documentos (*wiki*), em ambientes acessíveis e gratuitos (*open*). Esses coletivos podem ser de pesquisadores de diferentes áreas resolvendo problemas (projetos multidisciplinares), criando novos saberes pela combinação de ciências (projetos interdisciplinares) ou mesmo trabalhando em conjunto com cidadãos na coleta de dados e em suas pesquisas (transdisciplinaridade).

Figura 2 – Dinâmica das atividades na era digital.



Fonte – Os autores.

A disrupção contemporânea na ciência e na educação é resultado, portanto, de uma série de fatores e fenômenos, potencializados – mas não limitados – pelas possibilidades trazidas pelas TIC. Os novos potenciais tecnológicos impactam a visão, o *modus operandi*, os meios e, também, os protagonistas da atividade científica e educacional. Trata-se de mudanças transformadoras cujos impactos deram origem a termos e campos emergentes que caracterizam a era digital vigente. Para a ciência, definem as bases da chamada ‘ciência digital’, como descrevemos a seguir.

BASES DA CIÊNCIA DIGITAL

A ciência digital é resultado da combinação de múltiplos protagonistas, incluindo cientistas, docentes, estudantes e atores não acadêmicos, que compartilham uma visão de espaço coletivo de produção de conhecimento como um bem comum e viabilizado por múltiplas tecnologias de conectividade. Como todo sistema complexo, a ciência digital é mais bem compreendida se analisarmos a natureza, o funcionamento e, especialmente, as relações de seus elementos componentes, conforme fazemos a seguir.

Visão de ciência: e-Ciência e ciberinfraestrutura

No início dos anos 2000, a National Science Foundation (NSF), agência do governo americano fundada no pós-guerra para o investimento em ciência, apresentou uma nova visão de como as tecnologias computacionais poderiam apoiar a eficiência e eficácia da produção de conhecimento científico, ajudando todos os seus protagonistas (cientistas, engenheiros, estudantes, técnicos e, também, beneficiários). A essa nova visão deu-se o nome de ciberinfraestrutura (*cyberinfrastructure*). (ATKINS, 2003).

Na mesma época, no Reino Unido, John Taylor, então diretor do Conselho de Pesquisa do Ministério de Ciência e Tecnologia Britânico, denominou um programa equivalente de e-ciência (*e-Science*) e e-infraestrutura (*e-infrastructure*). Ele caracterizou e-ciência como uma colaboração global em áreas-chave da pesquisa e e-infraestrutura como a próxima geração de tecnologias que capacitariam a e-ciência.

Tanto a ciberinfraestrutura como e-ciência previram a combinação de infraestrutura, processos, métodos e perfis dos diferentes protagonistas da ciência contemporânea. Em uma análise recente sobre a evolução das noções originais americana e britânica sobre a ciência do século XXI (PACHECO *et al.*, 2018), propomos que esses conceitos dão complementariedade à ciência contemporânea. Desse modo, ciberinfraestrutura pode ser compreendida como a infraestrutura tecnológica, organizacional e, também, cultural que viabiliza a e-ciência. Esta, por sua vez, consiste na produção de conhecimento científico em

projetos com uma comunidade global de pesquisadores de múltiplas áreas do conhecimento, engajados em projetos de pesquisa de fenômenos de interesse mundial, utilizando TIC de última geração.

Assim, a combinação de ciberinfraestrutura e e-ciência viabiliza o desenvolvimento científico coletivo (a *crowd Science*) por meio de redes globais de pesquisa. (LAW *et al.*, 2017).

Além disso, após quase duas décadas desde o começo dos programas americano e britânico, outras visões e termos emergiram, tornando a ciência contemporânea mais um fenômeno característico da era da cultura digital de Miller e da convergência digital de Jenkins. A seguir destacamos aqueles conceitos que nos parecem ser os mais estruturantes para a caracterização da ciência contemporânea.

Causa: bem comum

Ciberinfraestrutura e e-ciência são conceitos que procuram caracterizar a forma como a ciência contemporânea é realizada, ou seja, partem do pressuposto de que a ciência atual é efetivada de forma global, com o apoio de múltiplas estruturas tecnológicas e com impacto sociocultural na organização dos diversos atores protagonistas do trabalho científico.

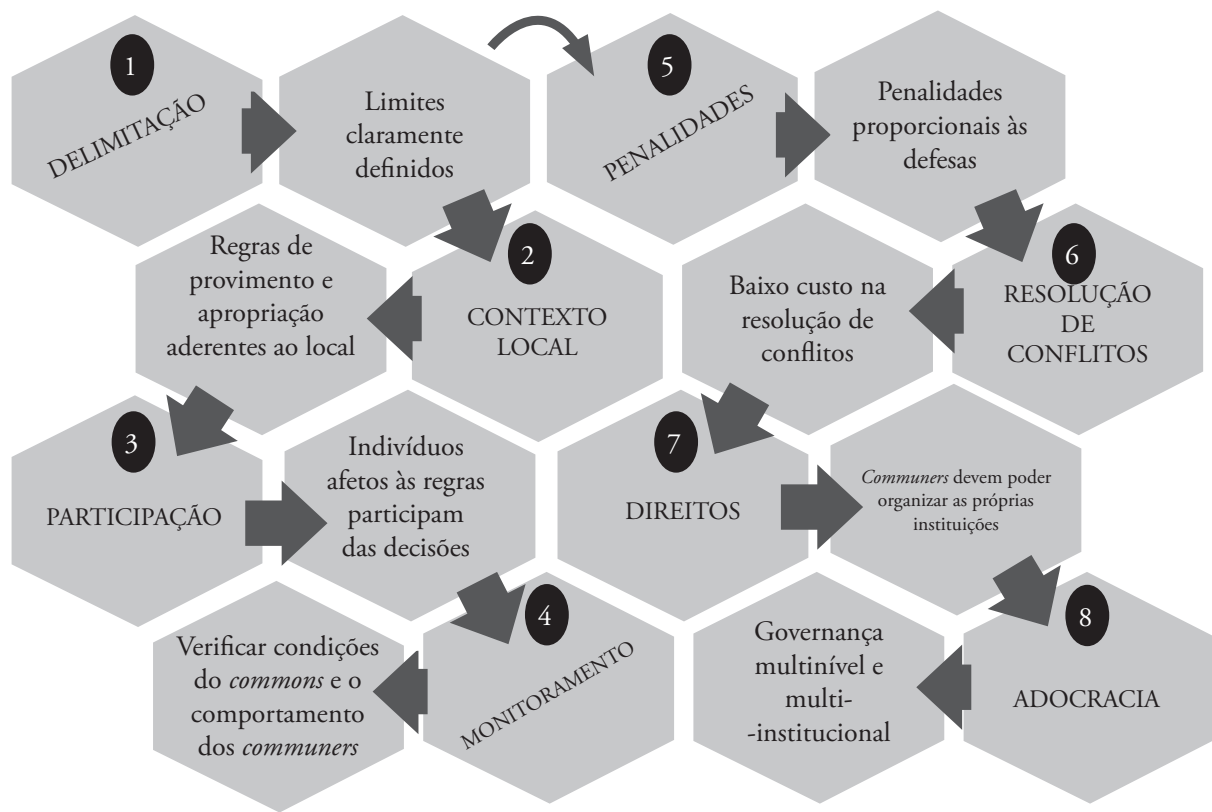
Contudo, há um elemento fundamental à articulação de projetos científicos contemporâneos sem o qual dificilmente essas visões de ciência efetivam empreendimentos sustentáveis e coletivos: o problema investigativo a que se direcionam. Sem um problema relevante e de impacto coletivo, há muita dificuldade de articulação, engajamento e financiamento de projetos da ciência digital.

É nesse contexto que o conceito de ‘bem comum’ ganha especial relevância, pois traz ao projeto a causa, a motivação, a referência que serve de fator de engajamento a seus protagonistas.

Para a ciência digital (e para toda coprodução coletiva), a principal contribuição científica para a compreensão do conceito e relevância do bem comum foi da cientista social americana Elinor Ostrom. Seu prêmio Nobel de Economia, a que nos referimos anteriormente, deve-se ao seu trabalho com a teoria dos *commons*. Nos anos 1970, Ostrom (juntamente a seu marido Vincent Ostrom) indicou a relevância dos arranjos institucionais na gestão de recursos (bens) comuns. Nos anos 1980, após estudar milhares de casos comunitários de gestão de bens comuns, tanto naturais (ex. água, pesca) como produzidos (ex. bibliotecas públicas), a autora identificou oito princípios, que dão identidade, regramento e monitoramento a sistemas coletivos complexos exitosos na geração de bens comuns sustentáveis (OSTROM, 1990), conforme ilustrado na Figura 3.

Em 2007, Elinor Ostrom e Charlotte Hess definiram ‘bem comum’ (*commons*) como “recursos compartilhados por um grupo de indivíduos sujeitos a conflitos sociais”. (OSTROM; HESS, 2007). Essa definição ajuda a compreender os princípios que a pesquisadora havia descoberto nos seus estudos anteriores, representados e classificados na Figura 3.

Figura 3 – Princípios de *commons*.



Fonte – Adaptado de Ostrom (1990).

Em síntese, Ostrom descobriu que bens comuns se tornam duradouros quando: (i) seus limites são claramente definidos e os direitos de seus partícipes em utilizá-los são precisamente identificados (delimitação); (ii) as regras de provimento e apropriação do bem comum respeitam condições locais (contexto Local); (iii) os indivíduos afetos a essas regras também participam de sua elaboração ou modificação (participação); (iv) há acompanhamento tanto do uso do bem comum como do comportamento dos partícipes (monitoramento); (v) há penalidades proporcionais às ofensas dos partícipes no bem comum (penalidades); (vi) os conflitos (que são inevitáveis, por definição) têm baixo custo para resolução (resolubilidade de conflitos); (vii) os partícipes do bem comum devem ter suas regras respeitadas por instituições externas (autonomia); e (viii) há um sistema de governança multi-institucional e multinível em comum (governança).

Esses princípios foram resultado de anos de estudos de Ostrom sobre bens comuns naturais ou produzidos pelo ser humano. Alguns anos após receber o Nobel, a pesquisadora trabalhou com Charlotte

Hess (OSTROM; HESS, 2007) na verificação de *commons* de conhecimento e *commons* digitais (ex. internet, redes sociais). Suas análises indicam que também esses têm princípios semelhantes, mesmo sendo bens que permitem o compartilhamento sem o esgotamento do recurso (ao contrário da água e de outros bens naturais).

Para a ciência digital, os estudos de Ostrom e Hess têm especial relevância, pois caracterizam o propósito, a causa dos projetos realizados pelos coletivos interessados. A noção de bem comum e o respeito às boas práticas de *commons* duradouros ajudam na identificação de propósito, comunicação, resolução de conflitos e governança de projetos da ciência digital.

Coprodução: ciência cidadã e transdisciplinaridade

Embora seja fundamental ao engajamento, a definição clara de um objetivo, uma causa que possa ser virtuosa para seus protagonistas não diferencia necessariamente a ciência digital da ciência tradicional. Além da noção de bem comum entre seus protagonistas, a ciência digital se caracteriza pela presença de protagonistas científicos e não acadêmicos, pela participação cidadã e pela noção de coprodução.

Em 1995, Alan Irwin publicou seu livro **Ciência cidadã** propondo o uso dual do termo: a ciência cidadã significa tanto uma ciência dedicada a atender necessidades e preocupações do cidadão como uma ciência viabilizada e protagonizada pelo próprio cidadão. (IRWIN, 1995).

Essa noção guarda relação direta com a visão de transdisciplinaridade como uma forma de produção de conhecimento da qual participam tanto cientistas como protagonistas não acadêmicos. (FRODEMAN, 2013). Denominamos esse modo de ciência de ‘transdisciplinaridade de coprodução’, sendo esta resultante do protagonismo de múltiplos atores, conscientes de sua contribuição individual e coautores do resultado final.

Na ciência digital, a combinação de ciberinfraestruturas, e-ciência, transdisciplinaridade em projetos de ciência cidadã leva à formação de espaços coletivos, como descrito a seguir.

Espaço semântico: dados abertos, bases científicas e ontologias

Uma das principais características da ciência digital é a formação de um espaço coletivo de dados, informações, taxonomias e ontologias, resultantes da atividade de coprodução de seus partícipes. A esse repositório coletivo comum denominamos ‘espaço semântico’. Pode-se compreendê-lo como um ambiente de múltiplas camadas: dados, informações e conhecimento.

A camada de dados refere-se aos registros sobre indivíduos (ex. pesquisadores, docentes, estudantes etc.), instituições, projetos, produção intelectual e, ainda, registros específicos ao domínio de aplicação da ciência digital (ex. saúde, agricultura, segurança, turismo etc.). Uma das práticas mais relevantes

para a ciência digital nessa camada se refere ao uso de técnicas de dados abertos, dados ligados e outras que permitem explicitar não somente os registros de domínio, mas também as relações entre estes. Tais técnicas dão contexto ao dado, criando uma camada de informações para os partícipes do projeto da ciência digital.

Com o uso de técnicas das engenharias do conhecimento e de ontologias, surge a camada de conhecimento, que tem não somente o dado contextualizado, mas também a semântica, propósito e tomada de decisão sobre o domínio dos projetos. Para isso, são criadas taxonomias (relação de termos categorizados, definidos e relacionados), ontologias e sistemas de conhecimento.

Entre os principais recursos do espaço semântico estão as bases de dados científicas, resultantes do acúmulo de dados, informações e conhecimento sobre domínios e problemas específicos. Essas bases são tanto resultado como insumos à produção de conhecimento científico. Com o uso de técnicas da ciência de dados, Big Data, Data Mining, Text Mining e outras, é possível explorar as bases de dados formadas e derivar novos *insights*.

Tecnologias: conectividade e redes sociais

Na camada de serviços, a ciência digital se vale das tecnologias de conectividade e das redes sociais. Aquelas permitem conectar os diversos atores individuais e institucionais da ciência digital e, também, via dispositivos móveis, reduzir os custos de acesso à ciência por parte da sociedade. Já as redes sociais e demais sistemas de informação *on-line* (ex. portais, *blogs* etc.) permitem a comunicação e viabilizam a coprodução dos atores da ciência digital.

Entre esses dispositivos, destacam-se os aparelhos de celular, cada vez mais robustos em capacidade de processamento e mais acessíveis na escola, com custos que os têm tornado disponíveis até mesmo para as camadas sociais de menor poder aquisitivo. No Brasil, contudo, há ainda o desafio da velocidade de conexão de internet nas escolas públicas, que, quando alcançada, combinada com a difusão dos aparelhos celulares, pode levar a ciência digital ainda mais fortemente para o sistema educacional do país.

Combinadas, as novas tecnologias e as redes sociais somam-se a mudanças de processos e à definição de projetos científicos que têm transformado os laboratórios em ‘colaboratórios’, conforme descrito a seguir.

Trabalho: colaboratórios e experimentação remota

O termo ‘colaboratório’ foi proposto por Wiliam Wulf, em relatório apresentado à National Science Foundation, cerca de uma década antes da agência ter proposto o termo *ciberinfraestrutura*. Wulf definiu esses espaços coletivos de pesquisa como centros “sem paredes, no qual os pesquisadores do país podem realizar suas pesquisas sem considerar a localização física, interagindo com colegas,

acessando instrumentação, compartilhando dados e recursos computacionais e acessando informações em bibliotecas digitais”. (WULF, 1989, p. 7).

Nas décadas seguintes, o termo evoluiu para destacar não somente a utilização de TIC contemporânea, mas, também, os novos processos sociais de trabalho coletivo e a coprodução de conhecimento. Um exemplo é a definição de Cogburn (2003), para quem um laboratório “é uma nova forma organizacional em rede que também inclui processos sociais; técnicas de colaboração; comunicação formal e informal; e acordo sobre normas, princípios, valores e regras”. (COGBURN, 2003, p. 86).

A experimentação remota surgiu entre meados dos anos 1990 e início dos anos 2000, como um novo conceito que combina equipamentos, *software*, acesso *on-line*, controle automático de equipamentos (robótica), processos e experiências científicas que podem ser acessadas por usuários de qualquer local geográfico. Entre as principais aplicações estão o ensino a distância e a prática no ensino fundamental de disciplinas como Matemática, Física e Química. (RNP, 2016).

Para a ciência digital, a experimentação remota é um dos principais recursos para a abertura de laboratórios e a promoção de compartilhamento e coprodução de conhecimento entre pesquisadores de múltiplas origens e a sociedade engajada em projetos científicos.

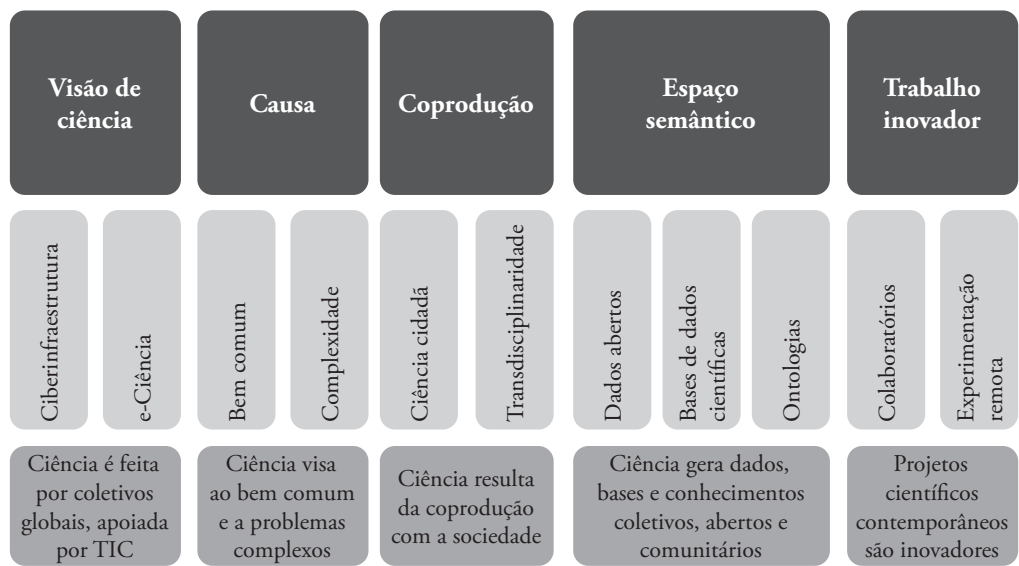
CIÊNCIA DIGITAL

Nas últimas seções descrevemos os construtos que formam a ciência digital e a definem como um empreendimento compartilhado e coletivo de atores científicos e não acadêmicos, em torno de bem comum, com acesso a TIC contemporâneas e coprodução de espaço semântico de dados, informações e conhecimentos. A esses elementos devemos agregar processos, práticas e campos do conhecimento que caracterizam e dinamizam o complexo sistema da ciência digital, conforme descrito a seguir.

Visão geral da ciência digital

Na Figura 4 estão relacionados os construtos descritos anteriormente que formam o cenário contemporâneo que denominamos ‘ciência digital’. Ilustra-se esse novo *modus operandi* de produção de conhecimento científico, em que cientistas, cidadãos, estudantes, professores, gestores, empresários, trabalhadores sociais e demais interessados criam e compartilham conhecimento, informações e dados, apoiados por diversas tecnologias, métodos e práticas de diferentes campos do conhecimento.

Figura 4 – Visão geral da ciência digital.



Fonte – Os autores.

A Figura 4 ilustra o fato de que a ciência digital se inicia pela visão contemporânea de que seus projetos devem ser realizados por coletivos globais, apoiados pelas TIC, com explicitação de seus objetivos de interesse público (bem comum) e, por natureza, complexos. Para enfrentar tais desafios, os projetos da ciência digital incluem noção, valores e práticas transdisciplinares da ciência cidadã, em que a sociedade, além de beneficiária, é coprodutora do trabalho científico.

Como resultado, a ciência digital cria espaços semânticos formados por bases de dados científicos, em formatos abertos e, também, bases de informação e de conhecimento (ontologias). Para tal, utiliza-se de instrumentos contemporâneos de trabalho, em laboratórios conectados globalmente (colaboratórios) e com o uso de ferramentais propiciados pelas novas TIC, como a experimentação remota.

Arquitetura conceitual da ciência digital

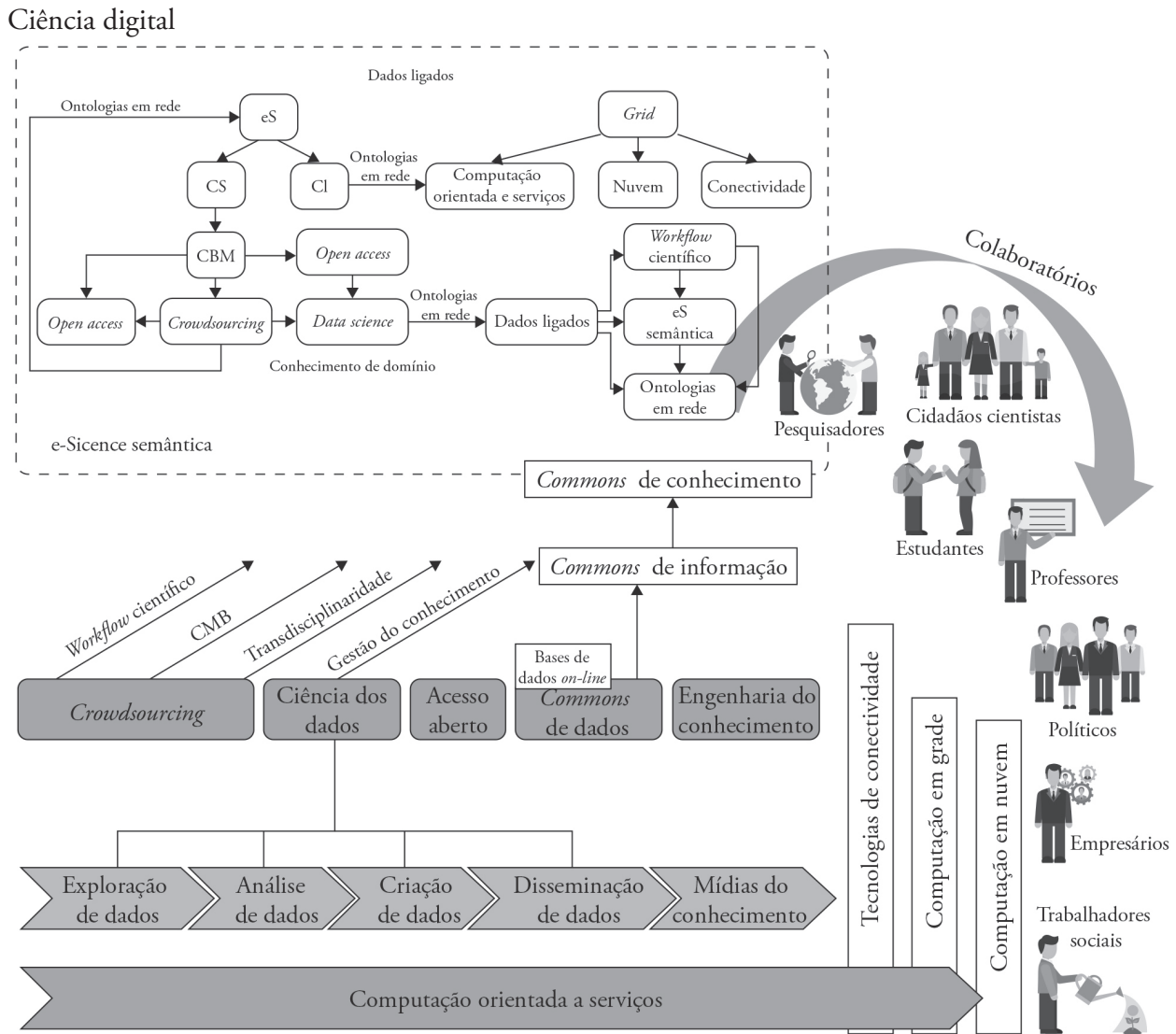
A visão geral ilustrada na Figura 4 abrange praticamente a totalidade de conceitos contemporâneos que afetam a ciência digital. Na prática, no entanto, a combinação desses conceitos requer, ainda, uma ‘arquitetura conceitual’, ou seja, a explicitação de como o sistema da ciência digital dispõe seus componentes e relações.

Recentemente tratamos dessa questão definindo a ciência digital como um sistema complexo, compartilhado por comunidades científicas e sociais engajadas em resolver problemas complexos

baseados no bem comum e no compartilhamento de métodos, dados, informação e infraestrutura tecnológica ou metodológica. (PACHECO *et al.*, 2018).

A Figura 5 ilustra a arquitetura conceitual da ciência digital com seus elementos, fatores e relações impactantes na coprodução de conhecimento.

Figura 5 – Arquitetura conceitual da ciência digital.



Fonte – Pacheco *et al.*, 2018.

No alto da Figura 5 está representado o espaço de conhecimento (semântica coletiva) produzido na ciência digital. Nele, ontologias ou redes de ontologia podem ser desenvolvidas, com base em diretrizes da Engenharia de Ontologias ou da Engenharia do Conhecimento. Mais do que dados e informações, as ontologias representam definições e relacionamentos (ex. sinônimos) e regras válidas para o que se conhece do domínio. A ciência digital pode produzir esse espaço semântico por meio de laboratórios.

À direita na Figura 5 estão representados os protagonistas não científicos de projetos da ciência cidadã, que utilizam de infraestrutura computacional em nuvem, em rede e de dispositivos móveis de conectividade, em modelos baseados na computação por serviços (representada pelo macroprocesso na base da figura).

Ainda na Figura 5, logo abaixo do espaço semântico, estão os processos e campos do conhecimento que dão as bases referenciais para a ciência digital. A produção de conhecimento conjunta com cidadãos exige novos fluxos de atividades (*workflows* científicos), sistemas de acompanhamento de parte da sociedade sobre os avanços da ciência (i.e., *Community Based Monitoring*) e a transdisciplinaridade de coprodução.

Também estão representados na Figura 5 os processos de *crowdsourcing*, ciência de dados (essa explicitada nos subprocessos de exploração, análise, criação e disseminação de dados) e acesso aberto. Esses processos indicam a forma como a ciência digital produz (i.e., por grandes coletivos), explora e oferece seus dados.

Finalmente, ainda na Figura 5, destacam-se os campos da Gestão, Engenharia e Mídia do Conhecimento, como provedores de métodos, metodologias e tecnologias que dão à ciência digital a propriedade de estabelecer um fluxo contínuo de dados, informações e conhecimento, todos percebidos como bens comuns (ou *commons*).

EXEMPLOS DA CIÊNCIA CONTEMPORÂNEA

Casos no mundo

Passadas mais de duas décadas desde que Alan Irwin propôs uma ciência não somente engajada às demandas da sociedade, mas também coproduzida com cidadãos, nota-se sua presença tanto como metodologia de ensino quanto como tipo de projeto executado e financiado por governos. Como demonstram Shah e Martinez (2016), os projetos da ciência cidadã ocorrem desde a escola fundamental até o ensino médio, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Exemplos de projetos de ciência cidadã para Ensino Fundamental e Médio.

Feeder Watch	World Water Monitoring Day	Nature's Notebook, USA Phenology Network
Disponível em: https://feederwatch.org . Acesso em: 4 out. 2019.	Disponível em: http://www.worldwatermonitoringday.org/ . Acesso em: 4 out. 2019.	Disponível em: https://www.usanpn.org/home . Acesso em: 4 out. 2019.
Projeto: os alunos montam dispositivos de alimentação de pássaros e os observam quando estão se alimentando.	Projeto: os alunos usam <i>kits</i> de teste para monitorar a saúde dos mananciais de água locais, medindo o pH, o oxigênio dissolvido, a temperatura e a turbidez.	Projeto: os alunos observam e identificam plantas e animais em uma região para determinar os efeitos das mudanças climáticas globais na vegetação e na vida selvagem.

Fonte – Os autores (com base em casos citados por Shah e Martinez).

Como ilustrado na Figura 6, as áreas educacionais mais beneficiadas pela ciência cidadã estão normalmente associadas às ciências naturais e à sua relação com disciplinas de fundamentos como Biologia e Química. Seus procedimentos têm sido usados em projetos de coleta de dados sobre os tipos e número de aves (ex. projeto FeederWatch), coleta e análise da qualidade da água (ex. projeto World Water Monitoring Day) e observação de plantas e animais (ex. projeto Nature's Notebook).

Além da educação, cabe destacar a contribuição da ciência cidadã à produção de conhecimento científico, tanto na realização de projetos em estreita relação com a sociedade (ex. Programa Scienstarter) como na produção de bases de dados de amplo uso em pesquisas científicas. Entre estas se destaca o projeto eBird (SULLIVAN *et al.*, 2009), uma base digital com milhões de registros sobre sons e vídeos de pássaros ao redor do mundo que tem sido usada como referência em dezenas de trabalhos científicos e exemplifica a mudança disruptiva que a adoção de sensores (internet das coisas) e, especialmente, a relação ciência-sociedade causarão no futuro da atividade científica.

Casos no Brasil

A ciência cidadã não tem alcançado em nosso país a mesma abrangência e o mesmo histórico que em países desenvolvidos. Segundo Nascimento (2018), a ciência cidadã brasileira se limita a projetos locais, com as primeiras experiências relatadas no início da década de 2010, também para observação de pássaros e análise de biodiversidade em atividades de ecoturismo (projeto Ubatuba, em São Paulo). Os autores também mencionam o impacto do acidente de Mariana-MG, que levou à organização de

voluntários que formaram o Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental (GIAIA) para registrar informações ambientais sobre o impacto dos rejeitos do minério de ferro.

Outro caso brasileiro que vai além da ciência cidadã é o Laboratório RExLab da Universidade Federal de Santa Catarina. (RNP, 2016). Criado pelo professor João Bosco Alves em 1997, o laboratório completou duas décadas com um projeto realizado em rede internacional que viabiliza a experimentação remota, via internet.

Segundo os pesquisadores do RexLab, estima-se que apenas 8% das escolas públicas do país têm um laboratório de ciência. O projeto RexLab permite aos alunos realizar experimentos acessando a estrutura física real, controlando-a de forma remota para coletar informações, analisar os experimentos e fazer comparações com o trabalho dos colegas – conectados pela internet das mais diversas origens – para que o aprendizado seja coletivo e facilitado pelo uso de dispositivos móveis. (RNP, 2016). Em 2018 os projetos do laboratório RexLab alcançaram, também, outros países da América Latina e foram implantados no ensino de ciências naturais e engenharias na Universidad Estatal a Distancia (Uned) da Costa Rica. (CHINCHILLA, 2018).

Embora no Brasil tenha casos de destaque em projetos de ciência cidadã e ciência digital, a verdade é que estamos muito aquém do necessário diante dos desafios de nossa nação no alcance das competências requeridas na sociedade do conhecimento contemporânea e muito abaixo do potencial existente diante de nossas dimensões continentais, nossa biodiversidade e nossos problemas complexos com alto potencial de engajamento de estudantes, professores e cientistas.

Uma boa notícia, no entanto, é o fato de que um dos insumos relevantes para a ciência digital – os dados – começam a ser cada vez mais ampliados e disponibilizados para pesquisas em nosso país. Há uma gama de fontes, que incluem dados sobre competências (Plataforma Lattes/CNPq), programas de pós-graduação (Plataforma Sucupira/Capes), inovação (Portal Inovação/MCTIC), teses e dissertações (BDTD/IBICT), documentos disponíveis nas bibliotecas nacionais (OASISBR/IBICT), bem como bases setoriais (ex. saúde/MS, educação/INEP). Desde o advento da lei de acesso à informação, o Brasil tem avançado no desenvolvimento e abertura de seus repositórios de dados. Falta, contudo, avançar para além do controle do cidadão sobre o Estado e o surgimento de aplicações que promovam a coprodução, tendo essas fontes de dados e informações como insumos à promoção de redes.

LEVANDO A CIÊNCIA DIGITAL PARA A SALA DE AULA

Uma vez que conhecemos a estrutura conceitual e os principais atores e fatores da ciência digital, podemos retornar a uma das questões originais deste capítulo: Como nossos professores da Educação Básica podem atuar na formação dos cientistas do futuro?

Essa pergunta remete ao desafio de buscar maneiras de levar a ciência digital para a sala de aula e de desenvolver as competências necessárias a esse modo contemporâneo de se produzir conhecimento.

Contrariamente ao que possa parecer, dado o sistema complexo de elementos, processos e resultados que formam a ciência digital, ela pode ser praticada em sala de aula, em todos os níveis de educação, respeitados os cuidados em projetos e apoio aos docentes. (HARLIN *et al.*, 2018).

Nesta seção, primeiramente destacamos algumas das principais fontes para consulta de projetos com potencial para serem levados à escola, posteriormente apresentamos método e proposta de projeto de ciência cidadã, discutindo, ao final, os aprendizados que a literatura já registra para esse modelo educacional e forma de produção de conhecimento.

Fontes de consulta

Uma das formas mais seguras de tratar desse desafio é verificando quem já realizou experimentos com as características da ciência digital. Felizmente, as fontes de consulta sobre o tema incluem uma gama de programas, organizações e pesquisadores que propõem projetos, práticas, procedimentos e, também, *frameworks* para levar a ciência cidadã para a prática pedagógica de professores, nas mais variadas disciplinas, como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Fontes de estudos da ciência cidadã nas escolas.

Tipo	Descrição	Exemplos
Programas	Promovidos.	Scienstarter, Next Generation Science Standards.
Organizações	Instituições promotoras de programas e projetos em ciência cidadã.	Association of Science Technology Centers (ASTC), Educator Innovator, Common Core; California Academy of Sciences.
Pesquisadores	Estudiosos e praticantes da ciência cidadã.	HARLIN <i>et al.</i> (2018), SHAH; MARTINEZ (2016), GRAY; NICOSIA; JORDAN (2012).

Fonte – Os autores.

Como podemos ver nos exemplos listados no Quadro 1, as oportunidades de aprendizado propostas pela ciência cidadã estão em diversas fontes. Professores podem encontrar desde programas abertos em comunidades globais até estudiosos do tema, passando por programas institucionais de objetivos específicos (como museus e associações científicas).

Para efeitos deste capítulo, propomos, a seguir, um experimento simplificado, com o objetivo de ilustrar os passos que os docentes tomam quando da aplicação da ciência cidadã em projetos de sala de aula.

Projeto de ciência cidadã para a sala de aula

Em programas da Educação Básica e Fundamental, a face mais natural da ciência digital a ser praticada é a ciência cidadã. Mesmo com baixo uso de tecnologia pode-se convidar e motivar a alunos a criarem espaços compartilhados com membros de sua comunidade em torno de temas de interesse comum, que possam ser levados à escola como um experimento transdisciplinar.

Não há um método de consenso para isso. Para efeitos deste capítulo, optamos por combinar a estrutura de atividades proposta por Gray, Nicosia e Jordan (2012) para análise de jornais e por Harris e Ballard (2018) para experimento em Biologia. Nosso objetivo, contudo, está no campo da sustentabilidade urbana, conceito que tem sido cada vez mais presente na vida do estudante das cidades, em todos os níveis. Assim, sugere-se um projeto de ciência cidadã dedicado ao tema da obra **Humane smart cities** (Cidades humanas inteligentes e sustentáveis). (COSTA; OLIVEIRA, 2017).

Para tal, propõe-se um experimento com as atividades descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Proposta de projeto de ciência cidadã para sala de aula.

Etapa	Descrição	Exemplo	Aprendizado
Definir desafio	Definir projeto (desafio que cause engajamento).	Responda: ‘Como podemos tornar nossa cidade mais inteligente, humana e sustentável?’	Compreensão do desafio e da definição dos protagonistas (equipe e comunidade).
Definir equipe	Indicar papéis e responsabilidades da equipe.	Defina o plano de trabalho e os papéis de cada integrante da equipe.	Identificação e cumprimento de responsabilidades e liderança.
Pesquisa de domínio	Buscar conhecimento sobre o tema da experiência.	Responda: ‘O que são Cidades Humanas, Inteligentes e Sustentáveis (CHIS)? Como e o que pode tornar uma cidade ou região uma das CHIS?’	Estudo individual e coletivo dos estudantes sobre o tema da pesquisa.
Instrumentalização	Pesquisar e definir os instrumentos da pesquisa de campo (ex. entrevistas, coleta de dados).	Prepare uma síntese de apresentação da pesquisa para o entrevistado (ex. o que são CHIS) e roteiro de perguntas.	O que são e para que servem protocolos de pesquisa.
Coletar dados	Buscar dados sobre o problema, seguindo protocolo proposto pelo professor.	Coletes sugestões da equipe, de colegas, pais, vizinhos e amigos sobre como melhorar nossa cidade.	Aprender a realizar pesquisa de campo (nesse caso, entrevista semiestruturada).
Analisar dados	Verificar a qualidade, coerência e aderência dos dados aos objetivos da experiência.	Verifique que sugestões se enquadram no conceito de CHIS.	Aprender noções da análise de conteúdo, categorização e aderência a conceitos.

Etapa	Descrição	Exemplo	Aprendizado
Tirar conclusões	Identificar e priorizar conclusões do estudo	Que ideias a equipe considera mais relevantes? Por quê?	Discussão e busca de consenso em equipe.
Comunicar as ideias	Apresentar aos professores e à turma os resultados alcançados.	Apresente os resultados para a turma e registre críticas e sugestões de professores e colegas.	Organização, preparação e defesa oral de trabalhos de natureza coletiva.
Tomar decisões e fazer inferências	Com base no <i>feedback</i> dos professores, colegas e comunidade fazer melhorias e evoluções na pesquisa.	Faça a análise das críticas e sugestões recebidas e refine seus resultados.	Rever análises com base em <i>feedbacks</i> , visão coletiva e planejar evolução de projeto.

Fonte – Os autores.

Como podemos verificar no Quadro 2, o experimento da ciência digital pode ter nove atividades até sua conclusão, a saber:

1. Definir desafio: a primeira atividade de um docente ao determinar seu projeto de ciência cidadã está na definição de um problema, de um desafio que requeira a coleta de dados e/ou a participação tanto dos estudantes como de cidadãos e que venha a gerar dados, informações ou conhecimento de interesse coletivo. Há uma gama de desafios que se enquadram nesse requisito, incluindo o levantamento de dados socioculturais de comunidades (hábitos e costumes locais, preferências culturais, percepções sobre problemas locais), dados ambientais de comunidades (ex. qualidade do ar, nível de poluição sonora, qualidade da água) ou opiniões e/ou ideias sobre problemas complexos (que é o caso sugerido, no tema das cidades humanas, inteligentes e sustentáveis).
2. Definir equipe: no passo seguinte formam-se os grupos de alunos, com a definição dos respectivos papéis na equipe. As responsabilidades podem variar de projeto para projeto, mas é importante que sejam definidos papéis e responsabilidades, bem como o plano de projeto e de entregas.
3. Pesquisa de domínio: na terceira etapa, a equipe inicia seu preparo para as atividades de campo por meio de consulta a material que lhe permita compreender os conceitos que tratará no experimento. No caso proposto, sugere-se a consulta a textos e vídeos sobre o conceito de cidades humanas, inteligentes e sustentáveis. Em nosso projeto são exemplos o Programa Cidades Sustentáveis² ou o Laboratório VIA da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)³. Assistindo a esses e a outros vídeos, bem como consultando documentos, os alunos devem explicitar o conceito de CHIS, suas características e a natureza dos projetos urbanos que fazem uma cidade se tornar uma das CHIS.
4. Instrumentalização: ainda na etapa de preparação, a equipe deve selecionar os instrumentos que utilizará em sua pesquisa de campo. No caso de haver entrevistas, deve-se escrever um

documento para ser apresentado aos futuros entrevistados, com a descrição desses conceitos e com a relação de perguntas que vão trazer o levantamento de percepção que farão sobre CHIS. Entre as perguntas, sugere-se incluir: Quais os principais problemas que temos em nossa cidade/bairro? Como você acha que eles poderiam ser resolvidos? O que você faria se fosse o prefeito para ajudar a resolver esses problemas? O que você faria se fosse um empresário para criar soluções para esses problemas? As escolas poderiam ajudar na resolução desses problemas? Em caso afirmativo, de que forma?.

5. Coleta de dados: de posse dos conceitos e do roteiro de entrevistas, os estudantes podem ir a campo e falar com pais, parentes e vizinhos. Antes, no entanto, devem fazer o levantamento com os colegas para verificar como devem atuar nas entrevistas (ex. marcando horário, não interferindo em respostas a não ser para compreender o que foi dito etc.).
6. Análise dos dados: após a coleta de dados, a equipe deve reunir o que coletou e realizar uma atividade de análise e síntese. Sugere-se que o professor ajude indicando formas de sintetizar ideias e entrevistas (ex. elaboração de mapas mentais) para que os estudantes não demorem muito a descobrir o que coletaram e não percam seu interesse e entusiasmo com a tarefa.
7. Elaboração das conclusões: após analisar os dados, a equipe deve explicitar que ideias/respostas considera mais adequadas para tratar da pergunta-problema da pesquisa. É importante elaborar critérios antes dessa análise (ex. originalidade, relevância, viabilidade) para que a priorização entre as possibilidades da pesquisa seja o mais objetiva possível. Aqui será importante o exercício do consenso entre os integrantes da equipe, especialmente se a relação contar com ideias propostas pelo próprio grupo.
8. Apresentação de resultados (comunicação): a etapa seguinte consiste em apresentação, em sala de aula, dos resultados do trabalho. É importante que os alunos sejam tanto apoiados como incentivados a buscarem formas próprias de levar sua mensagem aos colegas. A habilidade de conhecer previamente sua audiência, preparar o conteúdo e respeitar o tempo de apresentação é cada vez mais valiosa na vida profissional e esse momento da pesquisa ajuda os estudantes a adquirirem essas experiências.
9. Tomar decisões e fazer inferências: finalmente, após obter *feedback* da audiência (outra cognição cada vez mais importante), as equipes devem rever seus resultados (i.e., verificar como as ideias foram recebidas, se a proposta de classificação inicial ainda é a mesma após as discussões) e preparar uma nova apresentação. Os professores podem, nesse momento, optar por uma continuidade na experiência, agora pedindo ao grupo que amplie o projeto de sua ideia, entreviste mais pessoas, procure especialistas ou outras pessoas que possam verificar a viabilidade e valor de sua ideia.

Os procedimentos descritos formam uma proposta-exemplo que procura seguir parte dos aprendizados da literatura em ciência cidadã, tem como problema-sugestão um tema de interesse

crescente para a sociedade e com potencial de engajamento das comunidades, requerendo pouca tecnologia para ser realizado.

Uma das características principais da ciência digital está na exigência de constante preparação por parte de docentes e das instituições de ensino e pesquisa para acompanharem os aprendizados, institucionalizarem os projetos e acompanharem seus progressos na formação e na produção de conhecimento científico coletivo.

Aprendizados da ciência cidadã

Até aqui a literatura e os projetos têm registrado os seguintes aprendizados (HARLIN *et al.*, 2018): (i) é necessário equilibrar objetivos científicos e educacionais; (ii) os docentes necessitam de apoio (treinamento específico para docentes); (iii) deve-se adotar um dos modelos existentes de inserção de ciência cidadã (i.e., adaptação de programa existente, desenvolvimento local autônomo ou parceria entre cientistas e professores); e (iv) ter um planejamento (*roadmap*) para o programa de ciência cidadã na escola (que explicita a relação com o currículo, os recursos necessários, o apoio da administração, os níveis de evolução entre projetos e dentro de cada projeto, treinamento docente, rede de docentes para colaboração sobre a *Web* e relações com a comunidade, incluindo os pais).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há na literatura e em programas educacionais vigentes uma gama de possibilidades para se combinar as ferramentas contemporâneas em TIC, tais como redes sociais e comunidades de prática, em sala de aula. A informática na educação é, em realidade, um campo multidisciplinar que já conta com algumas décadas de pesquisa e produção de conhecimentos. Têm sido diversas as abordagens bem-sucedidas de incorporar as novas TIC na educação, viabilizando educação a distância e inclusiva.

Contudo, quando a questão abrange, também, a democratização do acesso ao conhecimento e o papel das novas tecnologias, verifica-se que há mais a ser compreendido e refletido em sala de aula do que apenas sobre a criação e uso de novas tecnologias educacionais. A discussão sobre a democratização do conhecimento e sua relação com a educação posicionam a reflexão para o papel que ciência e educação têm na sociedade digital em que vivemos.

Neste capítulo, procuramos tratar dessa questão, primeiro, pela caracterização da sociedade contemporânea. Posteriormente, tratamos de uma gama de fatores e elementos que caracterizam a sociedade digital em que vivemos, evidenciando, assim, a ciência digital. Entre os conceitos abordados na compreensão da ciência digital estão a ciência cidadã, a transdisciplinaridade, os dados abertos, os colaboratórios e a coprodução, todos com diferentes impactos sobre a democratização do acesso à ciência.

No plano prático, sugerimos a aplicação de um experimento de ciência cidadã dedicado à melhoria de nossas cidades, problema suficientemente desafiador para provocar engajamento estudantil, de

país e da comunidade e adequadamente delimitado (no conceito de cidades humanas inteligentes e sustentáveis) para ser viabilizado em períodos de curto a médio prazo e em quase todos os níveis educacionais.

A ciência digital veio para ficar. Seus impactos nos sistemas educacionais são plenamente duais: essa modalidade de produção de conhecimento científico necessita de novas competências e espera essa efetividade do sistema educacional e, por outro lado, oferece tanto a esse sistema como à própria produção de conhecimento um arsenal de novas possibilidades, que exigem a capacitação de docentes, diretores de escola e demais protagonistas do sistema educacional.

Evidentemente, nações com educação básica e fundamental sólidas terão menos dificuldade de enfrentar esses desafios e podem liderar o processo global da ciência digital. A questão em aberto é: Como o Brasil se posicionará em relação a mais esse desafio contemporâneo?. Esperamos ter contribuído na direção de uma boa resposta para esta questão.

BIBLIOGRAFIA

- ATKINS, D. **Revolutionizing science and engineering through cyberinfrastructure**: Report of the National Science Foundation blue-ribbon advisory panel on cyberinfrastructure. Arlington, V.A.: The National Science Foundation, 2003.
- CHINCHILLA, K. R. UNED instala laboratorio remoto de Física. **Acontecer Digital**, San José, 2 mayo 2018.
- CLARKE, A. C. **3001: the final odyssey**. [S.l.]: Del Rey Books, 1998.
- COGBURN, D. L. HCI in the so-called developing world: what's in it for everyone. **Interactions**, v. 10, n. 2, p. 80-87, 2003.
- COSTA, E. M.; OLIVEIRA, A. D. Humane smart cities. In: FRODEMAN, R.; KLEIN, J. T.; PACHECO, R. C. S. (Ed.). **The Oxford Handbook of Interdisciplinarity**. New York/Oxford: Oxford University Press, 2017. p. 228.
- ERTMER, P. A.; OTTENBREIT-LEFTWICH, A. Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. **J. Res. Technol. Educ.**, v. 42, n. 3, p. 255-284, 2010.
- FRODEMAN, Robert. **Sustainable knowledge**: a theory of interdisciplinarity. Berlin: Springer, 2013.
- GIBBONS P. *et al.* Cognitive development in ICT contexts. In: WATSON, D. M.; DOWNES. T. (ed.). **Communications and Networking in Education. IFIP – The International Federation for Information Processing**. Boston: Springer, 2000. p. 221-230. v. 35.
- GRAY, S. A.; NICOSIA, K.; JORDAN, R. C. Lessons learned from citizen science in the classroom: a response to 'the future of citizen science'. **Democracy and Education**, Portland, v. 20, n. 2, p. 14, 2012.
- HARLIN, J. *et al.* Turning students into citizen scientists. In: HECKER, S. *et al.* (ed.). **Citizen Science: innovation in open science, society and policy**. London: UCL Press, 2018.
- HARRIS, E.; BALLARD, H. Real science in the palm of your hand. **Science and Children**, v. 55, n. 8, p. 31-37, 2018.

- HESS, C.; OSTROM, E. **Understanding knowledge as a commons**. Cambridge: The MIT Press, 2007.
- IRWIN, A. **Citizen science**: a study of people, expertise and sustainable development. Abingdon: Routledge, 1995.
- JENKINS, H. **Convergence culture**: where old and new media collide. New York: NYU Press, 2006. Disponível em: https://issuu.com/milarj/docs/cultura_da_convergencia_-_henry_jen. Acesso em: 4 out. 2019.
- LAW, E. *et al.* Crowdsourcing as a tool for research: implications of uncertainty. **Computer Supported Cooperative Work – CSCW**, p. 1544-1561, feb. 2017.
- LÉVY, P. **A Inteligência coletiva**: por uma antropologia do ciberespaço. São Paulo: Loyola, 2007.
- MILLER, R. The digital dynamic: how communications media shape our world. **The Futurist**, v. 39, n. 3, p. 31, 2005.
- MORIN, E.; KERN, A. B. **Terra-Pátria**. Porto Alegre: Sulina, 1995.
- NASCIMENTO, A. P. **Status Atual e Possibilidades da Ciência Cidadã para a conservação da biodiversidade no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2018.
- OSTROM, E. **Governing the commons**: the evolution of institutions for collective action. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- PACHECO, R. C. dos S. Coprodução em Ciência, Tecnologia e Inovação: fundamentos e Visões. *In*: PEDRO, J. M.; FREIRE, P. de S. (org.). **Interdisciplinaridade**: universidade e inovação social e tecnológica. Curitiba: CRV, 2016. p.21-62.
- PACHECO, R. C. dos S.; NASCIMENTO, E. R.; WEBER, R. O. Digital science: cyberinfrastructure, e-science and citizen science. *In*: NORTH, K.; MAIER, R.; HAAS, O. (ed.). **Knowledge managing knowledge in digital change**. New York: Springer, 2018.
- PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. Vídeo institucional. 10min17s. Publicado pelo canal Programa Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5sTDik3rUug&index=62&list=LLsfBqTMvdXhLJ4wBwQhYIA>. Acesso em: 28 maio 2018.
- RNP – REDE NACIONAL DE PESQUISA. Brazilian university develops a remote: experimentation tool for public education. **In the Field**, jul. 2016.
- SHAH, H. R.; MARTINEZ, L. R. Current approaches in implementing citizen science in the classroom. **Journal of microbiology & biology education**, Washington, v. 17, n. 1, p. 17, 2016.
- SULLIVAN, B. L. *et al.* eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. **Biological Conservation**, v. 142, n. 10, p. 2.282-2.292, 2009.
- TAPSCOTT, D.; WILLIAMS, A., D. **Wikinomics**: como a colaboração em massa pode mudar o seu negócio. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.
- VIA ESTAÇÃO CONHECIMENTO: Cidades inteligentes. 3min14s. Publicado pelo canal Via Estação Conhecimento. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Bt106F6Hpvw>. Acesso em: 28 maio 2018.
- WOOD, C. *et al.* eBird: engaging birders in science and conservation. **PLoS biology**, v. 9, n. 12, 2011.

WULF, W. A. The national collaborator: a white paper. *In*: LEDERBERG, J.; UNCAPHER, K. **Towards a national collaborator**: unpublished report of a National Science Foundation invitational workshop. New York: Rockefeller University, 1989.

NOTAS EXPLICATIVAS

- 1 CLARKE, Arthur. **3001: the final odyssey**. Nova Iorque: Del Rey Books, 1998.
- 2 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5sTDik3rUug&index=62&list=LLsfBqTMvdXhxLJ4wBwQhYIA>. Acesso em: 4 out. 2019.
- 3 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Bt106F6Hpvw>. Acesso em: 4 out. 2019.

