

Por Trás das Telas: Metodologias Ativas para Desvelar a Poluição Invisível da Era Digital para a Formação Docente

Íris A. S. Locatelli¹, Henrique L. de Barros¹, Gustavo M. de Almeida¹, João Guilherme M. Silva¹, Augusto C. Graeml¹, Rita Berardi¹, Nádia P. Kozievitch¹

¹Departamento de Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) 80230-901 – Curitiba – PR – Brasil

{locatellit,henriqueb.2023,galmeida.2022,joaosilva.2005, augustograeml}@alunos.utfpr.edu.br, {ritaberardi,nadiap}@utfpr.edu.br

Abstract. *Increasing global connectivity leads to "invisible pollution" and the environmental impact of digital infrastructure, posing a significant challenge to mitigating the negative effects of digitalization. In this direction, this article presents a workshop that tackles the issue in an unplugged and multidisciplinary way, aiming to disseminate computing concepts and promote female inclusion in STEM. The workshop shifted participants' perceptions, leading them to develop a more critical view of daily technologies and their environmental impacts, as revealed by the results.*

Resumo. *A crescente conectividade global gera a "poluição invisível", e o impacto ambiental da infraestrutura digital, gerando o desafio de reduzir os efeitos negativos da digitalização. Nesta direção, este artigo apresenta uma oficina que aborda essa questão de forma desplugada e multidisciplinar, buscando disseminar conceitos de computação e promover a inclusão feminina em STEM. A oficina modificou a percepção das participantes, que passaram a ter uma visão mais crítica sobre as tecnologias do dia a dia e seus impactos ambientais, conforme revelado pelos resultados.*

1. Introdução

Com o aumento da conectividade na sociedade contemporânea (aproximadamente 60% da população global está conectada¹), a internet tornou-se uma solução para muitos problemas cotidianos. Embora muitas vezes a sua infraestrutura seja pouco perceptível aos olhos dos usuários, os impactos ambientais são notáveis. Nesse sentido, o impacto poluente gerado pela infraestrutura digital como um todo dá-se o nome de poluição invisível [Istrate et al. 2024].

O impacto ambiental da internet pode ser medido por sua “pegada de carbono”, que reflete a quantidade equivalente de dióxido de carbono (CO_2) emitida durante a atividade de algum processo ou serviço. A pegada de carbono média da internet varia de 28 a 68g de CO_2 por gigabyte (GB) de dados [Obringer et al. 2021]. Esses números indicam o tamanho do desafio em reduzir os impactos negativos da digitalização, especialmente com o aumento global do tráfego de dados e a falta de conscientização

¹ <https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report>

sobre esses efeitos.

O projeto Tichers² tem como objetivo disseminar conceitos de computação de forma desplugada e multidisciplinar. A abordagem desplugada visa a facilidade de reprodução das oficinas propostas em escolas ou locais que tenham infraestrutura limitada. Produzir materiais informativos e educacionais sem reforçar estereótipos é essencial uma vez que a busca pela inclusão feminina na área de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) é um objetivo do projeto. As professoras da educação básica são de suma importância nesse processo uma vez que ajudam a atrair mais meninas para a área desde a escola.

Em 2024, o projeto comprometeu-se a formar professoras da rede pública de Curitiba por meio do curso “Articulações BNCC computação e práticas de Ciência e Tecnologia”, que integra a Base Nacional Comum Curricular (BNCC³) [Junior e Rivera, 2024] computação com o tema anual. Nesse contexto, este artigo apresenta resultados da oficina “Por Trás Das Telas: A Poluição Invisível Dos Dispositivos Eletrônicos”, que teve como objetivo sensibilizar as docentes para os impactos ambientais da internet, tema central deste artigo, com o eixo “Matéria e Energia”, do 5o ano. As próximas seções estão estruturadas da seguinte maneira: As definições de termos importantes utilizados ao decorrer do artigo são apresentadas na seção 2, a oficina na seção 3. Nas seções 4 os resultados obtidos são discutidos respectivamente. As conclusões finais do artigo são apresentadas na seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

A conceituação de poluição invisível está intrinsecamente ligada com a temática principal da oficina: o lixo que não vemos, se demonstrando essencial para desenvolver a abordagem do artigo. Portanto, desse modo, a poluição invisível é definida como as emissões de produtos químicos causada pela manufatura, uso e reciclagem dos produtos de alta tecnologia que não é regulada ou medida com frequência suficiente para sua amplitude ser de conhecimento público, como apontam os autores [Tu 2023] [Wang et al. 2024].

Nesse sentido, a emissão produzida pela manufatura de produtos se mostra pertinente, à exemplo das emissões causadas pela fabricação de celulares, pois, mesmo com uma queda na poluição por unidade de produto, a emissão de carbono causada pelo setor continua a crescer anualmente [Raoux 2023].

Há também a poluição causada pela atividade e uso dos eletrônicos, que é constatada como a fase que tem a maior porcentagem da emissão de carbono da vida útil de um produto, sendo estimada como em torno de 70% do consumo residencial de energia [Wang et al. 2024]. Parte dessa poluição é decorrente da reciclagem imprópria dos produtos eletrônicos, como a de celulares, por exemplo, causada pela maior complexidade na separação dos componentes integrados e pela rápida obsolescência desses produtos [Coelho et al. 2012]. Esse tipo de poluição se demonstra pela reciclagem imprópria de baterias de íon-lítio, usadas em eletrônicos como celulares,

² <https://utfpr.curitiba.br/tichers/>

³ <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>

notebooks e tablets, sobretudo aquelas de carros eletrônicos, que podem ter uma redução em sua emissão de até 48% com a reciclagem apropriada de seus componentes. Por fim, o descarte impróprio se mostra relevante como um complemento ao tópico, visto que o descarte impróprio de eletrônicos tem crescido de 3 a 5% anualmente, tendo como causas principais a rápida obsolescência de políticas públicas estabelecidas para evitar a contaminação pelo descarte dos produtos e o mercado ilegal de reciclagem desses produtos [Liu et al. 2023].

Além de estar presente na manufatura de eletrônicos, a poluição invisível também é pertinente na manutenção da infraestrutura e uso da internet em si, tendo em vista que o consumo de energia elétrica gasto nos data centers é equivalente a 1% do gasto energético global [Masanet et al. 2020]. Essa poluição se demonstra principalmente pela emissão de carbono, sendo de 2 a 4% das emissões de dióxido de carbono globais provocadas pelo setor de tecnologia da informação. Mesmo com esses dados, é essencial salientar a incerteza da precisão dessas informações, pois diversos data centers fornecem dados que possuem uma grande discrepância em valor, mesmo se tratando de produtos similares, como citado por [Gombiner 2011]. É também relevante citar as maiores causas de emissão de carbono no uso e manutenção da internet, que são em sua maioria o gasto contínuo de energia em data centers, principalmente para tecnologias emergentes como inteligência artificial e sistemas conectados, serviços que necessitam de processamento intenso de dados [Masanet et al. 2020].

A responsabilização desses impactos se mostra sobretudo pelas empresas que fornecem os principais serviços de *streaming* e vídeo-conferências, que muitas vezes oferecem opções com resoluções maiores sem informar ao usuário final o aumento das emissões causado por consequência dessa opção. Faz-se, portanto, necessário que as empresas busquem maneiras de limitar essa pegada de carbono [Obringer et al. 2021].

Além dos tipos de poluição citados, de acordo com a BNCC, é necessário apresentar os conceitos de internet, sua poluição invisível e a sua relação com a computação para as professoras do Ensino Básico, sendo os eixos Pensamento Computacional, Mundo Digital e Cultura Digital. Nesse sentido, também se faz necessário abordar a ênfase do Ensino Básico com relação à esses eixos. Segundo o documento da BNCC, os eixos de Mundo Digital e Cultura Digital abordam compreender de forma acessível a importância de proteger e distribuir a informação, e enfatizar uma participação mais inclusiva e democrática dentro da internet, respectivamente. Essas abstrações são enraizadas na oficina apresentada pelo projeto. Ao se considerar o eixo de Pensamento Computacional, o conceito de algoritmo é introduzido: quebrar um processo complexo em passos mais simples.

3. A Oficina

Diante da dependência de tecnologia da sociedade, torna-se fundamental promover a conscientização de educadores e estudantes sobre a relação entre tecnologia e sustentabilidade. Nesse contexto, a Computação Verde se destaca como uma área de conhecimento voltada à redução dos impactos ambientais das tecnologias

da informação, por meio de práticas mais eficientes, conscientes e sustentáveis. Segundo Murugesan (2008), trata-se do estudo e da prática de projetar, fabricar, utilizar e descartar equipamentos e sistemas computacionais de forma eficiente, com o mínimo impacto ambiental. Compreender os princípios da Computação Verde também significa reconhecer que os efeitos da tecnologia vão além do meio ambiente, estendendo-se a aspectos sociais e de segurança digital. Questões como o uso irresponsável de energia, o descarte indevido de equipamentos e o desconhecimento sobre boas práticas tecnológicas podem resultar em riscos para públicos vulneráveis. Nesse sentido, a Computação Verde contribui não apenas para uma tecnologia mais limpa, mas também para uma sociedade mais protegida e informada.

A oficina teve como propósito sensibilizar as participantes e facilitar a análise crítica sobre os impactos ambientais e sociais do uso cotidiano da tecnologia. Para isso, foi proposta uma atividade prática. O conceito de poluição invisível, em particular, foi utilizado como base para explicar, de forma introdutória, como ocorrem as transferências de dados na internet — um conteúdo altamente relevante, considerando o uso frequente da rede por professoras e estudantes em seu cotidiano.

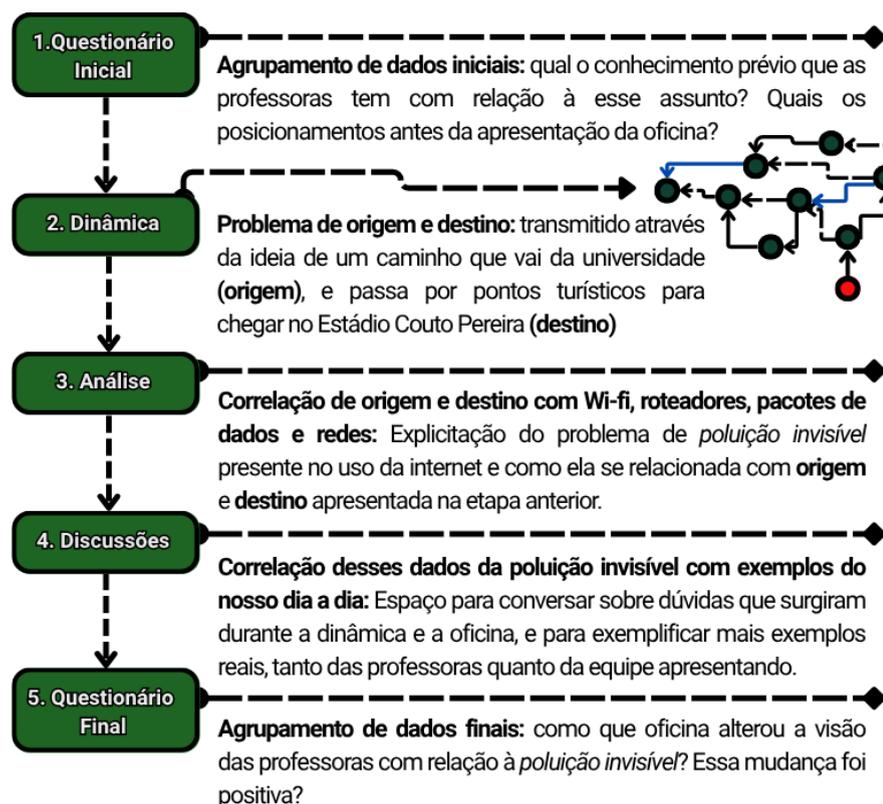


Figura 1. As etapas da Oficina.

A oficina iniciou com um questionário inicial, uma etapa de execução de dinâmica, por outra etapa de análise, discussão e um questionário final (Figura 1). Na etapa da Dinâmica, a oficina inicialmente apresentava o seguintes conceitos: 1)

Definição da poluição invisível; 2) Como ela aparece (Pegada de Carbono⁴ e Pegada Hídrica⁵); 3) Ciclo de Vida de Dispositivos Eletrônicos⁶; e o 4) Impacto da Internet e Atividades Online⁷. A etapa continuou com a Dinâmica, onde as professoras foram inseridas em uma narrativa lúdica baseada em uma campanha da prefeitura, que premiaria aquelas que alcançassem o Estádio Couto Pereira para receber ingressos para o show do cantor Bruno Mars. As participantes foram divididas em quatro grupos, cada um responsável por definir a ordem de saída de casa para iniciar o percurso (problema conhecido na área de transporte como Matriz Origem-Destino⁹). Elas dispunham de cinco rodadas para completar o desafio; caso contrário, teriam que recomeçar do início.

Durante a atividade, as professoras se deslocavam por uma cidade fictícia, delimitada por marcações no chão que simulavam diferentes tipos de caminhos. Ao percorrer os principais pontos turísticos rumo ao destino final, cada movimento era acompanhado pela entrega de uma bala de iogurte – um elemento simbólico que representa o “custo” do deslocamento, antecipando os conceitos de transmissão de dados. Além disso, os caminhos possuíam restrições de tráfego: corredores de ônibus, caracterizados como linhas pontilhadas, permitiam apenas uma pessoa por rodada; ruas do centro, caracterizadas como linhas azuis, comportam até duas pessoas simultaneamente; e vias rápidas, caracterizadas por linhas brancas contínuas, podem ser utilizadas por até três pessoas. Dessa forma, elas precisavam planejar estrategicamente seus trajetos para evitar congestionamentos ou o risco de voltar ao início por falta de rodadas restantes. Após as instruções, as professoras iniciaram seu percurso pelo caminho demarcado (Figura 2), acumulando “balas de iogurte” a cada movimento e registrando eventuais recomeços.

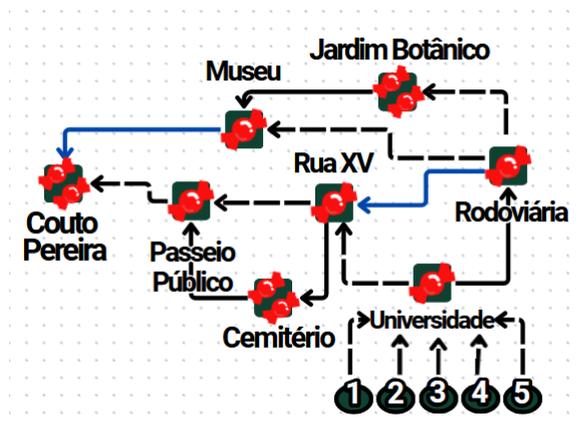


Figura 2. Mapeamento digital do trajeto feito em sala pelas professoras.

⁴ <https://www.jstor.org/stable/26167805>

⁵ <https://research.utwente.nl/files/5146564/Hoekstra09WaterFootprintManual.pdf>

⁶ https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_077_543_11424.pdf

⁷ <https://planbe.eco/en/blog/what-is-the-digital-carbon-footprint/>

⁸ <https://localiq.com/blog/what-happens-in-an-internet-minute/>

⁹ <https://www.imsl.com/blog/solving-transportation-problem>

Na etapa 3, houve a análise do cenário, passando a correlacionar o exemplo com o funcionamento da transferência de dados na internet. Os caminhos pelos quais passaram, anteriormente representando pontos turísticos, na realidade correspondiam a redes de transferência de dados. Os corredores de ônibus, as ruas do centro e as vias rápidas passaram a representar, respectivamente, conexões Wi-Fi, cabos de Ethernet e cabos de fibra óptica. O ponto central da dinâmica, no entanto, era subverter as expectativas das professoras em relação ao acúmulo das unidades de medida. Com a mudança de contexto, essas balas de iogurte passaram a representar as pegadas de poluição invisível deixadas para trás na transmissão de dados. Esse conceito serviu de base para discutir o impacto ambiental dos serviços digitais que elas utilizam diariamente.

A etapa 4 (Discussões) foi iniciada com a definição do conceito da internet, contemplando sua evolução tanto no cenário global quanto no contexto brasileiro. Com o intuito de evitar uma abordagem excessivamente técnica, optou-se por uma abordagem didática e metafórica, a fim de tornar o conceito mais acessível às participantes. Para isso, comparou-se a internet a uma ferramenta de disseminação de informações, utilizando-se da metáfora da “fofoca”. No exemplo apresentado, propõe-se ao grupo imaginar um conjunto de moradoras de uma mesma rua que compartilham informações entre si. Antes do advento da internet, para que uma “fofoca” fosse disseminada, era necessário repassá-la individualmente a cada pessoa, o que tornava o processo demorado e repetitivo. Com a popularização de aplicativos de mensagens instantâneas, como o *WhatsApp*, esse compartilhamento ocorre de forma simultânea por meio de grupos. Analogamente, a internet opera por meio de uma rede de roteadores que, tal como os grupos de mensagens, distribuem e direcionam os dados ao longo de uma cadeia de conexões. Esse modelo viabiliza uma comunicação mais eficiente, eliminando a necessidade de transmissões individuais.

Após toda a contextualização, foi analisado como a internet contribui para a poluição: uso dos equipamentos de acesso, pela transmissão de dados, pelo armazenamento das informações nas plataformas e pelo consumo de energia para mantê-las *online*.

Para mensurar, de maneira lúdica, os resíduos invisíveis gerados pelas plataformas do nosso cotidiano, utilizamos uma adaptação da representação apresentada no artigo de [Nowak et al. 2013]. Nesse estudo, o autor calculava quantas árvores seriam necessárias para compensar a poluição do deslocamento cotidiano de carro. No contexto da nossa oficina, adotamos a aproximação de que 10 girassóis equivalem, em absorção, a uma árvore adulta — que, por estimativa, absorve cerca de 4,1 kg de CO_2 por ano. Assim, cada girassol seria capaz de absorver aproximadamente 0,41 kg de CO_2 por ano.

Para exemplificar a magnitude desse impacto, apresentamos as emissões de duas plataformas populares: o *Youtube*, responsável por gerar cerca de 4 milhões de kg de CO_2 por dia, e o *Google*, que gera cerca de 630 kg a cada 10 segundos [Gombiner 2011]. Utilizando nossa métrica de compensação ambiental, baseada no plantio de girassóis, foi dito que seriam necessários 10 milhões de girassóis por dia apenas para neutralizar as emissões causadas pelo YouTube. Enquanto para o Google, seria necessário o plantio contínuo de 140 girassóis a cada 10 segundos.

Diante desse cenário, apresentamos às professoras estratégias que podem contribuir para a mitigação do impacto ambiental gerado pelo uso da internet. As medidas destacadas foram: 1) a adoção de fontes de energia renováveis para alimentar *data centers* e servidores, reduzindo a dependência de combustíveis altamente poluentes; 2) o desenvolvimento de algoritmos mais eficientes, capazes de otimizar o processamento de dados e diminuir o consumo de energia operacional; 3) o aprimoramento da regulamentação ambiental, por meio do monitoramento de falhas nas normativas existentes acerca das emissões de carbono no setor tecnológico; e 4) a promoção da educação e conscientização sobre a importância da sustentabilidade digital.

4. Resultados e Discussões

O primeiro questionário (Etapa 1), aplicado com o objetivo de investigar os conhecimentos prévios das professoras sobre o tema da poluição invisível, revelou uma expressiva lacuna de entendimento. Ao serem questionadas sobre outras formas de poluição além do descarte inadequado de dispositivos eletrônicos (Figura 3), 42,9% das participantes afirmaram não conhecer ou não conseguir identificar outras possibilidades, evidenciando um desconhecimento significativo sobre os impactos ambientais menos visíveis da tecnologia.

Apesar da pergunta ser aberta, as respostas foram organizadas em seis categorias principais. Entre as alternativas citadas, apenas 10,7% das respostas mencionaram o uso da internet como fator poluente — justamente o foco central da oficina. Observou-se uma tendência maior de associação com impactos mais concretos e tangíveis, como os processos de produção e distribuição de equipamentos (17,9%).

O consumo de energia, que representa uma importante dimensão da pegada ecológica digital, foi pouco lembrado, com apenas 7,1% das respostas. Outras categorias como poluição sonora ou visual, e menções gerais a "outros tipos de poluição", também apareceram com 10,7% cada. Esses dados reforçam a necessidade de ampliar o debate sobre a poluição digital e tornar visíveis os impactos ambientais associados ao uso cotidiano da tecnologia.

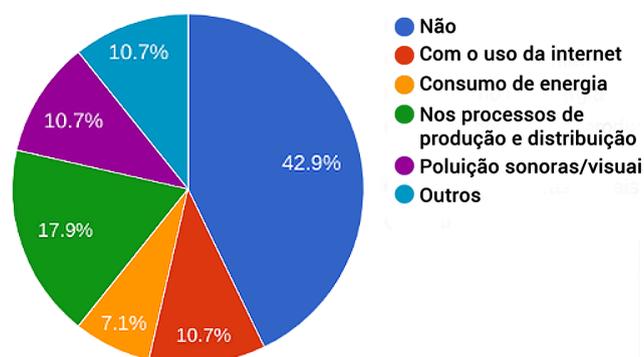


Figura 3. Você imagina alguma outra maneira que dispositivos eletrônicos poluem além do seu descarte incorreto?

Em outra questão do formulário inicial (Figura 4), as participantes foram convidadas a auto avaliar seu nível de conhecimento sobre o impacto ambiental dos dispositivos eletrônicos, em uma escala de 1 a 5.

A maior parte das respostas concentrou-se na nota 3 (58,0%), enquanto as notas mais baixas (1 e 2) somaram 12,5%, indicando uma percepção de conhecimento mais limitada. Por outro lado, 29,6% atribuíram notas mais altas (4 e 5), o que sugere que parte do grupo já possuía algum grau de familiaridade com o tema antes da oficina. Essa distribuição mostra uma diversidade de percepções entre as participantes, com predomínio de uma visão intermediária sobre o próprio nível de conhecimento.

Os dados do formulário final indicam que os conceitos trabalhados durante a oficina foram bem assimilados pelas participantes. Quando questionadas sobre a mudança de percepção em relação à poluição invisível causada por dispositivos eletrônicos (Figura 5 - Esquerda), 82,9% das professoras afirmaram concordar totalmente que sua visão havia sido transformada, enquanto 12,2% concordaram parcialmente. Apenas uma pequena parcela (4,9%) atribuiu uma nota intermediária (pergunta 3).

Essa resposta positiva também se refletiu na avaliação geral sobre a clareza da oficina (Figura 5 - Direita): 90,5% das participantes concordaram totalmente que a atividade contribuiu para elucidar os principais conceitos abordados, e outros 8,0% concordaram parcialmente (pergunta 4). Esses resultados mostram que a oficina foi eficaz em introduzir e esclarecer temas como pegada de carbono digital, impacto ambiental da internet e consumo energético invisível, ampliando significativamente a compreensão das professoras sobre esses assuntos.

Os resultados obtidos evidenciam que a oficina contribuiu para a ampliação do conhecimento das professoras sobre o impacto ambiental dos dispositivos eletrônicos, com relatado pelas próprias professoras. Um ponto interessante a se analisar é a baixa porcentagem de docentes que associava o consumo digital a impactos ambientais, como demonstrado pelos baixos índices de reconhecimento desse fator na fase diagnóstica do questionário.

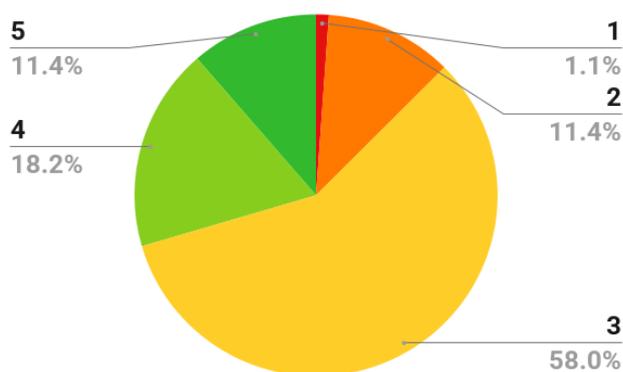


Figura 4: Em uma escala de 1 a 5, como você classificaria seu conhecimento sobre o impacto ambiental dos dispositivos eletrônicos? Sendo 1 pouco conhecimento e 5 muito conhecimento.

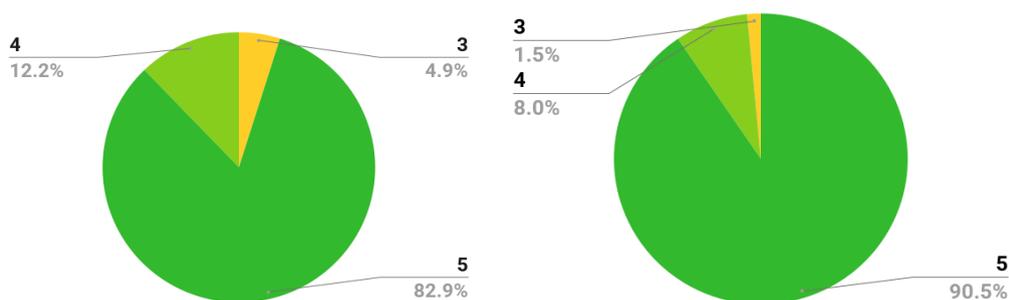


Figura 5: A sua visão sobre os conceitos de poluição invisível gerada pelos dispositivos eletrônicos, mudou após a oficina? (Esquerda) Essa oficina ajudou a elucidar os principais conceitos dos assuntos abordados (Direita).

A diferença entre a percepção inicial e final reforça a importância de iniciativas educacionais voltadas para esse tema. O aumento expressivo no número de professoras que reconheceram a relevância da poluição invisível após a oficina demonstra que o conhecimento sobre o assunto ainda é pouco difundido e necessita de maior atenção em debates acadêmicos e sociais.

Além disso, a expressiva taxa de professoras que declararam ter mudado sua visão e adquirido maior clareza sobre os conceitos abordados demonstra que ações pedagógicas interativas e fundamentadas podem ser estratégias eficazes para ampliar a conscientização sobre temas ambientais. A inclusão desse conhecimento no ambiente escolar pode gerar um efeito multiplicador, pois as professoras, ao compreenderem melhor os impactos da tecnologia no meio ambiente, podem repassar esse conhecimento aos seus alunos, promovendo uma conscientização ainda mais ampla.

Dessa forma, é essencial que mais espaços de discussão sejam elaborados para abordar os impactos ambientais causados pela difusão da era digital. A crescente digitalização das atividades cotidianas e a inclusão tecnológica crescente no currículo educacional torna urgente a necessidade de estratégias sustentáveis para o uso da tecnologia, e iniciativas como esta oficina são passos fundamentais para fomentar essa reflexão. Os slides e orientações para realização desta oficina estão disponíveis no site do projeto TIChers.

5. Conclusão

Atualmente, mais da metade da população mundial está conectada à internet, que se tornou uma ferramenta essencial para resolver problemas do dia a dia. Contudo, apesar de a infraestrutura digital ser frequentemente invisível para os usuários, ela gera um impacto ambiental considerável. Esse tipo de poluição, causada pela tecnologia digital, é conhecido como "poluição invisível".

Nesse contexto, este artigo apresenta resultados da oficina "Por Trás Das Telas: A Poluição Invisível Dos Dispositivos Eletrônicos", que teve como objetivo sensibilizar as docentes para os impactos ambientais da internet. Detalhes da metodologia utilizada e resultados dos questionários são apresentados. O objetivo é auxiliar o entendimento do conceito de poluição invisível, e apresentar as consequências da infraestrutura da internet e dos *datacenters*. A estrutura da oficina está vinculada com os eixos apresentados na BNCC, que se intersectam com a base

curricular do ensino básico, agregando conhecimento para as professoras que participaram da oficina. Nesse sentido, os resultados mostram o impacto que a metodologia desplugada pode ter sobre a visão da tecnologia que as professoras do ensino básico possuem, e o alcance que o projeto possui no âmbito de disseminar o conhecimento, reforçando a importância de espaços abertos para discussão de assuntos que envolvem a computação e trazem clareza com relação a esses tópicos. Dentre os trabalhos futuros, pode-se citar a integração com outros conceitos computacionais e a apresentação e adaptação do conteúdo para outros públicos.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem às professoras da rede municipal de Curitiba pela participação nas oficinas do TIChers, e à UTFPR pelo suporte acadêmico e institucional.

Referências

- Coelho, T. M., de Castro, R., and Gobbo, Jr, J. A. (2012). PET containers in Brazil: A logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3): 291-299.
- Gombiner, J. (2011). Carbon footprinting the internet. *Consilience*, no. 5 (2011): 119–24.
- Istrate, R., Tulus, V., Grass, R.N. et al. (2024). The environmental sustainability of digital content consumption. *Nat Commun* 15, 3724.
- Junior, A. O. C.; Rivera, J. A. (2024) BNCC Computação: O que os acadêmicos de licenciatura precisam saber sobre o Pensamento Computacional?. In: WEI, 32. , 2024, Brasília/DF. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024 . p. 878-891. ISSN 2595-6175
- Liu, K., Tan, Q., Yu, J., and Wang, M. (2023). A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2(1): 100028.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481):984–986.
- Murugesan, S. (2008). Harnessing green IT: principles and practices. *IT Professional*, 10(1), 24-33.
- Nowak D. J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environ Pollut.* 2014 Oct;193:119-129.
- Obringer, R., Rachunok, B., Maia-Silva, D., Arbabzadeh, M., Nateghi, R., and Madani, K. (2021). The overlooked environmental footprint of increasing internet use. *Resources, Conservation and Recycling*, 167:105389.
- Raoux, S. (2023). Fluorinated greenhouse gas and net-zero emissions from the electronics industry: the proof is in the pudding. *Carbon Management*, 14(1).

Tu, W. L. (2023). “Invisible” pollution? knowledge gridlock in regulatory science on electronics toxics. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*, 17(4):435–461.

Wang, J., qun He, Y., and Feng, Y. (2024). Analysis and prediction on carbon emissions from the electrical and electronic equipment industry in china. *Environmental Impact Assessment Review*, 106.