

ML4Teens - Introduzindo *Machine Learning* no Ensino Médio

Jacqueline Cardozo¹, Ramon Mayor Martins¹,
Christiane Gresse von Wangenheim¹

¹Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Caixa Postal 476 – 88.040-900 – Florianópolis – SC – Brazil

j.cardozo@grad.ufsc.br, ramon.mayor@posgrad.ufsc.br,
c.wangenheim@ufsc.br

Abstract. *Considering the relevance of Machine Learning (ML) currently, it has become important to popularize ML concepts already in High School. Yet, so far there are very few initiatives with such a focus available on this educational stage. Therefore, this article presents an online course developed to teach basic understanding and the application of ML and neural networks in High School. A preliminary evaluation indicates that the course can provide an effective, useful and interesting learning experience. Designed in an interdisciplinary way, the course can, thus, be an option for teaching ML focusing on the classification of images with Deep Learning in High School in Brazil in conformity with curricular guidelines.*

Resumo. *Considerando a relevância do Machine Learning (ML) atualmente, tornou-se importante a popularização de conceitos de ML já no Ensino Médio. No entanto, existem poucas iniciativas com esse foco para esse estágio educacional. Portanto, este artigo apresenta um curso online desenvolvido para ensinar a compreensão básica e a aplicação de ML e redes neurais no Ensino Médio. Uma avaliação preliminar indica que o curso pode proporcionar uma experiência de aprendizagem eficaz, útil e interessante. Concebido de forma interdisciplinar, o curso pode, assim, ser uma opção para o ensino de ML com foco na classificação de imagens com Deep Learning no Ensino Médio no Brasil em conformidade com diretrizes curriculares.*

1. Introdução

A Inteligência Artificial (IA) tem cada vez mais se tornado parte do cotidiano das pessoas e assim a aprendizagem de conceitos de IA deve ser também já abordada na educação básica [Burgsteiner et al. 2016]. A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) também enfatiza a importância do ensino de IA para alunos do Ensino Médio provendo a base necessária para uma discussão sobre a interação Homem-Máquina e suas implicações éticas [SBC 2017], sendo condizente com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [MEC 2017] sugerindo o ensino de IA na parte dos itinerários formativos. Dessa forma, o Ensino Médio representa um momento em que os estudantes estão maduros o suficiente para encarar problemas mais complexos na área de IA [Estevez et al. 2019]. Além de preparar os jovens para enfrentar os impactos das transformações digitais, o entendimento de IA pode também encorajar estudantes a considerar carreiras nessa área, atualmente em expansão em termos de oportunidades de trabalho.

Uma das principais áreas dentro da IA, é o *Machine Learning* (ML) que proporciona aos sistemas a capacidade de aprender e melhorar automaticamente com a experiência sem ser explicitamente programado. Assim, o ensino de ML na educação básica inclui uma compreensão dos conceitos básicos de ML, como algoritmos de aprendizagem e fundamentos de redes neurais, incluindo *deep learning* (DL) como uma tendência emergente, bem como limitações e questões éticas relacionadas [Touretzky et al. 2019]. Para que os estudantes se tornem não apenas consumidores de IA, mas criadores de soluções inteligentes, isso também requer o ensino da aplicação desses conceitos [Touretzky et al. 2019]. Enquanto iniciativas de ensino de IA estão sendo propagadas no Ensino Médio em países como Estados Unidos, China e Grã Bretanha, no Brasil há ainda poucos cursos de ML voltado a esse estágio educacional [Marques et al. 2020].

Desta forma o presente artigo apresenta o curso online ML4Teens para ensinar ML no Ensino Médio no Brasil, visando cobrir uma lacuna existente no conhecimento e difusão desta tecnologia emergente. O curso é projetado de forma que permita a sua adoção no formato interdisciplinar, inserida em conteúdo programático na área de biologia.

2. Trabalhos correlatos

Visando a análise do estado de arte em relação a unidades instrucionais voltados ao ensino de ML no Ensino Médio, foi realizado um mapeamento sistemático [Cardozo 2022] atualizando e complementando o mapeamento sistemático realizado por Marques et al. (2020), seguindo os procedimentos propostos por Petersen et al. (2015).

Como resultado, identificou-se poucas unidades instrucionais existentes mundialmente voltadas ao ensino de ML no estágio de Ensino Médio. A grande maioria das unidades instrucionais observadas ensinam abordagens de ML com aprendizagem supervisionada abordando as etapas de preparação de dados, treinamento, e avaliação do desempenho. Uma parte considerável também aborda redes neurais e DL [Bhatia, 2020][Mike et al. 2020]. A maioria das unidades instrucionais conceituam como os dados de treinamento influenciam o aprendizado e abordam limitações de ML. Várias unidades instrucionais encontradas discutem os aspectos éticos e sociais (p.ex., [Norouzi et al. 2020][Gresse von Wangenheim et al. 2020]).

As unidades instrucionais variam em relação ao formato (curso, tutorial, oficina, etc.) com carga horária que varia entre 4 e 80 horas, tipicamente voltados a iniciantes. Foram identificados tantos cursos online [Gresse von Wangenheim et al. 2020][Google 2021], quanto presenciais [Mike et al. 2020][Norouzi et al. 2020]). Observa-se que a maioria dos cursos adotam ferramentas visuais, seja para o desenvolvimento de modelos de ML ou para a implantação dos modelos treinados. Poucos [Mobasher et al. 2019][Neumann 2019] usam ambientes de linguagens de programação textual, como Python em Jupyter Notebooks, ou baseada nesta, como o Google Colab [Mike et al. 2020][Norouzi et al. 2020]. Assim, na maioria dos cursos, mesmo no Ensino Médio, a aplicação dos conceitos de ML fica distante dos ambientes convencionais tipicamente utilizados. Porém, a adoção de uma linguagem textual pode em um primeiro momento dificultar a aprendizagem de ML para iniciantes. Outro ponto fraco é a falta de suporte voltado à avaliação da aprendizagem [Salvador et al. 2021].

Nota-se ainda a falta de cursos em língua portuguesa, como também uma falta de cursos de forma interdisciplinar que poderão ser inseridos em outras disciplinas tradicionais do ensino médio, considerando a ausência de conceitos de IA na BNCC.

3. Metodologia de pesquisa

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de um curso online para o ensino de conceitos básicos de ML no Ensino Médio. Para atingir este objetivo foi adotado o método de *design* instrucional seguindo o modelo ADDIE [Branch 2009] para desenvolver o curso sistematicamente (Figura 1).



Figura 1. Metodologia de pesquisa

Em uma primeira etapa foram caracterizados os aprendizes e o ambiente. Foram levantadas as necessidades e definidos os objetivos de aprendizagem com base em diretrizes curriculares. Em seguida o curso foi projetado, definindo o conteúdo, a sequência e as estratégias instrucionais a serem adotadas. Com base no plano de ensino definido, o material instrucional foi desenvolvido.

De forma preliminar o curso foi avaliado por meio de um painel de especialistas visando a avaliação da qualidade do curso e a identificação de pontos fortes e fracos. Os dados coletados durante a avaliação foram analisados em relação às perguntas de pesquisa, usando métodos quantitativos e qualitativos. Ao final, os resultados foram interpretados e discutidos.

4. O Curso ML4Teens

O curso ML4Teens visa ensinar a compreensão e a aplicação de conceitos básicos de ML a estudantes do ensino médio. Observando que atualmente a maioria dos alunos de ensino médio ainda não tem competências de computação ou de ML, o curso é destinado a iniciantes.

4.1. Objetivos de Aprendizagem

Os objetivos de aprendizagem do curso ML4Teens foram desenvolvidos com base nas competências de alfabetização de IA de Long e Magerko (2020) e as diretrizes do AI4K12 [Touretzky et al. 2019], além de diretrizes curriculares voltado ao ensino de computação. Os objetivos foram selecionados considerando o contexto educacional e a base necessária para conhecimento dos fundamentos de IA/ML e introduzindo conceitos para a realização da tarefa de classificação de imagens da atividade final do curso.

Prevê-se uma aplicação interdisciplinar deste curso à área de conhecimento de

biologia reforçando e dando suporte a aprendizagem de conceitos de botânica, no entendimento sobre as diferentes espécies de árvores endêmicas e nativas de Santa Catarina a fim de realizar um projeto de classificação de imagens de seis espécies de árvores. Dessa forma foi incluído um objetivo de aprendizagem em concordância com a multidisciplinaridade junto ao tema de Botânica [MEC 2017].

Tabela 1. Resumo dos objetivos de aprendizagem do curso ML4Teens.

Objetivo de aprendizagem		Referência(s)
OA1. Conceitos básicos de ML	Identificar exemplos de ML e diferenciá-lo da aprendizagem humana	[AIK12 2020][Long e Magerko 2020]
OA2. Redes neurais	Compreender a estrutura de uma rede neural	[AIK12 2020]
OA3. Preparação de dados	Preparar um conjunto de dados usado para treinar um modelo de ML	[AI4K12, 2020] [Long e Magerko 2020] [CSTA 2017]
OA4. Treinamento de modelo de ML	Treinar um modelo de ML para classificação usando um algoritmo de aprendizagem supervisionada com dados reais e ajustando os parâmetros de treinamento	[AI4K12 2020]
OA5. Processo de ML	Compreender e aplicar as etapas envolvidas em ML, suas práticas e desafios	[AI4K12, 2020] [Long e Magerko 2020]
OA6. Ética de ML	Identificar e descrever diferentes questões éticas acerca de ML	[AI4K12 2020] [CSTA 2017] [Long e Magerko 2020]
OA7. Impactos do IA/ML	Identificar prós e contras de IA e ML para atividades cotidianas e opções de carreira	[CSTA 2017][Long e Magerko 2020]
OA8. Biologia/Botânica	Discutir a importância da preservação da biodiversidade por meio do reconhecimento de espécies de árvores nativas de SC	[MEC 2017]

Apesar do OA8 ser aplicada à área de Biologia e Botânica, o curso ML4Teens contempla conceitos que podem ser utilizados alternativamente em outras áreas do conhecimento, porém, nesse caso necessitando a adaptação da aplicação exemplo.

4.2. Design do Curso

Alinhado ao contexto e aos objetivos de aprendizagem, o curso foi projetado para ensinar iniciantes à tarefa de classificação de imagens utilizando DL. Por ser voltado para estudantes iniciantes não há a necessidade de conhecimento prévio de matemática ou programação. Contudo, projetou-se um curso de curta duração, que pode ser aplicado a distância (considerando a situação da pandemia). Ele também poderá ser aplicado na forma presencial, em sala de aula tanto por professores de biologia ou por professores auxiliares de tecnologia educacional, com mínima formação na área de computação, uma vez que o curso fornecerá todo o conteúdo necessário para o entendimento do tema, assim como avaliação de aprendizagem dos alunos.

Os participantes acompanham e interagem com conteúdos introdutórios e conceituais de ML nas primeiras aulas, incluindo as técnicas de DL (Figura 2). Nas aulas seguintes, desenvolvem um modelo de classificação de imagens de animais (jacaré e capivara) seguindo um tutorial passo-a-passo cobrindo todo o processo de ML. Em seguida, modificam o modelo para a classificação de árvores nativas e endêmicas de SC. Para as atividades práticas é adotada a ferramenta visual Vulcan (Figura 3) [Franz et al. 2022]. Esse ambiente permite de forma intuitiva criar um modelo de ML dentro de um

Jupyter Notebook no Google Colab. Também foram adicionadas atividades extras com o objetivo de estimular os estudantes a explorar mais os conceitos de ML, como a introdução do conteúdo necessário para entender mais profundamente conceitos de redes neurais.

Tabela 2. Plano de ensino do curso ML4Teens.

Aula	Conteúdo	Objetivos de Aprendizagem	Método Instrucional	Material Instrucional	Avaliação
Introdução					
1	Motivação, Aplicações de IA e Conceito de ML	OA1, OA7, OA8	Apresentação interativa, Vídeo, Demonstração	Slides 1, Rápido, desenhos!	Quizzes
Conceitos Básicos					
2	Aprendizagem supervisionada e classificação de imagens	OA1, OA3, OA4, OA5	Apresentação interativa, Demonstração, Vídeo, Atividade prática	Slides 2, Vulcan	Quizzes
3	Redes neurais	OA1, OA2	Apresentação interativa, Vídeo. Demonstração	Slides 3, Digit Recognizer	Quizzes
Processo de ML					
4.1	Preparação dos dados	OA3, OA5, O8	Apresentação interativa, Atividade prática	Slides 4, Vulcan	Quizzes
4.2	Treinamento, Avaliação do desempenho	OA4, OA5, O8	Apresentação interativa, Atividade prática		Quizzes, Avaliação de desempenho
4.3	Predição	OA5, O8	Apresentação interativa, Atividade prática		Quizzes, Avaliação de desempenho
Implicações Éticas e Impactos					
5	Responsabilidade, Defeitos, Preconceito e desinformação	OA6	Apresentação interativa, Vídeo, Demonstração	Slides 5, Máquina Moral	Quizzes
6	Impactos e oportunidades	OA7	Apresentação interativa, Vídeo	Slides 6	Quizzes

4.3. Material Didático

O material didático desenvolvido é composto por apresentações interativas (Figura 2), vídeos com conteúdo imersivo para introduzir conceitos mais desafiadores ou que demandam mais exemplos (Figura 4).

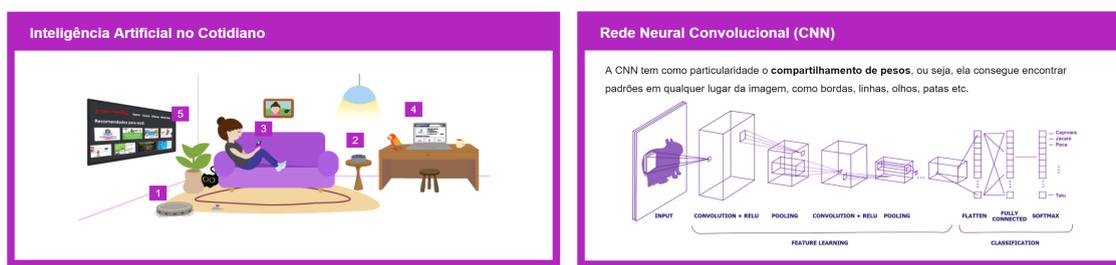


Figura 2. Exemplos de slides interativos

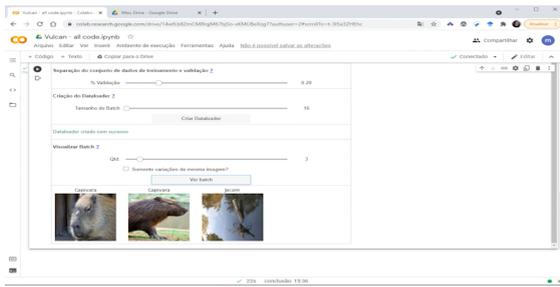


Figura 3. Exemplo do ambiente visual VULCAN dentro de um Jupyter Notebook no Google Colab

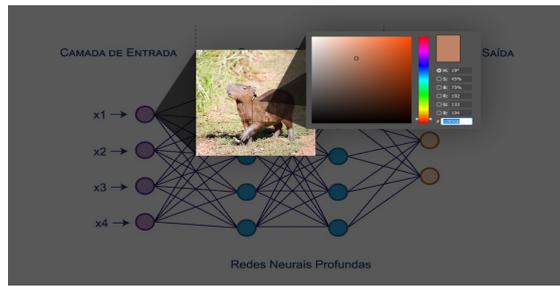


Figura 4. Exemplo de vídeo

Alguns links externos com atividades interativas são disponibilizados para que os alunos explorem recursos fora do curso. Um exemplo é a aplicação “Rápido, desenhe!” (Figura 5), onde os estudantes podem experimentar com um modelo treinado para reconhecer desenhos simples.



Figura 5. Exemplo do “Rápido, desenhe!”

O design e material didático do curso foi desenvolvido com foco no público jovem, dispondo de ilustrações vetoriais, personagens exclusivos, memes e *emoticons*. O curso também possui narrativas como a de Zêd (Figura 6), o alienígena que tem como objetivo mapear a vida terrestre, que convida os estudantes a desenvolverem modelos de classificação de imagens. Esse personagem foi definido com base numa enquete com representantes do público alvo.



Figura 6. Zêd personifica o meme baseado no anime *Brave of the Sun Fighbird*.

4.4. Avaliação da aprendizagem do estudante

A avaliação da aprendizagem do estudante é feita de forma interativa por meio de quizzes (Figura 7) intercalados aos slides. Os quizzes possuem tipos variados, como “arraste e solte”, em que o estudante é convidado a completar termos em frases relacionados ao conteúdo da aula; perguntas com resposta única; múltipla escolha e respostas abertas (Tabela 2).

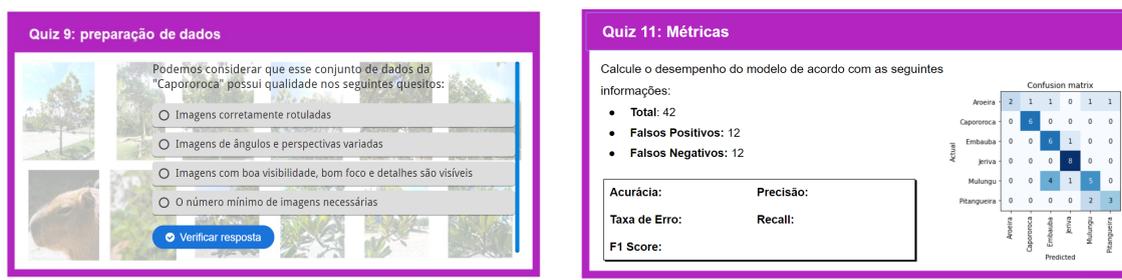


Figura 7. Exemplo de quizzes

Para a avaliação de desempenho a partir do modelo treinado pelo estudante no Jupyter Notebook (Tabela 2), é usado a rubrica do modelo de avaliação proposto por Gresse von Wangenheim et al. (2022). Com base nessa rubrica são avaliados conceitos relacionados à preparação de conjunto de dados, treinamento do modelo e a análise e interpretação do desempenho do modelo treinado.

O curso on-line foi disponibilizado via Moodle. Ele é dividido em aulas utilizando H5P (<https://h5p.org/>), e será disponibilizado no site de cursos da iniciativa Computação na Escola/INCoD/INE/UFSC.

5. Avaliação preliminar da qualidade do curso

Para avaliar a qualidade do curso ML4Teens, foi realizada uma avaliação preliminar em termos de utilidade, adequação funcional, experiência de aprendizagem e usabilidade. A avaliação do curso foi feita por meio de teste de usuário disponibilizado a um painel de especialistas, representados por professores do Ensino Médio, do ensino superior, e alunos. Devido a falta de competências em ML de alunos do Ensino Médio atualmente, foram convidados alunos da graduação e pós-graduação para integrarem o painel. Ao todo, foram convidados 12 participantes por email, dos quais todos participaram na pesquisa (100% taxa de resposta). O objetivo da avaliação foi apresentado aos participantes como também os seus direitos éticos, e foi obtido o seu consentimento para a participação na avaliação. Os dados foram coletados por meio de questionário desenvolvido com base na ISO/IEC 25010 (2011), ISO/IEC 9241 (1998), TAM [Davis 1989] e SUS [Brooke 1996].

Utilidade do curso ML4Teens. Em relação a utilidade do curso, todos os participantes concordam que ele é útil para o ensino de ML para estudantes do Ensino Médio e atende aos objetivos de aprendizagem propostos.

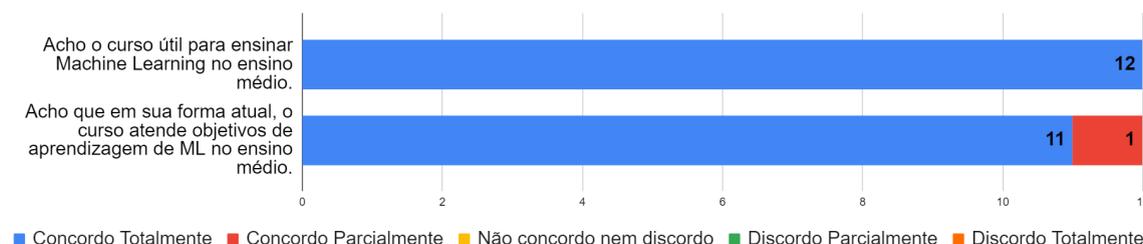


Figura 8. Frequência das respostas referentes a experiência da aprendizagem.

Adequação funcional. De forma geral os participantes consideram o curso adequado. Poucos relataram que há elementos faltantes e alguns erros foram reportados e corrigidos. Apenas referente à aula sobre redes neurais, a maioria dos participantes demonstrou preocupação em relação à complexidade do conteúdo. Como solução, essa aula foi simplificada e também foi organizado o conteúdo mais detalhado em forma de material extra de modo a permitir que os estudantes interessados continuem a poder acessar conteúdos mais complexos.

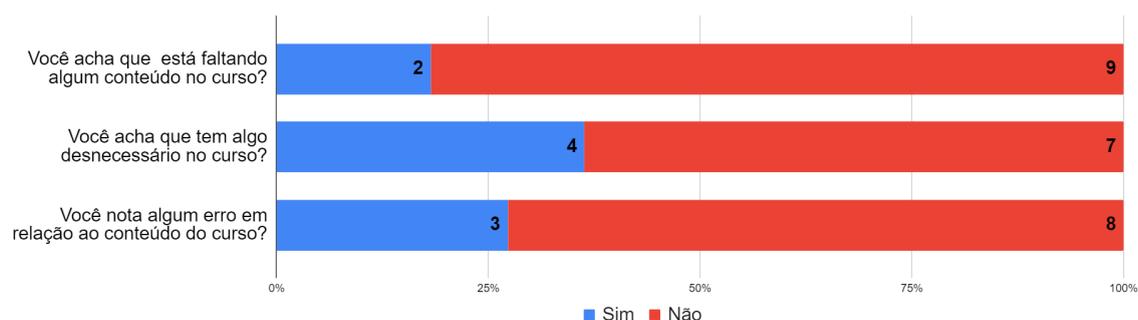


Figura 9. Resultados em relação à adequação funcional e usabilidade do curso.

Usabilidade. De modo geral, houve boa aceitação em relação ao *design* e estrutura do curso, havendo algumas respostas em discordância, focadas na percepção de complexidade do conteúdo ministrado na aula de redes neurais citada anteriormente.

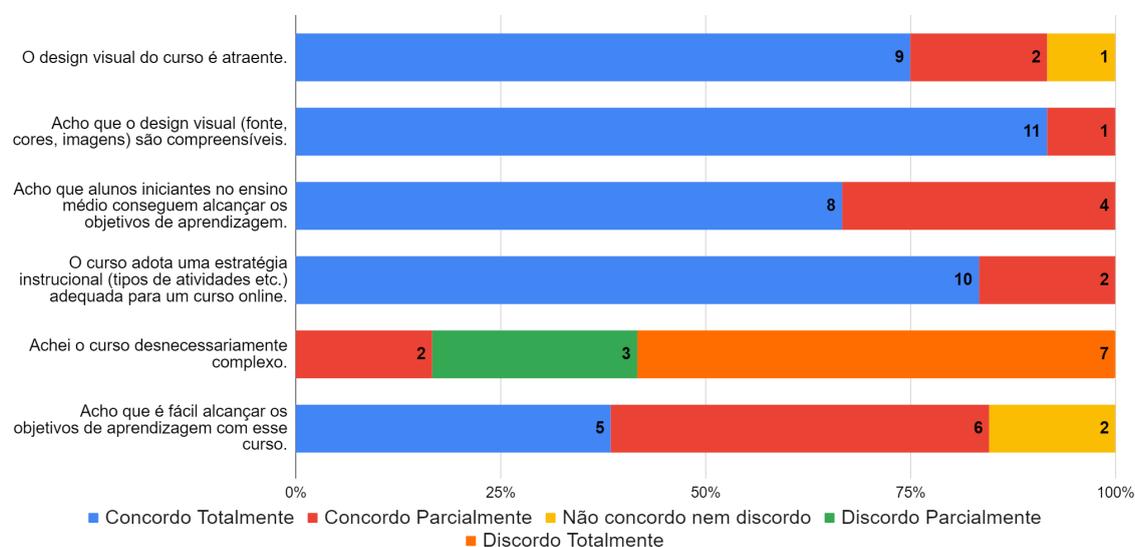


Figura 10. Resultados em relação a usabilidade do curso.

Experiência de aprendizagem. Os resultados mostram que os participantes reconhecem que o curso ensina de forma eficiente, se mantém adequadamente desafiador para o público alvo, além de ser bem organizado, relevante e fácil de entender. Todos participantes relatam que os vídeos e animações foram úteis para a compreensão do conteúdo, o que demonstra o valor desse tipo de material didático em cursos on-line. É também possível inferir que o curso possui potencial para ser aplicado em escolas uma vez que todos recomendariam o uso do curso para outros professores.

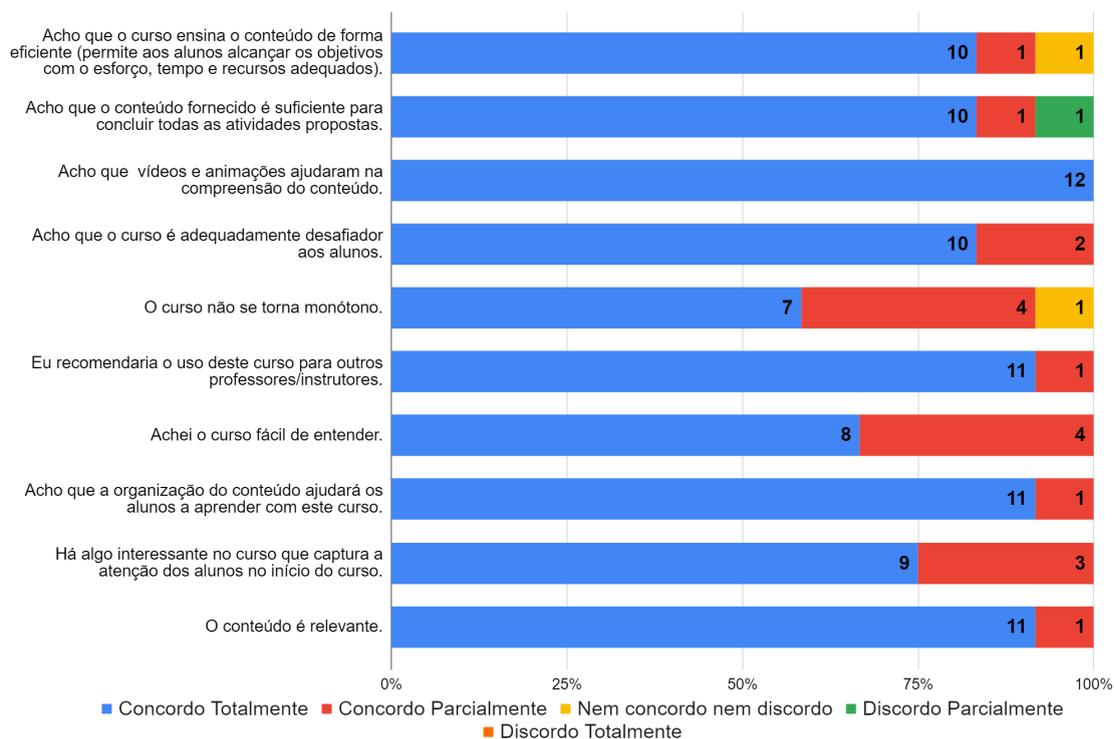


Figura 11. Frequência das respostas referentes a experiência da aprendizagem.

Ameaças à Validade. Os resultados obtidos nesta avaliação devem ser interpretados com cautela limitados a fornecer apenas uma primeira indicação sobre a qualidade do curso. Visando neutralizar a ameaça de possíveis problemas na definição da medição em si, os questionários foram desenvolvidos decompondo sistematicamente o objetivo da avaliação em itens de questionário que adotam a abordagem GQM [Basili et al. 1994]. Embora os participantes do painel de especialistas foram escolhidos com base no perfil que correspondesse aos usuários alvo, a ausência de *feedback* de estudantes do Ensino Médio pode afetar os resultados obtidos. Dessa forma, é necessário realizar estudos futuros com maior número de participantes com o perfil específico do público alvo.

6. Conclusão

O artigo apresenta o curso ML4Teens para o ensino de ML com foco em classificação de imagens no Ensino Médio, alinhado às diretrizes de AI4K12 [Touretzky et al. 2019] e competências [Long e Magerko 2020], além de diretrizes para o ensino de computação. O curso foi sistematicamente desenvolvido, incluindo a definição dos objetivos de aprendizagem, plano de ensino e material didático. Uma avaliação preliminar do curso indica que o curso pode fornecer uma experiência de aprendizagem útil e interessante com boa usabilidade e se adequa aos objetivos de aprendizagem. Dessa forma o curso pode ser uma opção para o ensino de ML enfocando na classificação de imagens com DL no Ensino Médio. O design atrativo, exemplos e os vídeos que expõem o conteúdo de forma interativa foram citados como os pontos fortes do curso, além da adoção do ambiente Vulcan dentro do Jupyter Notebook/Google Colab mais próximo a ambientes convencionais. Como trabalhos futuros, prevê-se a aplicação do curso com usuários do público alvo, estudantes do ensino médio, com

objetivo de refinar e identificar potenciais lacunas no material instrucional, bem como aumentar a validade da avaliação.

Agradecimentos

Queremos agradecer a todos os estudantes, professores, instrutores voluntários e colegas que participaram da pesquisa e das aplicações.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq).

Referências

- Basili, V. R., Caldiera, G., Rombach, H. D. (1994) “Goal, Question Metric Paradigm”. In *J. J. Marciniak, Encyclopedia of Software Engineering*, 528-532. New York: Wiley-Interscience.
- Bhatia, N. (2020) “Using Transfer Learning, Spectrogram Audio Classification, and MIT App Inventor to Facilitate Machine Learning Understanding”. Master thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.
- Branch, R. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*, Athens: Springer, 2nd edição.
- Brooke, J. (1996). “SUS-A quick and dirty usability scale”. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194), 4-7.
- Burgsteiner, H., Kandlhofer, M., Steinbauer, G. (2016). “iRobot: Teaching the Basics of Artificial Intelligence in High Schools”, *Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Phoenix, AZ, USA.
- Cardozo, J. (2022) “Desenvolvimento de um Curso On-line para o Ensino de Machine Learning voltado à Classificação de Imagens no Ensino Médio”. TCC, UFSC, Brasil.
- Davis, F. D. (1989). “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology”. *MIS quarterly*, 319-340.
- Estevez, J. G., Garate, G., Graña, M. (2019) “Gentle Introduction to Artificial Intelligence for High-School Students Using Scratch”. *IEEE Access*, 7.
- Franz, G., Gresse von Wangenheim, C. Hauck, J. C. R. (2022) “VULCAN - A Visual Layer for Jupyter Notebook for Teaching Image Classification with Deep Learning to Novice”, submetido.
- Gresse von Wangenheim, C. et al. (2022) “A Proposal for Performance-based Assessment of the Learning of Machine Learning Concepts and Practices in K-12”. *Informatics in Education*, 21 (3).
- International Standard Organization (ISO). (2011). *ISO/IEC 25010: Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models*, Technical Report.

- International Standard Organization (ISO). (1998). ISO/IEC 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 11: Guidance on usability.
- Long, D., Magerko, B. (2020) “What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations”. *Proc. of the Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA.
- Marques, L., Gresse von Wangenheim, C., Hauck, J. (2020) “Ensino de Machine Learning na Educação Básica: um Mapeamento Sistemático do Estado da Arte”. *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Natal, Brasil.
- MEC. (2017) “Base Nacional Comum Curricular”, http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf.
- Mike, K., Hazan, T., Hazzan, O. (2020). “Equalizing Data Science Curriculum for Computer Science Pupils”. *Proc. of the 20th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, New York, NY, USA, 2020.
- Mobasher, B., Dettori, L., Raicu, D. S., Settimi, R., Sonboli, N., Stettler, M. (2019). Data Science Summer Academy for Chicago Public School Students. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 21(1).
- Neumann, M. (2019). AI education matters: a first introduction to modeling and learning using the data science workflow. *AI Matters* 5, 21–24.
- Norouzi, N., Chaturvedi, S., Rutledge, M. (2020). Lessons Learned from Teaching Machine Learning and Natural Language Processing to High School Students. *Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34(09), 13397-13403.
- Petersen, K. et al. (2008) “Systematic mapping studies in software engineering”. *Proc. of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, Bari, Italy, 68–77.
- Salvador, G., et al. Avaliação de Aprendizagem de Machine Learning na Educação Básica: Um Mapeamento da Literatura. *Anais do 29º WEI – Workshop sobre Educação em Computação*, online, 2021.
- Sociedade Brasileira de Computação (SBC). (2017) “Diretrizes para ensino de Computação na Educação Básica”, <https://www.sbc.org.br/documentos-da-sbc/send/203-educacao-basica/1220-bncc-em-itinerario-informativo-computacao-2>.
- Touretzky, D. S., Gardner-McCune, C., Martin, F., Seehorn, D. (2019) “Envisioning AI for K-12: What Should Every Child Know about AI?”. *Proc. of the 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Honolulu, Hawaii, USA.