



## **Sociedade Brasileira de Computação**

---

Referenciais de Formação para Cursos  
de Bacharelado em Inteligência Artificial

**2024**

## Créditos de elaboração

A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) produziu os referenciais de formação para os cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial (RFIA) que visam auxiliar no desenvolvimento de matrizes curriculares e Projetos Pedagógicos de Curso (PP) em Instituições Superiores no Brasil.

Este documento foi elaborado pelos seguintes membros da SBC, em ordem alfabética: Anne Magály de Paula Canuto, Aurora Trinidad Ramirez Pozo, Denis Deratani Mauá, Gina Maira Barbosa de Oliveira, Itana Maria de Souza Gimenes, Leliane Nunes de Barros e com contribuições de Rosa Maria Vicari.

Como citar este documento:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Referenciais de Formação para o Curso de Bacharelado em Inteligência Artificial. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2024. 53p. DOI [10.5753/sbc.ref.2024.139](https://doi.org/10.5753/sbc.ref.2024.139).

# Organização

Diretoria de Educação (gestão 2019–2023): Itana Maria de Souza Gimenes

Comissão de Educação:

- Anne Magály de Paula Canuto, do Departamento de Informática e Matemática Aplicada (DIM) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;
- Aurora Trinidad Ramirez Pozo, do Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- Denis Deratani Mauá, do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP);
- Gina Maira Barbosa de Oliveira, da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia (UFU); e
- Leliane Nunes de Barros (coordenadora), do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP).

Coordenação da Comissão de IA:

- André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho, Professor Titular do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP),
- Teresa Ludermir, Professora Titular de Inteligência Artificial do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

Contribuição:

- Rosa Maria Vicari, Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Diretoria de Educação (gestão 2023–2025): Claudia Lage Rebello da Motta

# Apresentação

A Sociedade Brasileira de Computação (SBC), por meio de sua Diretoria de Educação e Comissão de Educação, promoveu nos eventos Workshop de Educação em Computação (WEI) 2020 e Curso de Qualidade (CQ) 2021 discussões sobre cursos emergentes na área de Computação no Brasil e no mundo. A partir desses eventos, iniciou-se o processo de produção de referenciais de formação para cursos emergentes, a saber: Ciência de Dados, Cibersegurança e Inteligência Artificial. São cursos já existentes no Brasil e em outros países, porém ainda não fazem parte das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para cursos superiores do MEC. A única DCN para a área de computação é de 2016 e contempla os cursos de Ciência da Computação, Engenharia de Computação, Licenciatura em Computação, Engenharia de Software e Sistemas de Informação.

Assim, a SBC, entende que é seu compromisso perante a comunidade, produzir um material especializado, sobre os referidos cursos emergentes, para orientar as Instituições de Ensino Superior (IES) sobre as competências e habilidades requeridas para formação de profissionais desses cursos. Os referenciais foram desenvolvidos por subcomissões das Comissões Especiais da SBC em interação com a Diretoria e Comissão de Educação da SBC.

Este documento apresenta os referenciais de formação recomendados para a criação de novos cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial.

A tecnologia de Inteligência Artificial (IA) tornou-se cada vez mais importante no mundo moderno devido às suas inúmeras aplicações e benefícios que estão mudando rapidamente a forma como vivemos. Ela gera e elimina empregos, e também muda as habilidades necessárias para a formação acadêmica em muitas áreas do conhecimento. Para que os alunos de hoje consigam trabalho, habilidades de saber usar a IA, saber desenvolver a IA, e saber cocriar com a IA são fundamentais. Esses avanços foram possíveis graças à ampla disponibilidade de grandes conjuntos de dados, ao aumento do poder computacional e às melhorias algorítmicas.

A proposta deste referencial foi inicialmente conduzida por Itana Maria de Souza Gimenes, Diretora de Educação da SBC durante o período de 2019–2023. Uma primeira versão desses referenciais foi elaborado, com início em 2022, pelos pesquisadores e membros das Comissões Especiais de Inteligência Artificial (CE-IA), de Inteligência Computacional (CE-IC), listados a seguir em ordem alfabética:

- Anne Magály de Paula Canuto, do Departamento de Informática e Matemática Aplicada (DIM) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;
- Aurora Trinidad Ramirez Pozo, do Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- Denis Deratani Mauá, do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP);
- Gina Maira Barbosa de Oliveira, da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia (UFU); e
- Leliane Nunes de Barros (coordenadora), do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP).

Os referenciais apresentados neste documento foram enriquecidos com as valiosas contribuições da Professora Rosa Maria Vicari, Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Com sua vasta experiência nas áreas de Informática na Educação e Inteligência Artificial, a Professora Vicari atuou como consultora, recomendando uma série de importantes adições a estes referenciais alinhadas ao novo currículo CS2023 (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023).

Essa versão foi revisada pela Comissão de Educação e pela Coordenação da Comissão de IA, designada como interlocutores da SBC para a elaboração do Plano de Inteligência Artificial, composta por André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho, Professor Titular do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP), e Teresa Ludermir, Professora Titular de Inteligência Artificial do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

Os Referencias de Formação de IA foram aprovados pelo Conselho da SBC, destacando-se as seguintes considerações: O projeto é bem estruturado, com uma linha clara e completa para a formação em IA. Destaca-se pela atualidade e alinhamento com diretrizes internacionais. A organização em sete eixos facilita a compreensão das competências necessárias. A inclusão de aspectos éticos, legais e considerações sobre os impactos sociais é notável, refletindo os desafios atuais. Além disso, o projeto permite flexibilidade para as instituições de ensino adaptarem os referenciais de acordo com suas estratégias e vocações. Por fim, é importante ressaltar a importância da constante atualização desses referenciais, dada a rápida evolução da área de Inteligência Artificial, para garantir que os currículos permaneçam alinhados com as mudanças em curso

Em nome da SBC, expressamos nosso profundo agradecimento a todos envolvidos no processo de desenvolvimento deste documento. Suas contribuições, expertise, empenho, profissionalismo, dedicação foram fundamentais. Acima de tudo, agradecemos pelo senso de responsabilidade demonstrado, pois o resultado final será de grande importância para a sociedade.

Claudia Lage Rebello da Motta  
Diretora de Educação (gestão 2023–2025)

## Sumário

Organização	03
Apresentação	04
Resumo	07
1 Introdução	08
2 Metodologia empregada	10
3 Os benefícios do curso de Bacharelado em Inteligência Artificial para a Sociedade	12
4 Aspectos relacionados com a formação de um profissional em Inteligência Artificial	13
5 Perfil do egresso dos cursos de Bacharelado em IA: competências e habilidades	15
6 Eixos de formação, competências, habilidades e conteúdos	16
7 Relação com as Diretrizes Curriculares Nacionais	41
8 Limitações e Recomendações	43
9 Agradecimentos	45
10 Referências Bibliográficas	46
Illustrative Learning Outcomes:	52

## Resumo

Este documento apresenta os referenciais de formação na área de Computação para a criação de novos cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial (RFIA). Estes referenciais foram construídos utilizando a noção de competências, habilidades e conteúdo, em consonância com as competências definidas pela Força Tarefa em Ciência de Dados da Association for Computing Machinery (ACM) em 2023 e acompanha as últimas atualizações da Força Tarefa em Ciência da Computação (CC) da ACM, Curricula 2023, versão Gamma, que propõe mudanças no currículo de CC fortemente motivadas pelos novos avanços da IA (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023). A estrutura do presente documento segue como base, os Referenciais de Formação para os Cursos de Graduação em Computação 2017 produzidos pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

O perfil do egresso, bem como as competências e habilidades, foram concebidos e agrupados em 7 (sete) eixos de formação e relacionados aos conteúdos necessários para desenvolvimento das respectivas competências. Destaca-se ainda que estes referenciais visam facilitar a construção de projetos pedagógicos de curso nas Instituições de Ensino Superior (IES) nacionais, de acordo com seus objetivos, estratégias e vocações.

# 1 Introdução

Atualmente, a sociedade passa por transformações estruturais, o que é evidenciado pelo avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos, pela difusão e utilização da computação em diversas áreas, pela crescente importância da inovação como fonte de competitividade, pela globalização de mercado e pela convergência de tecnologias. Nesse cenário, amplia-se a necessidade e a possibilidade de formar cidadãos capazes de manter e contribuir para o avanço da tecnologia da informação e da computação, preparando-os para se situar no mundo contemporâneo e dele participar de forma proativa na sociedade e no mercado de trabalho.

A Inteligência Artificial (IA) aborda problemas que são difíceis ou impossíveis de resolver com abordagens algorítmicas tradicionais. Usualmente, ela inclui uma mistura de abordagens simbólicas e conexionistas (ou subsimbólicas).

A definição da Inteligência Artificial, de acordo com a OCDE. IA Policy Observation (OCDE. IA, 2023), e também recomendada pelo referencial curricular CS2023 (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023), é:

“Um sistema de IA é projetado para máquinas que, para objetivos explícitos ou implícitos, inferem, a partir da entrada que recebe, como gerar previsões, conteúdo, recomendações ou decisões que podem influenciar ambientes físicos ou virtuais. Diferentes sistemas de IA variam em seus níveis de autonomia e adaptabilidade após sua implantação”.

Por muitos anos a IA tem sido oferecida como uma disciplina não-obrigatória em cursos de bacharelado em Ciência da Computação (ou cursos relacionados). No entanto, dado o crescimento recente de interesse na área, novos cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial e cursos afins, como Aprendizado de Máquina, Ciência de Dados, etc., têm sido propostos no Brasil, por exemplo: o curso de Bacharelado em Inteligência Artificial da Universidade Federal de Goiás e os cursos de Ciência de Dados e Inteligência Artificial da PUC-RS, PUC-SP e PUC-Campinas.

O surgimento desses novos cursos seguiram uma tendência internacional de criação de diversos novos cursos na área, entre eles se destacam:

- BSc Artificial Intelligence, University of Edinburgh
- Bachelor of Science in Artificial Intelligence, Carnegie Mellon University
- Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Massachusetts

A IA estuda problemas que são difíceis ou impraticáveis de resolver com abordagens algorítmicas tradicionais da Ciência da Computação. As estratégias de solução de IA normalmente generalizam-se sobre classes de problemas. As técnicas de IA estão presentes na computação, em tarefas diárias, como e-mail, redes sociais, imagens, mercados financeiros e assistentes virtuais inteligentes (por exemplo, Siri, Alexa). Essas técnicas também são utilizadas no projeto e análise de agentes autônomos que percebem seu ambiente e interagem racionalmente com ele, como veículos autônomos e outros robôs.



Apesar do aprendizado de máquina ser considerado atualmente o coração da IA, a IA não se resume ao aprendizado de máquina visto que as soluções que a IA fornece baseiam-se num amplo conjunto de esquemas de representação de conhecimento geral e especializado, mecanismos de resolução de problemas, arquiteturas e técnicas de otimização. Logo, estudar IA significa entender como ela usa os dados, primordialmente no aprendizado de máquina, como opera os algoritmos e os modelos de representação e raciocínio.

O estudo da IA também prepara os alunos para determinar quando uma abordagem de IA é apropriada para um determinado problema, identificar representações e mecanismos de raciocínio apropriados, implementá-los e avaliá-los em relação ao desempenho e ao seu impacto social de forma ampla.

Resumindo, estudar IA envolve utilizá-la para resolver problemas e, também, entender como a IA resolve estes problemas. Atualmente, a IA fornece soluções que baseiam-se num amplo conjunto de esquemas de representação de conhecimento geral e especializado, mecanismos de resolução de problemas e técnicas de otimização.

Nesse escopo, a Sociedade Brasileira de Computação, por meio de uma equipe apontada por sua Comissão Especial de Interesse em IA, redigiu os presentes Referenciais de Formação em Inteligência Artificial (RF-IA) visando: i) servir de referência para a elaboração de Projetos Pedagógicos de cursos de Bacharelado em IA, em sintonia com Diretrizes Curriculares Nacionais para Cursos de Graduação em Computação; e ii) auxiliar estudantes e interessados nos cursos de IA a compreender a natureza da formação nesta área.

Os referenciais de IA estão em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN2016), homologadas em novembro de 2016, por meio da Resolução Nº 05 de 16/11/2016 (MEC, 2016). Conforme o Manual de Classificação de Cursos Superiores, o curso de IA faz parte da área 6 – Computação e Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), área detalhada, Soluções computacionais para domínios específicos, rótulo RF-IA – Inteligência Artificial (MEC, 2019).

Este documento está organizado em oito seções. Na Seção 2 é descrita a metodologia empregada na elaboração deste referência. A Seção 3 caracteriza os benefícios dos cursos de Bacharelado em IA para a sociedade. A Seção 4 descreve aspectos relacionados à formação profissional de um profissional em IA. A Seção 5 apresenta o perfil do egresso dos cursos de Bacharelado em IA, indicando as competências e habilidades. A Seção 6 apresenta os eixos de formação, competências, habilidades e conteúdos. A Seção 7 apresenta as relações com as diretrizes curriculares nacionais e as relações entre as competências específicas e as competências derivadas propostas neste documento. A Seção 8 encerra o documento com agradecimentos, e é seguida das referências bibliográficas utilizadas (Seção 9) e mais dois apêndices: o Apêndice A apresenta os eixos formação do referencial curricular CS2023 da ACM/IEEE-CS/AAAI, e o Apêndice B mostra em detalhes um exemplo de currículo para a área de Inteligência Artificial com foco no Aprendizado de Máquina.

## 2 Metodologia empregada

Este documento serve de referencial para a criação de cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial, em instituições de ensino brasileiras. Ele segue um modelo de competências que apresenta sugestões de habilidades e conteúdos distribuídos em eixos temáticos que são necessários para a formação do egresso. Cada competência possui competências derivadas (nomenclatura mantida a partir de outros referenciais já desenvolvidos pela SBC), que podem ser lidas como as habilidades e capacidades a serem adquiridas pelo egresso no final de cada eixo.

Estas competências específicas para a IA, e as demais necessárias para a formação de um egresso em IA, serão especificadas nos eixos de formação deste referencial. Cada eixo possui competências derivadas, que correspondem às habilidades.

Um modelo de competências consiste em especificações de competências, habilidades (ou competências derivadas) e conteúdo. Cada especificação consiste em uma declaração de competência e enumeração das habilidades e conteúdos necessários para completar a tarefa descrita na declaração de competência. Ao agrupar o conteúdo necessário para cada especificação de competência, um modelo de competências ajuda os alunos a fazerem associações entre conceitos complementares de múltiplas áreas de conhecimento (vide as diversas referências a um mesmo conteúdo nas tabelas abaixo descritas). Ao listar explicitamente as tarefas que se espera que um graduado conclua, também facilita a avaliação da aprendizagem do aluno. Ao se desenhar um currículo baseado em competências e habilidades, a pergunta que se faz é: quais habilidades realmente farão diferença na formação dos alunos? E quais conteúdos devem ser abordados para que os alunos adquiram as habilidades?

Nesse sentido, uma competência mobiliza conhecimentos, habilidades, e saberes relacionados à sociabilidade. Ainda, um currículo orientado por competência prioriza o planejamento e a organização curricular de modo a promover e acompanhar o desenvolvimento de habilidades, fundamentada por capacidades mobilizadas para a compreensão de situações relativas a um determinado contexto, neste caso, relacionadas à Inteligência Artificial. Os referenciais curriculares proposto consideram a dimensão da competência como núcleo principal, e a partir dela derivam-se habilidades que mobilizam conhecimentos específicos (conteúdos estruturantes), e saberes sociais que indicam as capacidades técnicas e socioemocionais.

Ainda, os eixos temáticos possuem verbos associados a cada competência derivada que expressam o grau de profundidade que o aluno necessita ter, em cada momento, para adquirir as habilidades relacionadas no eixo. Estes verbos fazem parte da taxonomia de Bloom Revisada (Ferraz e Belhot, 2010) e são descritos a seguir, no contexto da IA. A taxonomia de Bloom descreve os verbos que definem as habilidades requeridas ao ingressante. A taxonomia deve ser entendida de forma hierárquica, a saber:

**CRIAR:** produzir ou projetar algo novo, por exemplo, propor um novo produto (app) de IA; recomendar novas legislações para o uso de sistemas de IA.

**AVALIAR:** justificar ou criticar decisões com base em uma análise, por exemplo utilizar métricas para avaliar o desempenho da aplicação de um determinado algoritmo de IA.

**ANALISAR:** estabelecer conexões entre ideias, por exemplo, comparar o desempenho de diferentes algoritmos/técnicas de IA na resolução de um determinado problema de interesse.

**APLICAR:** usar informações em novas situações, por exemplo, aplicar algoritmos clássicos da IA para um determinado contexto.

**ENTENDER:** ser capaz de explicar ideias e conceitos, por exemplo, entender algoritmos clássicos da IA ou uma teoria que fundamente um algoritmo clássico de IA.

**LEMBRAR:** lembrar ou memorizar fatos e conceitos básicos, por exemplo, lembrar da existência de uma ferramenta de IA, e como usá-la, para resolver um certo problema.

Note que o nível mais alto desta taxonomia é o verbo CRIAR, que engloba todos os verbos de níveis inferiores na taxonomia. Por exemplo, o verbo APLICAR, requer que o egresso também seja capaz de ENTENDER e LEMBRAR.

Esta proposta contempla um conjunto de habilidades que não apenas respeitam os padrões internacionais, mas também incorporam as perspectivas e a experiência nacional em formação em IA.

Os eixos temáticos abordam os temas considerados essenciais, no momento atual do desenvolvimento da IA, para o seu estudo. Estes eixos estão organizados de forma a cobrirem uma ou mais competências e os conteúdos necessários para a formação do egresso. Cada curso deve estabelecer em seu projeto didático-pedagógico a forma como tais conteúdos serão ministrados em abrangência e profundidade a fim de que as características definidas no perfil do egresso sejam atingidas.

### 3 Os benefícios do curso de Bacharelado em Inteligência Artificial para a Sociedade

Nas últimas décadas, a Inteligência Artificial (IA) passou de uma área de interesse puramente acadêmico para uma área de grande interesse econômico e da sociedade em geral como pode ser visto no AHI Stanford University, 2023, <https://aiindex.stanford.edu/report/>. Tal crescimento se refletiu no surgimento de vários cursos de nível superior de formação de profissionais mais especializados na área.

A IA já nasce multi e interdisciplinar, em 1958. Ela sempre esteve muito ligada à ciência da computação, mas não só. Desde de a sua origem ela foi sendo influenciada por outras ciências, por exemplo, a psicologia e a filosofia, com os modelos de conhecimento e as arquiteturas intencionais. Recentemente, passou também a influenciar e ser influenciada por outras áreas do conhecimento, por exemplo, a neurociência (hoje se fala em máquinas que imitam o cérebro e máquinas que aumentam o cérebro). Estudos interdisciplinares entre essas áreas renderam à IA, os modelos matemáticos como o perceptron (Rosenblatt, 1958) e as redes neurais com backpropagation (Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986). Ainda, com a evolução do poder de computação, do volume de dados disponíveis e da pesquisa em neurociência e em ciência cognitiva, impulsionaram o desenvolvimento da técnica de aprendizado profundo – esta denominação de profundo refere-se ao fato de que o algoritmo utiliza uma rede neural com grande quantidade de camadas ocultas e neurônios digitais interconectados, processando milhões de parâmetros – uma arquitetura complexa que alavancou o desenvolvimento da IA nos últimos 10 anos (Wang; Benning, 2020).

O bacharel em Inteligência Artificial precisa, além de saber como usar a IA para resolver problemas, também precisa pensar sobre a IA, isto é entender como a IA resolve os problemas, quais seus riscos e vantagens e quais seus limites e potencialidades para a sociedade.

Tradicionalmente, a IA inclui uma mistura de abordagens simbólicas e subsimbólicas. As soluções que a IA fornece baseiam-se num amplo conjunto de esquemas de representação de conhecimento geral e especializado, mecanismos de resolução de problemas e técnicas de otimização. Essas abordagens lidam com percepção (por exemplo, reconhecimento de fala, compreensão e geração de linguagem natural, visão computacional), resolução de problemas (por exemplo, busca, planejamento, otimização), ação (por exemplo, robótica, automação de tarefas, controle) e as arquiteturas necessárias para apoiar estes sistemas (por exemplo, agentes únicos ou sistemas multiagentes). O aprendizado de máquina pode ser usado em cada um desses aspectos e pode até ser empregado de ponta a ponta em todos eles. Ou seja, a IA congrega várias tecnologias para resolver problemas.

A formação sólida de bacharéis em IA influenciará decisivamente na melhoria e na evolução do país e da sociedade como um todo, no que se refere ao atendimento das demandas de inovação, na evolução das empresas e dos cidadãos.

## 4 Aspectos relacionados com a formação de um profissional em Inteligência Artificial

O estudo da IA prepara os alunos para determinar quando uma abordagem de IA é apropriada para um determinado problema, identificar modelos e representações e mecanismos de raciocínio apropriados, implementá-los e avaliá-los em relação ao desempenho e ao seu impacto social mais amplo.

Segundo a proposta da UNESCO (UNESCO, 2023), o letramento em IA consiste no:

- letramento em dados,
- letramento em algoritmos e
- letramento em modelos.

Ou seja, o uso de dados, de algoritmos, e de modelos, estatísticos e/ou simbólicos, permite que as máquinas, além de coletarem e processarem dados durante tarefas de aprendizado, possam também raciocinar sobre os modelos aprendidos. O letramento em IA pode ser alcançado através dos eixos de conteúdos definidos neste referencial curricular.

Os três componentes do letramento em IA, apontam as competências específicas da IA que serão abordadas nesta proposta de referencial curricular, que são:

- percepção/atuação: como as máquinas percebem e atuam no mundo. Agentes inteligentes possuem formas de interagir com humanos – ou com outros sistemas – de maneira mais natural, através de textos, da fala, de imagens ou de movimentos). Desta forma, a coleta de dados é feita de maneira automática;
- representação e raciocínio (máquinas usam representações do mundo – projetadas por desenvolvedores – e as utilizam para raciocinar e tomada de decisão);
- aprendizado de máquina: os computadores conseguem aprender modelos para raciocínio e tomada de decisão a partir de dados. Nos últimos anos a IA tem focado ainda mais em novas formas de representação do mundo, isto é, passaram de modelos projetados pelos desenvolvedores, para modelos aprendidos a partir dos dados ou híbridos; e
- impactos sociais: a IA tem impactos que assumem formas positivas e negativas na sociedade, distinguindo seu uso e desenvolvimento ético e responsável, incluindo ainda, questões legais, confiança e explicabilidade. Pensar sobre a IA ajuda a construir o pensamento crítico dos alunos.

Há uma grande intersecção da IA com a computação e a ciência de dados. Enquanto a mineração de dados desenvolve metodologias para explorar os diferentes tipos de dados que são coletados nos diferentes ambientes, o learning analytics refere-se diretamente à medição, à coleta, à análise e à produção de relatórios e insights sobre os contextos, permitindo que se possa melhor compreender e otimizar os cenários estudados. Ou seja, a área de conhecimento de IA possui intersecção com ciência de dados por meio de conexões cruzadas com a área de conhecimento de gestão de dados.

Da mesma forma, existem objetivos explícitos para desenvolver a literacia básica em IA e o pensamento crítico em todos os estudantes de ciências da computação, dada a amplitude das interconexões entre a IA e outras áreas de conhecimento na prática. É mais fácil falar sobre o que a IA tem para além da computação ao invés do que elas compartilham. A IA vai além da perspectiva da lógica e dos algoritmos e enfatiza aspectos como, um conjunto de representações, nem sempre estruturadas, para contextualizar a resolução de problemas diversos, raciocinar por padrões permitindo o processamento de semânticas e contextos e a capacidade de aprendizado dos algoritmos. Ou seja, da mesma forma que a IA dialoga com várias ciências ela possui intimidade com muitas disciplinas da Computação.

Esses aspectos têm como objetivo garantir uma formação mais holística levando o egresso a refletir sobre o mundo, a entender e resolver problemas computacionais aplicados em diversas áreas e sabendo agir de forma consciente, ética, empreendedora e inovadora, contribuindo para a evolução e melhoria da sociedade. Para isso, durante o curso de Inteligência Artificial, é importante que o estudante tenha oportunidade de desenvolver os seguintes aspectos complementares à sua formação:

- Atuar com diferentes profissionais de diferentes áreas para identificar oportunidades do mercado e atender as necessidades da sociedade, sabendo trabalhar em equipe.
- Praticar a interdisciplinaridade para que possa atuar em diferentes domínios de sistemas computacionais.
- Ter a capacidade de resiliência frente à evolução acelerada da IA.
- Realizar ações empreendedoras na busca de soluções mais eficazes, incluindo novas tecnologias, produtos e serviços.
- Aprender de forma contínua e autônoma sobre métodos, instrumentos, tecnologias de infraestrutura e domínios de aplicação da computação, além de se adequar rapidamente às mudanças tecnológicas e aos novos ambientes de trabalho.
- Exercitar a inovação em IA, por meio de conhecimentos científicos e tecnológicos que vão além dos necessários para suas aplicações tradicionais (incluindo a possibilidade de criar o seu próprio negócio)
- Participar de intercâmbio e internacionalização da ciência e tecnologia.
- Envolver-se em pesquisa científica.
- Interagir com empresas, por meio, por exemplo, de estágio, laboratórios-empresa e empresa júnior.
- As aplicações de IA podem ter impactos significativos na sociedade, afetando tanto indivíduos como a coletividade. Isto traz a necessidade que os alunos compreendam as implicações do trabalho em IA para a sociedade e que façam escolhas responsáveis sobre quando e como aplicar técnicas de IA.

## 5 Perfil do egresso dos cursos de Bacharelado em IA: competências e habilidades

A seguir, é apresentado o perfil específico de egressos dos cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial em termos de competências e habilidades específicas. Esses elementos adicionam características específicas para o perfil do egresso em Inteligência Artificial, e estão relacionados (vide Seção 7) com o que foi estabelecido no Art. 4o. e Art. 5o para a área de Computação na Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN16).

Assim, levando em consideração a flexibilidade para atender as diferentes vocações institucionais, espera-se que os egressos dos cursos de bacharelado em Inteligência Artificial possuam ao final do curso, as seguintes competências específicas (detalhadas em mais profundidade na Seção 6):

- CE-I – possuir sólida formação em Ciência da Computação, Matemática e Estatística que os capacitem a construir soluções computacionais para problemas complexos;
- CE-II – conhecer os principais paradigmas de sistemas de IA e os processos envolvidos na sua construção e análise. Por exemplo, sejam capazes de identificar se uma dada aplicação requer o uso de formalismos de representação de conhecimento, de raciocínio automático ou de otimização, dentre outros;
- CE-III – dominar o uso de técnicas de aquisição, tratamento, mineração e visualização de dados e de algoritmos de aprendizado de máquina;
- CE-IV – ser capaz de criar soluções, individualmente ou em equipe, para problemas complexos; reconhecer o caráter fundamental da inovação e da criatividade e compreender as perspectivas de negócios e oportunidades comerciais relevantes na área de Inteligência Artificial;
- CE-V – ser capaz de agir de forma consciente na construção e no uso de sistemas de IA, compreendendo seus impactos diretos e indiretos sobre a sociedade e os indivíduos no que tange a questões de privacidade, transparência, equanimidade e preconceito implícito em sistemas de software e bases de dados, entre outras.

## 6 Eixos de formação, competências, habilidades e conteúdos

Os Referenciais para Cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial (RF-IA) estão estruturados de acordo com o modelo conceitual apresentado na Seção 2. As trinta e uma (31) competências derivadas (habilidades), gerais e específicas, definidas para os egressos dos Cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial foram agrupadas em sete **eixos de formação**.

Cada eixo de formação corresponde a uma macro competência e relaciona um grupo de competências derivadas, as quais, se desenvolvidas em conjunto, levarão o estudante a atingir a competência do eixo. Em conjunto, possibilitam o egresso de um Bacharelado em Inteligência Artificial a lidar profissionalmente com as várias facetas de sistemas computacionais inteligentes. Os eixos de formação traduzem o entendimento de que tal formação deve levar em conta: a capacidade de atuar em todas as fases que envolvem a aplicação da Inteligência Artificial em problemas diversos, desde a concepção de sistemas computacionais até a efetiva implementação de soluções adequadas; a capacidade de se reciclar e buscar novos conhecimentos; e a capacidade de seguir estudos avançados visando ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Sinteticamente, os eixos de formação são os seguintes:

1. Fundamentos de matemática, estatística e ciência da computação
2. Desenvolvimento e gestão de sistemas de IA
3. Raciocínio e representação de conhecimento
4. Ciência de Dados
5. Aprendizado de Máquina
6. Percepção e Atuação: visão computacional, processamento de linguagem natural e robótica.
7. Aperfeiçoamento Pessoal e Profissional

Um eixo de formação tem a seguinte estrutura:

- Código: algarismo indo-arábico que identifica o eixo de formação.
- Título: rótulo que identifica o eixo de formação.
- Descrição: pequeno texto que contextualiza a competência associada ao eixo de formação.
- Competência de eixo: descrição das competências associada ao eixo de formação.
- Competências derivadas: lista de competências (7), oriundas das trinta e uma (31) competências, gerais e específicas, necessárias para construir a competência de eixo. As competências gerais são indicadas pelo identificador CG e as específicas do curso de Bacharelado em Inteligência Artificial, pelo identificador CE. Por sua vez, cada competência derivada é constituída dos seguintes subcampos:



- Código: é formado pela junção da letra C (inicial da palavra “competência”), do código do eixo (1 a 7) e de um número indo-arábico que ordena sequencialmente a competência derivada no contexto do eixo de formação.
- Classificação: um dos seis níveis do processo cognitivo da Taxonomia de Bloom Revisada (Ferraz e Belhot, 2010).
- Conteúdo: lista de conhecimentos que devem ser trabalhados para desenvolver a competência derivada. Cada conteúdo é definido por um título.

Salienta-se que conteúdo e disciplina não são sinônimos. De fato, a associação entre conteúdos e disciplinas é um dos grandes desafios na elaboração da matriz curricular de cada curso. Uma disciplina oferecida por uma Instituição de Ensino Superior (IES) em particular poderá abordar mais de um conteúdo elencado nestes referenciais, combinando-os a fim de tratar situações complexas. Ao mesmo tempo, certo conteúdo poderá ser abordado em mais de uma disciplina, evidenciando a sua aplicação em diferentes contextos, possivelmente com diferentes níveis de profundidade. Esse arranjo de conteúdos e disciplinas dependerá, essencialmente, da estratégia adotada por cada curso para o desenvolvimento de competências nos seus estudantes.

Uma competência pode estar presente em mais de um eixo, sendo que o conteúdo é específico para cada relacionamento entre eixo de formação e competência. Ou seja, uma competência pode requerer diferentes conteúdos, dependendo do eixo. Da mesma forma, um conteúdo pode estar presente em mais de um eixo. E, ainda, um conteúdo pode estar presente em mais de uma competência de certo eixo.

Um curso pode usar uma estratégia para implementar sua matriz curricular tal que cada disciplina seja desenhada para desenvolver no estudante uma ou mais competências, no contexto de um ou mais eixos de formação. Assim, cada disciplina deverá abordar (integral ou parcialmente) os conteúdos recomendados para as respectivas competências, de acordo com eixos de formação em questão.

A seguir, cada eixo de formação é detalhado em termos de suas competências derivadas e conteúdos associados, classificados de acordo com a taxonomia de Bloom revisada.

## 1. EIXO DE FORMAÇÃO: FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Este eixo de formação está relacionado à capacidade do aluno egresso de lembrar, compreender e aplicar teorias e princípios básicos das áreas de Matemática, Estatística e Ciência da Computação (CC), na modelagem de problemas e soluções. Os fundamentos sugeridos da matemática e estatística foram baseados no novo currículo da ACM para Ciência da Computação, com foco em IA (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023). Os fundamentos da CC sugeridos se baseiam no fato de a IA depender fortemente das disciplinas básicas da computação, como por exemplo algoritmos e complexidade, para desenvolver técnicas eficazes de resolução de problemas, modelagem de dados e tomada de decisões em uma ampla gama de aplicações. Um entendimento sólido dessas disciplinas é essencial para avançar tanto na teoria quanto na prática da Inteligência Artificial.

Espera-se que neste eixo de formação o aluno desenvolva a capacidade de abstração necessária para analisar os desafios da área de Inteligência Artificial e propor soluções adequadas. De acordo com as diretrizes do novo currículo da ACM para IA de acordo com o CS2023 (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023), é desejável que todo o conteúdo deste eixo seja aplicado em exemplos de problemas do mundo real.

**COMPETÊNCIA:** Analisar problemas que tenham solução algorítmica, fazendo uso de princípios da matemática, estatística e ciência da computação, o que inclui:

1. Descrever problemas e soluções de forma sistemática e analítica, seguindo abordagens científicas baseadas na matemática e/ou estatística.
2. Identificar os problemas que apresentem soluções algorítmicas tratáveis (limites teóricos da computação).
3. Descrever algoritmos apropriados para situações reais.

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
C.1.1. Descrever problemas reais e soluções em linguagem matemática.	Entender	Matemática Discreta (conjuntos, relações e funções)
		Fundamentos da Lógica Matemática
		Cálculo I e II

	<b>Aplicar</b>	<p>Estatística (conceitos de estatística descritiva, distribuições, teste de significância, resumo estatístico básico, amostragem de dados, teste de hipóteses, metodologia científico experimentais)</p> <p>Álgebra Linear</p> <p>Probabilidade e Estatística (Conceitos básicos de probabilidades, Teorema de Bayes e suas aplicações, valor esperado)</p> <p>Pesquisa Operacional e Otimização (programação dinâmica, cadeias e processos de decisão de Markov)</p> <p>Teoria dos Grafos</p>
<b>C.1.2.</b> <i>Conhecer os limites teóricos da computação.</i>	<b>Avaliar</b>	<p>Algoritmos (clássicos da CC)</p> <p>Processamento Distribuído</p> <p>Teoria da Computação</p> <p>Avaliação de Desempenho</p> <p>Processamento Paralelo</p> <p>Criptografia</p> <p>Computação Paralela e Distribuída</p> <p>Estrutura de Dados (Algoritmos e Complexidade)</p>
<b>C.1.3</b> <i>Descrever soluções (selecionar ou criar algoritmos) que sejam computacionalmente eficientes.</i>	<b>Criar</b>	<p>Algoritmos</p> <p>Estruturas de Dados</p> <p>Bancos de Dados</p>

		Avaliação de Desempenho
		Processamento Paralelo
		Técnicas de programação
		Cálculo numérico
		Pesquisa Operacional e Otimização
		Projeto de Algoritmos

## 2. EIXO DE FORMAÇÃO: DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE IA

O desenvolvimento de sistemas computacionais de IA, em especial os de grande escala ou de alto desempenho, requer uma gestão especializada em técnicas avançadas de gestão da Ciência e Engenharia de Computação, bem como da própria IA. Este eixo se refere tanto à adequação, desenvolvimento e gestão de novos sistemas de IA quanto à adaptação de sistemas existentes e desenvolvimentos de sistemas híbridos.

Neste eixo o egresso deverá desenvolver competências que o permitam identificar características de um problema que requerem soluções físicas (robôs) ou virtuais (agentes e chatbots), selecionando a arquitetura adequada, tratando questões de interação IA-humano, coordenação, cooperação e competição de múltiplos agentes.

Uma gestão efetiva deve contemplar as fases de levantamento de requisitos funcionais e não-funcionais, a curadoria de dados, projeto e modelagem, implementação, avaliação, manutenção e atualização dos sistemas computacionais. Em todo o processo de desenvolvimento desses sistemas deve-se empregar teorias, métodos, técnicas e ferramentas para garantir e controlar a qualidade do processo e do produto, sejam elas da Ciência ou Engenharia da Computação, e da própria IA (como a Engenharia de Conhecimento).

**COMPETÊNCIA:** Desenvolver sistemas de IA que atendam qualidade de processo e de produto, considerando princípios e boas práticas de gestão de sistemas computacionais, incluindo

1. Identificar e analisar os requisitos funcionais e não-funcionais para o desenvolvimento de um sistema de IA.
2. Projetar sistemas que envolvem múltiplos agentes autônomos, considerando aspectos como cooperação, coordenação e competição.

3. Gerenciar o projeto de soluções computacionais em ambientes físicos ou virtuais, utilizando ambientes de desenvolvimento apropriados.
4. Entender os aspectos éticos e legais da computação do uso de sistemas computacionais em IA na sociedade (foco em casos de estudo e cenários reais)

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
C.2.1. Identificar e analisar os requisitos e especificações de sistemas computacionais, físicos ou virtuais, empregando técnicas da Ciência ou Engenharia da Computação, e da própria IA.	Aplicar	Metodología Científica
		Métodos Formais de desenvolvimento de sistemas
		Engenharia de Software (baseada em Agentes, Objetos e Dados)
		Engenharia de Conhecimento (Ontologias, Grafos de Conhecimento)
		IA na Segurança de Sistemas Computacionais
		Arquitetura de agentes (ACT-R, SOAR, ICARUS, FORR)
		Arquitetura e Organização de Computadores (incluindo robôs e chatbots)
		Arquiteturas Paralelas
		Sistemas Distribuídos e Concorrentes
		Curadoria de Dados
		Banco de Dados
		Computação em Nuvem
		Interação Humano-IA
Sistemas Operacionais		
Sistemas de Tempo Real		

		Arquitetura para Chatbots (Engenharia de Prompt)
		Robótica Inteligente (Robótica Móvel, Robótica de Serviço e Doméstica, interação humano-robô)
<b>C.2.2.</b> <i>Projetar sistemas que envolvem múltiplos agentes autônomos, considerando aspectos como cooperação, coordenação e competição.</i>	<b>Aplicar</b>	Sistemas multiagentes (agentes colaborativos, agentes de recuperação de informação, agentes credíveis - caracteres sintéticos, agentes com emoções)
		Modelagem e simulação de sistemas multiagentes
		Teoria da utilidade
		Teoria da escolha social
		Teoria dos jogos
		Afetividade computacional
		Arquiteturas de Agentes e Multiagentes
		<b>Criar</b>
	<b>C.2.3.</b> <i>Gerenciar as fases de desenvolvimento dos sistemas de IA, físicos ou virtuais (projeto, implementação, validação, manutenção atualização)</i>	<b>Aplicar</b>
Bibliotecas de IA		
Arquitetura e Organização de Computadores (incluindo robôs e chatbots)		
Engenharia de software (baseada em Agentes e Objetos)		

		Engenharia de Conhecimento (elicitação de conhecimento, ontologias e lógica de descrições)	
		Interação Humano-IA	
		Padrões de Projetos	
		Ambientes de Programação (por ex. Github)	
		Redes de Computadores	
		IA embarcada	
		Processamento Paralelo	
		Sistemas de Tempo Real	
		Robótica Inteligente	
		Internet da coisas (IoT)	
		Programação de Aplicativos para Dispositivos Móveis	
		Realidade Virtual e Aumentada	
		Avaliar	Análise de Algoritmos
			Explicabilidade, confiabilidade, racionalidade, responsabilidade e equidade
Interação Humano-IA			
C.2.4. Reconhecer as implicações éticas e legais do uso de sistemas computacionais em IA na sociedade (foco em casos de estudo e cenários reais)	Aplicar	Computação/IA Sociedade	
		IA para o bem	
		Empreendedorismo	
		Propriedade Intelectual	
		Privacidade e Direitos Civis	
		Ética em IA (foco em dados e	

		cenários reais e casos de estudo; privacidade e responsabilidade legal)
		Criptografia
		Legislação de Computação e IA
		Sustentabilidade
		Explicabilidade(XAI) e Confiança nos sistemas de IA

### 3. EIXO DE FORMAÇÃO: RACIOCÍNIO E REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO

Uma das principais abordagens para o desenvolvimento de um sistema de inteligência artificial é por meio da representação de conhecimento explícito (explicável) e de senso comum, assim como sua manipulação (raciocínio) a fim de produzir conhecimento derivado, com uma eventual garantia de otimalidade, que dê suporte à tomada de decisão imediata (por ex., diagnóstico e classificação) ou sequencial (por ex., planejamento).

Neste eixo de formação, o egresso deverá desenvolver habilidades que o permitam identificar, modelar, implementar e avaliar sistemas baseados em conhecimento, fazendo uso de formalismos de representação de conhecimento explícito (e explicável), bem como técnicas de raciocínio automático da IA aplicadas a essa representação.

Este eixo de formação difere dos eixos de formação de Ciência de Dados e Aprendizado de Máquina, por não precisar, necessariamente, utilizar dados, mas sim o conhecimento representado de forma explícita que permita raciocinar sobre ele.

**COMPETÊNCIA:** Conhecer os formalismos clássicos de representação de conhecimento da IA para construção de modelos, e ser capaz de identificar, modelar e implementar algoritmos que raciocinem sobre os modelos.

1. Identificar e modelar problemas que possam ser resolvidos usando os formalismos clássicos de representação de conhecimento. Modelar fenômenos físicos ou virtuais em linguagem formal, de maneira a permitir a otimização e estimação de parâmetros, configurações ou decisões utilizando resolvedores genéricos (como por exemplo, provadores de teorema, planejadores, otimizadores, algoritmos de busca e outros).
2. Desenvolver soluções para problemas que possam ser resolvidos usando a busca em grafo que represente o espaço de estados do mundo, através da seleção de algoritmos de busca, não-informada ou informada, para um domínio de aplicação específico, e que sejam computacionalmente eficientes.



3. Modelar e implementar soluções para problemas que possam ser resolvidos usando os formalismos clássicos de representação de conhecimento e seleção de algoritmos de raciocínio sobre o conhecimento explícito (também chamado de raciocínio simbólico) e que sejam computacionalmente eficientes.
4. Entender as limitações conceituais e éticas face às particularidades das soluções propostas.

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
C.3.1 Identificar e Modelar problemas que possam ser resolvidos usando os formalismos clássicos de representação de conhecimento.	Entender	Definição de IA e contexto histórico sobre a evolução e situação atual da área de Inteligência Artificial (Teste de Turing, Quarto Cinês e racionalidade).
		Tipos de tarefas genéricas estudadas desde o início da IA, entre elas, Diagnóstico, Tutores Inteligentes, Escalonamento, Planejamento, entre outras.
		Lógica proposicional e lógica de primeira ordem
		Lógica Não-Monotônica e Lógica Modal (raciocínio de meta-nível e raciocínio temporal)
		Lógica de Descrições
		Lógica Difusa
		Lógica Probabilística
		Racionalidade e Teoria dos Jogos
		Teoria da Utilidade e Tomada de Decisão

	<b>Aplicar</b>	<p>Agentes (reativos, cognitivos e deliberativos)</p> <p>Agentes baseados em aprendizado</p> <p>Agentes BDI</p> <p>Ontologias e Web-semântica</p> <p>Tomada de Decisão sob Incerteza (raciocínio probabilístico)</p> <p>Algoritmos de Busca</p> <p>Escalonamento e Planejamento automatizado</p>
<p><b>C.3.2 Desenvolver soluções para problemas</b> <i>que possam ser resolvidos usando a busca em grafo que represente espaço de estados do mundo, através da seleção de algoritmos de busca, não-informada ou informada, para um domínio de aplicação específico, e que sejam computacionalmente eficientes.</i></p>	<b>Aplicar</b>	<p>Representação baseada em espaço de estados do mundo (estados, metas, operadores e representação fatorada de estados)</p> <p>Resolução de problemas como busca em grafos (construção sob demanda do grafo, isto é, o grafo não é dado como entrada)</p> <p>Resolução de problemas como busca não-informada (busca em Largura, Busca em Profundidade (profundidade iterativa), Busca Uniforme)</p> <p>Resolução de problemas como busca informada (Construção de heurísticas e admissibilidade, busca local, Hill-climbing, A*, IDA*)</p> <p>Busca bidirecional (com busca não-informada ou informada)</p> <p>Busca adversarial (Minimax, Alpha-beta pruning).</p>

		Busca por Satisfação de Restrições
		Busca online, busca com observabilidade parcial e busca não-determinística
		Busca estocástica ( <i>simulated annealing</i> , algoritmos genéticos, Monte-Carlo tree search, expectimax search, etc.)
		Complexidades de espaço e tempo dos algoritmos de busca em grafos
<p><b>C.3.3 Modelar e implementar soluções para problemas</b> que possam ser resolvidos usando os formalismos clássicos de representação de conhecimento e seleção de algoritmos de raciocínio sobre o conhecimento explícito (também chamado de raciocínio simbólico) e que sejam computacionalmente eficientes.</p>	<p><b>Aplicar</b></p>	Tipos de representação de conhecimento: simbólico, lógico, subsimbólico e modelos gráficos)
		Raciocínio Probabilístico (Teorema de Bayes, Inferência Bayesiana, Inferência Probabilística,, etc.)
		Variáveis aleatórias e distribuições probabilísticas
		Independência e independência condicional
		Cadeia de Markov e Processos de Markov (Programação Dinâmica)
		Algoritmos de Planejamento Automatizado (planejamento clássico, planejamento não-determinístico, planejamento probabilística, planejamento hierárquico,
		Planejamento baseado em MDP (planejamento probabilístico)
		Linguagens de representação de

		ações em planejamento (PDDL, SAS, RDDDL, tc. )
		Raciocínio baseado em Diagramas de Decisão (BDDs, ADDs, SDDs)
		Revisão de Crença
		SAT-solvers
		Raciocínio com lógica temporal (LTL, CTL, etc.)
		Raciocínio Indutivo
		Raciocínio sobre ações e mudanças no mundo
	Aplicar	Análise de Algoritmos
		Teoria da Computação
	C.3.4. Entender as limitações conceituais e éticas face às particularidades das soluções propostas.	Entender
IA para o bem		
Privacidade e Direitos Civis		
Ética em IA (foco em cenários reais e casos de estudo)		
Sustentabilidade		
Explicabilidade (XAI) e Confiança nos sistemas de IA		

#### 4. EIXO DE FORMAÇÃO: CIÊNCIA DE DADOS

Este eixo de formação é relacionado à curadoria de dados em larga escala, o que envolve: coletar, limpar, organizar, armazenar, padronizar, enriquecer, documentar, acessar e compartilhar grandes bases de dados, com o objetivo de formular e testar hipóteses para a extração de conhecimento útil. Com base na análise dos dados, é possível aprender um modelo que capture suas principais características. Tais modelos podem ser: descritivos, preditivos ou prescritivos. Para isso, o egresso deverá conhecer e selecionar as diferentes técnicas e algoritmos utilizados nos processos de ciência de dados e mineração de dados.

Dentro deste contexto, o aluno precisa entender e diferenciar os termos: ciência de dados, mineração de dados e aprendizado de máquina, bem como quando estas técnicas são aplicáveis. Além disso, o egresso precisa saber explicar o compromisso entre o tamanho de um espaço de hipóteses, o tamanho do conjunto de treinamento e a precisão do desempenho.

**COMPETÊNCIA:** Compreender, analisar, e aplicar técnicas e algoritmos de ciência de dados e mineração de dados, incluindo:

1. **Avaliar dados e tratar sua qualidade (curadoria de dados)** com o objetivo de formular e testar hipóteses para realizar a extração de conhecimento útil dos dados.
2. **Avaliar a necessidade de aplicar técnicas de pre-processamento de dados**
3. **Implementar soluções para o armazenamento de dados** que utilizem as ferramentas de mineração e ciências de dados adequadas para o problema em questão.
4. **Conceber soluções eticamente e socialmente responsáveis.** *Ter domínio de técnicas de privacidade de dados de acordo com a LGPD.*

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
<b>C.4.1.</b> <i>Avaliar dados e tratar sua qualidade</i> com o objetivo de formular e testar hipóteses para realizar a extração de conhecimento útil dos dados.	<b>Entender</b>	Alfabetização em dados: curadoria e armazenamento.
	<b>Aplicar</b>	Probabilidade e Estatística
		Álgebra Linear
		Banco de Dados

		Mineração de Dados e aprendizado de máquina (algoritmos básicos)
		Grandes Modelos de Linguagem (LLMs para a geração de dados)
		Internet das Coisas (fusão sensorial, arquiteturas das redes de sensores para coleta e geração de dados)
		Técnicas de visualização de dados e geração de gráficos
<b>C.4.2.</b> Avaliar a necessidade de aplicar técnicas de pre-processamento de dados.	<b>Aplicar</b>	Probabilidade e Estatística
		Álgebra Linear
		Gráficos e Visualização
		Mineração de Dados e Aprendizado de Máquina
		Álgebra linear
		Mineração de Dados e Aprendizado de Máquina
		Análise de Algoritmos
<b>C4.3.</b> Implementar soluções para o armazenamento de dados que utilizem as ferramentas de mineração e ciências de dados adequadas para o problema em questão.	<b>Criar</b>	Banco de Dados
		Sistemas de Dados
		Integração de Dados
		Recuperação da Informação
		Sistemas Multimídia
<b>C.4.4.</b> Conceber soluções eticamente e socialmente responsáveis. Ter domínio de técnicas de privacidade de dados de acordo com a LGPD.	<b>Avaliar</b>	Sustentabilidade (gasto energético)
		Ética e segurança em IA

		IA e Sociedade
		Privacidade de Dados
		Legislação vigente

## 5. EIXO DE FORMAÇÃO: APRENDIZADO DE MÁQUINA

Este eixo de formação em Aprendizado de Máquina (AM), em conjunção com o Eixo 4, habilita o aluno a: (1) entender e explicar os fundamentos de aprendizado de máquina e (2) implementar, analisar e avaliar sistemas de aprendizado de máquina, conhecendo as limitações teóricas destes algoritmos. Dentre os principais paradigmas de aprendizado de máquina estão: o aprendizado supervisionado, não-supervisionado e por reforço. Além disso, este eixo prevê que o aluno seja capaz de treinar e testar modelos aprendidos fazendo uso de tecnologias modernas, bibliotecas de aprendizado de máquina e os principais benchmarks da área.

A especificação deste eixo de formação está fortemente baseada na proposta do currículo CS2023 (ACM/IEEE-CS/AAAI, 2023).

**COMPETÊNCIA:** Resolver problemas que requerem algoritmos de aprendizado de máquina, considerando os seus limites computacionais, o que inclui:

1. Entender e diferenciar os termos: inteligência artificial, aprendizado de máquina e aprendizado profundo, bem como os diferentes paradigmas e suas aplicações.
2. Aplicar algoritmos de aprendizado estatístico para o problema simples de classificação de dados e modelar uma aplicação, incluindo a extração de características da entrada e de saída.
3. Implementar versões simplificadas de aprendizado supervisionado e aprendizado não-supervisionado.
4. Implementar versões simplificadas de aprendizado por reforço, que incluam os métodos de Monte Carlo, Diferença Temporal, Gradiente de Política e Aprendizado por Reforço Profundo.
5. Implementar (criar ou co-criar) algoritmos de Aprendizado de Máquina para exemplos do mundo real usando as ferramentas adequadas.
6. Analisar soluções de Aprendizado de Máquina em exemplos de situações em que as diferentes técnicas de Aprendizado de Máquina são adequadas.
7. Avaliar sistemas de aprendizado de máquina. Explicar (visualizar) o processo de

treinamento e teste de uma rede neural (bem como outros tipos de rede) através de curvas de aprendizado usando uma tecnologia adequada. detectar eventuais vieses nos dados ou ajustes de parâmetros decorrentes do treinamento (overfitting e underfitting). Treinar um classificador e obter uma previsão sobre dados novos nos contextos de visão computacional e processamento de linguagem natural.

8. Conceber soluções de Aprendizado de Máquina eticamente e socialmente responsáveis. Ter domínio de técnicas de privacidade de dado de acordo com a LGPD. Aplicar princípios éticos e a legislação vigente no uso e desenvolvimento da IA.

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
C.5.1. Entender e diferenciar os termos: inteligência artificial, aprendizado de máquina e aprendizado profundo, bem como os diferentes paradigmas de aprendizado de máquina e suas aplicações. Identificar problemas que tenham solução de aprendizado de máquina, bem como possíveis fontes de erro e indecibilidade.	Entender	Paradigmas de Aprendizado de Máquina (aprendizado supervisionado, aprendizado não-supervisionado, aprendizado por reforço)
		Introdução a classificação, regressão e agrupamento
		Definições de função objetivo e descida de gradiente
		Treinamento e teste de modelos em Aprendizado de Máquina
		Introdução dos Benchmarks de AM (Visão Computacional, PLN, etc.)
C.5.2. Aplicar e avaliar algoritmos simples de aprendizado estatístico para classificação; modelar um problema, incluindo as características disponíveis da entrada e a saída a ser predita (exemplo clássico de problemas simples: identificar caracteres alfanuméricos a partir dos pixels de uma imagem de entrada); usar corretamente implementações existentes.	Aplicar	Probabilidade e Estatística
		Naive Bayes
		Árvore de Decisão
		Regressão Linear
	Função objetivo e descida de gradiente	
Analisar	Medir a acurácia das previsões para um problema simples	



C.5.3. Implementar <u>versões simplificadas</u> de aprendizado supervisionado e aprendizado não-supervisionado.	Aplicar	Árvore de Decisão
		Regressão Logística
		Redes Neurais
		Descida de Gradiente
		Overfitting vs Underfitting (compromisso entre variância e viés)
C.5.4. Implementar e analisar uma <u>versão simplificada</u> de aprendizado por reforço	Analisar	Probabilidade e Estatística
		Processos de Decisão Markoviano
		Compromisso entre exploração e exploração
		Descida de Gradiente
		Métodos de Monte Carlo (amostragens de episódios completos de simulações de interação do agente com o ambiente)
		Diferença Temporal e Programação Dinâmica
		Gradiente de Política
		Aprendizado por Reforço Profundo
C.5.5. Implementar (criar ou co-criar) algoritmos de ML, usando as ferramentas adequadas, aplicados em exemplos do mundo real (visão, NLP, economia, robótica, jogos, etc.), com	Aplicar	Redes profundas do tipo feed-forward
		Ensembles de modelos (combinação ponderada)

tratamento de bases de dados reais.		simples de modelos)
		Processamento de dados (tratamento de dados ausentes, codificação de variáveis categóricas, normalização/padronização,
	Criar	Bibliotecas para criar, treinar e implantar modelos de aprendizado de máquina (Tensorflow, Pytorch, Jax, etc)
		Aprendizado profundo
		Regressão logística
		Redes bayesianas naive
		Redes neurais
		SVMs (Support Vector Machines)
		Redes de Crença
		Redes convolucionais
Transformers		
C.5.6. Avaliar sistemas de ML. Explicar (visualizar) o processo de treinamento de um modelo aprendido (bem como outros tipos de rede) através de curvas de aprendizado usando uma tecnologia adequada.	Avaliar	Métricas de avaliação (erro quadrático, precisão, recal, pontuação-f, matriz de confusão, validação-cruzada refinamento de parâmetros, etc.))
		Ferramentas para geração de Gráficos e Visualizações ( por exemplo, Tensorboard).

		Regularizações para evitar Overfitting
		Redes Neurais
		Redes convolucionais
		Transformers
C.5.7. Implementar (criar ou co-criar) algoritmos de ML, usando as ferramentas adequadas, aplicados em exemplos do mundo real (visão, NLP, economia, robótica, jogos, etc.)	Entender	Redes profundas do tipo feed-forward
		Estatística
		Bibliotecas de AM
	Criar	Bibliotecas para criar, treinar e implantar modelos de aprendizado de máquina (Tensorflow, Pytorch, Jax, etc)
		Ensembles de modelos (combinação ponderada simples de modelos)
	Aprendizado profundo	
C.5.8. Conceber soluções de Aprendizado de Máquina eticamente e socialmente responsáveis. Ter domínio de técnicas de privacidade de dado de acordo com a LGPD. Aplicar princípios éticos e a legislação vigente no uso e desenvolvimento da IA.	Aplicar	Privacidade e Direitos Civis
		Ética e Legislação de Informática e IA
		Sustentabilidade

## 6. EIXO DE FORMAÇÃO - PERCEPÇÃO E ATUAÇÃO: VISÃO COMPUTACIONAL, PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL E ROBÓTICA

Compreender os principais desafios envolvendo tarefas de percepção e atuação no

desenvolvimento e na manutenção de sistemas de IA, sejam eles físicos ou virtuais, tais como: reconhecimento de objetos em imagens, segmentação semântica de vídeos e áudios, compreensão e geração de textos (Processamento de Linguagem Natural - PLN) e de diálogos falados e escritos, localização e navegação de robôs móveis, manipulação de objetos físicos etc..

**COMPETÊNCIA:** Implementar sistemas de IA que contemplem a percepção e a atuação, utilizando ambientes de desenvolvimento adequados e considerando princípios éticos e boas práticas da IA, incluindo:

1. **Construir sistemas de visão e audição computacional** (aplicação de técnicas clássicas sobre percepção - reconhecimento de imagens, som e fala).
2. **Construir sistema de PLN** (Aplicar algoritmos clássicos de reconhecimento e geração de linguagem natural, identificar técnicas para recuperação de informação, tradução de linguagens e classificação de texto.).
3. **Construir sistemas de robótica** (entender as capacidades e limitações dos robôs atuais em termos de processamento sensorial e controle de seus atuadores; aplicar e integrar sensores, atuadores e bibliotecas para robótica (por ex. ROS) em um robô para uma tarefa específica; entender e aplicar técnicas de navegação em ambientes conhecidos e desconhecidos; conhecer alguma técnica de coordenação de multi-robôs para tarefas simples.).

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
<b>C.6.1. Construir sistemas de visão e audição computacional</b> (aplicação de técnicas clássicas sobre percepção - reconhecimento de imagens, som e fala)	<b>Entender</b>	Algoritmos de extração de características
		Transformada de Fourier
		Estatística
		Modelos de Markov (HMM)
		Modelos de Mistura Gaussiana (GMM)
		Filtros e Redes Convolucionais
		Redes Recorrentes
	<b>Aplicar</b>	Interação humano-IA

		Aquisição de imagem e som
		Reconhecimento de contornos, objetos ou cenas e segmentação de imagem
		Reconhecimento e segmentação de fala e audição
		Algoritmos de Aprendizado de Máquina
		Medidas de qualidade de Aprendizado de Máquina
		Agentes
<p><b>C.6.2. Construir sistema de PLN</b>  <i>(Aplicar algoritmos clássicos de reconhecimento e geração de linguagem natural, identificar técnicas para recuperação de informação, tradução de linguagens e classificação de texto).</i></p>	<b>Entender</b>	Gramáticas determinísticas e estocásticas
		Árvore de Decisões
		Representação baseada em lógica
		Agentes (BDI)
		Chatbots
	<b>Aplicar</b>	Métodos baseados em CORPUS
		N-grams e HMMs
		Recuperação de Informação (modelo de espaço vetorial, precisão e revocação ( <i>recall</i> ), métricas TF e IDF)
		Tradução de linguagens
		Classificação e categorização ( <i>bags of words</i> )
		Técnicas de sumarização.
		Aprendizado Profundo

		RNNs
		Transformers
		Modelos de linguagem gerativos (LLMs)
		Multi-modal embeddings (por ex. Images + texto)
<p><b>C.6.3. Construir sistemas de robótica</b>  <i>(entender as capacidades e limitações dos robôs atuais em termos de processamento sensorial e controle de seus atuadores; aplicar e integrar sensores, atuadores e bibliotecas para robótica (por ex. ROS) em um robô para uma tarefa específica; entender e aplicar técnicas de navegação em ambientes, conhecidos e desconhecidos; conhecer alguma técnica de coordenação de multi-robôs para tarefas simples.)</i></p>	<b>Entender</b>	Arquiteturas de controle de robôs
		Modelagem do ambiente (2D e 3D)
		Cinemática progressiva e regressiva.
		Robôs deliberativos, reativos ou híbridos
	<b>Criar</b>	Robôs móveis não-tripulados
		Sensoriamento sob incerteza
		Sensores (LIDAR, sonar, visão, microphones, haptics, e atuadores (rodas, garras, etc..))
		Mapeamento e localização
		Navegação e controle
		Planejamento de caminho e otimização de trajetória
		Controle baseada em visão
		Aprendizado de Máquina
		Controle baseada em LLMs
		Coordenação e colaboração de multi-robôs

		Interação humano-robô (robôs assistivos, comunicação explícita vs implícita, verbal ou simbólica vs não-verbal ou visual, modelos de linguagem)
<b>C.6.4. Conceber soluções de sistemas de IA eticamente e socialmente responsáveis.</b> <i>Ter domínio de técnicas de privacidade de dados de acordo com a LGPD. Aplicar princípios éticos e a legislação vigente no uso e desenvolvimento da IA.</i>	<b>Avaliar</b>	Privacidade e Direitos Civis (ex. Privacidade dos dados e imagem)
		Ética e Legislação de Informática e IA (ex. Uso de imagem, geração de fake news, uso de drones em espaço público)
		Sustentabilidade (ex. Consumo de energia nas consultas aos LLMs)

## 7. EIXO DE FORMAÇÃO: PERFEIÇOAMENTO PESSOAL E PROFISSIONAL

Este eixo de formação agrupa competências orientadas ao aperfeiçoamento pessoal (habilidades e atitudes), à inovação e ao empreendedorismo mediante a constante evolução da área de Inteligência Artificial da própria Tecnologia da Informação e Ciência da Computação. Os docentes do curso de Bacharelado em IA devem ser estimulados a adotar abordagens pedagógicas para promover as competências deste eixo de formação.

Entende-se que o sucesso profissional dos egressos dos cursos de Bacharelado em IA relaciona-se também às questões não-técnicas como habilidades socioemocionais, aperfeiçoamento contínuo e autodidata, empreendedorismo, entre outras.

**COMPETÊNCIA:** *Autogerir o desenvolvimento e aperfeiçoamento pessoal e profissional, visando o aprendizado contínuo dos conhecimentos técnicos não-técnicos, bem como uma evolução na carreira profissional, abrangendo:*

- Gerir o seu próprio aperfeiçoamento, técnico e pessoal,** incluindo a gestão de

tempo e competências organizacionais.

2. Preparar e apresentar problemas técnicos e soluções para audiências diversas, em formatos apropriados (oral e escrito).
3. Colaborar para solucionar problemas: ser capaz de realizar trabalho cooperativo e entender os benefícios que este pode produzir.
4. Desenvolver habilidades pessoais de comunicação, gestão, liderança, inovação e empreendedorismo de maneira ética e socialmente responsáveis respeitando a legislação vigente.

Competências derivadas	Classificação	Conteúdos
C.7.1. Gerir o seu próprio aperfeiçoamento, técnico e pessoal, incluindo a gestão de tempo e competências organizacionais	Avaliar	Gestão de Tempo
		Gestão de Carreira Profissional
		Autorregulação da Aprendizagem
		Aperfeiçoamento utônomo
C.7.2. Preparar e apresentar problemas técnicos e soluções para audiências diversas, em formatos apropriados (oral e escrito)	Aplicar	Comunicação Profissional
		Inglês Técnico
		Metodología Científica
C.7.3. Colaborar para solucionar problemas: ser capaz de realizar trabalho cooperativo e entender os benefícios que este pode produzir	Aplicar	Aprendizagem Ativa
		Aprendizagem baseada em projetos
		Práticas pedagógicas colaborativas
C.7.4. Desenvolver habilidades pessoais de comunicação, gestão, liderança, inovação e empreendedorismo, de maneira ética e socialmente responsáveis respeitando a legislação vigente.	Aplicar	Empreendedorismo em IA
		Ética para uso e desenvolvimento de IA
		Legislação e Propriedade Intelectual em IA
		IA e Sociedade



## 7 Relação com as Diretrizes Curriculares Nacionais

Esta seção apresenta em quais eixos de formação estão mapeadas cada uma das competências e habilidades definidas pelas DCN16. Dessa maneira, a tabela a seguir explicita resumidamente a relação entre as DCN16 e os RF-IA.

A competência 9 das DCN16 (Adequar-se rapidamente às mudanças tecnológicas e aos novos ambientes de trabalho) não foi relacionada como uma competência derivada em nenhum dos eixos de formação, pois se trata de uma habilidade que deve ser trabalhada por meio da metodologia de ensino-aprendizagem, e não por conteúdos específicos. Apesar disso, ela foi incluída na descrição da competência geral de três eixos de formação.

Tabela 8. Relação de competências dos referenciais de formação com as competências descritas nas DCNs	
Competências e habilidades gerais dos egressos dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura (CC)	Competências dos Referenciais de Formação em IA
CG-I. Identificar problemas que tenham solução algorítmica	C.1.1, C.1.3, C.2.1
CG-II. Conhecer os limites da computação	C.1.2
CG-III. Resolver problemas usando ambientes de programação	C.2.3, C.5.7
CG-IV. Tomar decisões e inovar, com base no conhecimento do funcionamento e das características técnicas de hardware e da infraestrutura de software dos sistemas de computação, conscientizado dos aspectos éticos, legais e dos impactos ambientais decorrentes	C.2.4, C.3.4, C.4.4, C.5.8, C.6.4, C.7.4.
CG-V. Compreender e explicar as dimensões quantitativas de um problema	Eixo 1, C.5.3
CG-VI. Gerir a sua própria aprendizagem e desenvolvimento, incluindo a gestão de tempo e competências organizacionais	Eixo 2, ítem 7

CG-VII. Preparar e apresentar seus trabalhos e problemas técnicos e suas soluções para audiências diversas, em formatos apropriados (oral e escrito)	Eixo 2
CG-VIII. Avaliar criticamente projetos de sistemas de computação	C.1.2, C.2.1, C.3.2.,C.3.3, C.4.1, C.5.6, Eixo 6
CG-IX. Adequar-se rapidamente às mudanças tecnológicas e aos novos ambientes de trabalho	Eixo 7
CG-X. Ler textos técnicos na língua inglesa	Eixo 7
CG-XI. Empreender e exercer liderança, coordenação e supervisão na sua área de atuação profissional	Eixo 7
CG-XII. Ser capaz de realizar trabalho cooperativo e entender a força que dele pode ser derivada	Eixo 2, Eixo 7

**Tabela 9. Relação de Competências e Habilidades dos Egressos dos Cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial**

Competências e Habilidades dos Egressos dos Cursos de Bacharelado em Inteligência Artificial	Competências dos Referenciais de Formação de IA
CE-I - possuir sólida formação em Ciência da Computação, Matemática e Estatística que os capacitem a construir soluções computacionais para problemas complexos;	C.1.1, C.1.2, C.1.3, C.2.1
CE-II - conhecer os principais paradigmas de sistemas de IA e os processos envolvidos na sua construção e análise. Por exemplo, sejam capazes de identificar se uma dada aplicação requer o uso de formalismos de representação de conhecimento, raciocínio automático e otimização.	C.1.5, C.3.7, C.3.1, C.3.2, C.3.3, C.3.4, C.7.1,

CE-III - dominar o uso de técnicas de aquisição, tratamento, mineração e visualização de dados e de algoritmos de aprendizado de máquina.	C.4.1, C.4.2, C.4.3, C.4.4, C.5.1, C.5.2, C.5.3, C.5.4, C.5.5, C.5.6, C.5.7, C.5.8, C.6.1, C.6.2, C.6.3, C.6.4.
CE-IV - ser capazes de criar soluções, individualmente ou em equipe, para problemas complexos; reconhecer o caráter fundamental da inovação e da criatividade e compreender as perspectivas de negócios e oportunidades comerciais relevantes na área de Inteligência Artificial.	C.2.1, C.2.2, C.2.3, C.2.4, C.3.1, C.3.2, C.3.3, C.3.8, C.4.3, C.5.4, C.5.5, C.5.6, C.5.7, C.6.1, C.6.2, C.6.3, C.7.6
CE-V - ser capaz de agir de forma consciente na construção e no uso de sistemas de IA, compreendendo seus impactos diretos e indiretos sobre a sociedade e os indivíduos no que tange a questões de privacidade, transparência, equanimidade e preconceito implícito em sistemas de software e bases de dados, entre outras.	C.3.4, C.4.4, C.7.1, C.7.2, C.7.3, C.7.4, C.5.8, C.6.4

## 8 Limitações e Recomendações

Os referenciais de formação são diretrizes curriculares e não constituem um currículo de referência finalizado para ser incorporado ao projeto pedagógico de curso (PPC). Eles devem orientar as comissões elaboradoras dos PPCs e outros aspectos ainda devem ser considerados.

Apresentamos aqui algumas recomendações a serem seguidas na elaboração dos PPCs.

**Atualização contínua:** A área de Inteligência Artificial está em rápida evolução, tornando essencial que o currículo acompanhe essas mudanças de forma contínua. Para isso, é crucial definir mecanismos regulares de revisão e atualização do currículo, garantindo a incorporação das últimas tendências e avanços na área de IA. Além disso, é fundamental abordar preocupações relacionadas aos aspectos éticos, impactos e possíveis ameaças da IA às pessoas e à sociedade. Dessa forma, o curso poderá oferecer uma educação atualizada e relevante, preparando os alunos para enfrentar os desafios, mitigar os riscos e aproveitar as oportunidades emergentes no campo da Inteligência Artificial.

**Desenvolvimento de competências transversais:** é recomendado implementar atividades práticas, como workshops, seminários e projetos colaborativos, que desenvolvam habilidades de comunicação, liderança e trabalho em equipe de maneira aplicada e contextualizada ao ambiente da IA.

Além disso, é fundamental abordar preocupações relacionadas aos aspectos éticos, impactos e possíveis ameaças da IA às pessoas e à sociedade. Dessa forma, o curso poderá oferecer uma educação atualizada e relevante, preparando os alunos para enfrentar os desafios, mitigar os riscos e aproveitar as oportunidades emergentes no campo da Inteligência Artificial.

**Desenvolvimento de competências transversais:** é recomendado implementar atividades práticas, como workshops, seminários e projetos colaborativos, que desenvolvam habilidades de comunicação, liderança e trabalho em equipe de maneira aplicada e contextualizada ao ambiente da IA. Essas atividades práticas permitirão aos alunos experimentar e aprimorar suas habilidades transversais em situações reais e desafiadoras, promovendo uma formação mais completa e preparando-os melhor para o mercado de trabalho e para a colaboração interdisciplinar, que é fundamental na área de Inteligência Artificial.

**Integração entre eixos de formação:** A interconexão entre os diferentes eixos de formação e a integração das competências de diferentes eixos podem ser melhor exploradas para garantir uma formação mais coesa. Uma recomendação é desenvolver projetos integradores ou módulos interdisciplinares que exijam a aplicação de conhecimentos de múltiplos eixos de formação, promovendo uma aprendizagem mais abrangente. Esses projetos e módulos podem envolver a colaboração entre disciplinas como matemática, ciência da computação, ética, e ciências sociais, permitindo que os alunos conectem teorias e práticas de diferentes áreas e compreendam a complexidade e a multidimensionalidade dos problemas em Inteligência Artificial. Dessa forma, os alunos desenvolvem uma visão holística e interconectada, essencial para a inovação e a solução de problemas complexos no campo da IA.

**Incentivo a aplicação de conhecimentos e habilidades práticas:** Para que o projeto pedagógico de curso seja mais eficaz, uma possibilidade é incluir exemplos práticos e cenários de uso específicos para cada competência derivada. Isso facilita a compreensão de como essas habilidades podem ser aplicadas em situações reais, tornando o aprendizado mais tangível e significativo para os alunos. A inclusão de exemplos práticos e cenários não só reforça a teoria aprendida, mas também ilustra a relevância das competências no mundo real, aumentando a motivação e o engajamento dos estudantes. Além disso, essa abordagem prepara os alunos para resolver problemas concretos e enfrentar desafios profissionais, desenvolvendo uma visão crítica e prática que é essencial no campo dinâmico e multifacetado da Inteligência Artificial.

## 9 Agradecimentos

Estes referenciais receberam a contribuição de muitas pessoas, incluindo (em ordem alfabética): Anne Magály de Paula Canuto, Aurora Trinidad Ramirez Pozo, Denis Deratani Mauá, Gina Maira Barbosa de Oliveira, Leliane Nunes de Barros (coordenadora) e Rosa Vicari. Além disso, agradecemos à Diretoria de Educação da SBC e as instituições de filiação UFMG, UFPR, UFRN, UFU, UFRGS e USP, pelo apoio. Um agradecimento especial à Itana Maria de Souza Gimenes, diretora de Educação da SBC durante o período de 2019–2023, que além de ter feito a proposta destes referenciais em 2021, participou ativamente na orientação da equipe nos aspectos metodológicos e legais.

## 10 Referências Bibliográficas

ACM/IEEE-CS (2013) Joint Task Force on Computing Curricula. 2013. Computer Science Curricula 2013. Technical Report. ACM Press and IEEE Computer Society Press. <https://doi.org/10.1145/2534860>

ACM/IEEE-CS (2020) Joint Task Force on Computing Curricula. 2020. Computer Science Curricula 2020. Technical Report. ACM Press and IEEE Computer Society Press. <https://www.acm.org/education/curricula-recommendations>

ACM/IEEE-CS/AAAI (2023). Computer Science Curricula 2023: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. Versão Gamma. ACM, New York, NY, USA. <https://dl.acm.org/doi/book/10.1145/3664191>. Último acesso em junho de 2024.

Dale, N.; Lewis, J. (2010). Ciência da Computação. 4 ed. Rio de Janeiro, LTC.

Ferraz, A. P. C. M., Belhot, R. V. (2010). Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. Gest. Prod., São Carlos, 17(2), 421-431.

MEC (2012). Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Computação. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=11205-pces136-11-pdf&category\\_slug=julho-2012-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=11205-pces136-11-pdf&category_slug=julho-2012-pdf&Itemid=30192). Parecer CNE/CES nº 136/2012, aprovado em 8 de março de 2012. Último acesso em: 09/04/2024.

MEC (2016). Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Graduação em Computação (DCN16). Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=52101-rces005-16-pdf&category\\_slug=novembro-2016-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=52101-rces005-16-pdf&category_slug=novembro-2016-pdf&Itemid=30192). Resolução CNE/CES nº 5, de 16 de novembro de 2016. Último acesso: 09/04/2024.

OECD.AI (2023). OECD.AI Policy Observation. Do português, OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Disponível em: <https://oecd.ai/en/wonk/ai-system-definition-update>. Último acesso em: 01/04/2024.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., & Williams, R.J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 533-536.

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review, 65(6), 386-408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>.

Sacristán, J. G.; Gómez, Á. I. P.; Rodríguez, J. B. M.; Santomé, J. T.; Rasco, F. A.; Méndez, J. M. Á. (2016). Educar por competências: O que há de novo?. Artmed Editora. ISBN-13: 978-8536322964.

SBC (1991). Currículo de Referência da SBC para cursos de Graduação Plena em Computação (CR91). <http://homepages.dcc.ufmg.br/~bigonha/Cr/cr91.html>. Último acesso em: 01/04/2024.

SBC (1996). Currículo de Referência da SBC para cursos de Graduação Plena em Computação (CR96). <http://homepages.dcc.ufmg.br/~bigonha/Cr/cr.html>. Último acesso em: 01/04/2024.

Scallon, G. (2015) Avaliação da aprendizagem numa abordagem por competências. Curitiba: PUCPress. ISBN 978-2804156039.

## **Apêndice A – Currículo de Ciência da Computação proposto pela força-tarefa ACM/IEEE-CS/AAAI 2023, foco em Inteligência Artificial: eixos de formação**

Knowledge Units (neste texto, eixos de formação):

1. Fundamental Issues
2. Search
3. Fundamental Knowledge Representation and Reasoning
4. Machine Learning
5. Applications and Societal Impact
6. Probabilistic Representation and Reasoning
7. Planning
8. Logical Representation and Reasoning
9. Agents and Cognitive Systems
10. Natural Language Processing Robotics
11. Perception and Computer Vision

## **Apêndice B – Currículo de Ciência da Computação proposto pela força-tarefa ACM/IEEE-CS/AAAI 2023, foco em Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina**

AI-ML: Machine Learning

CS Core: (Computer Science Core)

1. Definition and examples of a broad variety of machine learning tasks

a. Supervised learning

i. Classification

ii. Regression

b. Reinforcement learning

c. Unsupervised learning

i. Clustering

2. Fundamental ideas:

a. No free lunch theorem: no one learner can solve all problems; representational design decisions have consequences

b. Sources of error and undecidability in machine learning

3. A simple statistical-based supervised learning such as linear regression or decision trees

a. Focus on how they work without going into mathematical or optimization details; enough to understand and use existing implementations correctly

4. The overfitting problem / controlling solution complexity (regularization, pruning – intuition only)

a. The bias (underfitting) – variance (overfitting) tradeoff

5. Working with Data

a. Data preprocessing

i. Importance and pitfalls of preprocessing choices

b. Handling missing values (imputing, flag-as-missing)

i. Implications of imputing vs flag-as-missing

c. Encoding categorical variables, encoding real-valued data

d. Normalization/standardization

e. Emphasis on real data, not textbook examples

6. Representations

a. Hypothesis spaces and complexity

b. Simple basis feature expansion, such as squaring univariate features

c. Learned feature representations

7. Machine learning evaluation

a. Separation of train, validation, and test sets

b. Performance metrics for classifiers

c. Estimation of test performance on held-out data

d. Tuning the parameters of a machine learning model with a validation set

e. Importance of understanding what your model is actually doing, where its pitfalls/shortcomings are, and the implications of its decisions

8. Basic neural networks

a. Fundamentals of understanding how neural networks work and their training process, without details of the calculations

b. Basic introduction to generative neural networks (large language models, etc.)

9. Ethics for Machine Learning (See also: SEP-Context)

a. Focus on real data, real scenarios, and case studies

b. Dataset/algorithmic/evaluation bias and unintended consequences

KA Core (Knowledge Area – IA Core):

10. Formulation of simple machine learning as an optimization problem, such as least squares linear regression or logistic regression

a. Objective function

b. Gradient descent

c. Regularization to avoid overfitting (mathematical formulation)



11. Ensembles of models
  - a. Simple weighted majority combination
12. Deep learning
  - a. Deep feed-forward networks (intuition only, no mathematics)
  - b. Convolutional neural networks (intuition only, no mathematics)
  - c. Visualization of learned feature representations from deep nets
  - d. Other architectures (generative NN, recurrent NN, transformers, etc.)
13. Performance evaluation
  - a. Other metrics for classification (e.g., error, precision, recall)
  - b. Performance metrics for regressors
  - c. Confusion matrix
  - d. Cross-validation
  - i. Parameter tuning (grid/random search, via cross-validation)
14. Overview of reinforcement learning methods
15. Two or more applications of machine learning algorithms
  - a. E.g., medicine and health, economics, vision, natural language, robotics, game play
16. Ethics for Machine Learning
  - a. Continued focus on real data, real scenarios, and case studies (See also: SEP-Context)
  - b. Privacy (See also: SEP-Privacy)
  - c. Fairness (See also: SEP-Privacy)
  - d. Intellectual property
  - e. Explainability Non-core:
17. General statistical-based learning, parameter estimation (maximum likelihood)
18. Supervised learning
  - a. Decision trees
  - b. Nearest-neighbor classification and regression
  - c. Learning simple neural networks / multi-layer perceptrons
  - d. Linear regression
  - e. Logistic regression
  - f. Support vector machines (SVMs) and kernels
  - g. Gaussian Processes
19. Overfitting
  - a. The curse of dimensionality
  - b. Regularization (mathematical computations, L2 and L1 regularization)

- 20. Experimental design
  - a. Data preparation (e.g., standardization, representation, one-hot encoding)
  - b. Hypothesis space
  - c. Biases (e.g., algorithmic, search)
  - d. Partitioning data: stratification, training set, validation set, test set
  - e. Parameter tuning (grid/random search, via cross-validation)
  - f. Performance evaluation
    - i. Cross-validation
    - ii. Metric: error, precision, recall, confusion matrix
    - iii. Receiver operating characteristic (ROC) curve and area under ROC curve
  
- 21. Bayesian learning (Cross-Reference AI/Reasoning Under Uncertainty)
  - a. Naive Bayes and its relationship to linear models
  - b. Bayesian networks
  - c. Prior/posterior
  - d. Generative models
  
- 22. Deep learning
  - a. Deep feed-forward networks
  - b. Neural tangent kernel and understanding neural network training
  - c. Convolutional neural networks
  - d. Autoencoders
  - e. Recurrent networks
  - f. Representations and knowledge transfer
  - g. Adversarial training and generative adversarial networks
  - h. Attention mechanisms
  
- 23. Representations
  - a. Manually crafted representations
  - b. Basis expansion
  - c. Learned representations (e.g., deep neural networks)
  
- 24. Unsupervised learning and clustering
  - a. K-means
  - b. Gaussian mixture models
  - c. Expectation maximization (EM)
  - d. Self-organizing maps
  
- 25. Graph analysis (e.g., PageRank)
  
- 26. Semi-supervised learning
  
- 27. Graphical models (See also: AI-Probability)

## 28. Ensembles

- a. Weighted majority
- b. Boosting/bagging
- c. Random forest
- d. Gated ensemble

## 29. Learning theory

- a. General overview of learning theory / why learning works
- b. VC dimension
- c. Generalization bounds

## 30. Reinforcement learning

- a. Exploration vs exploitation trade-off
- b. Markov decision processes
- c. Value and policy iteration
- d. Policy gradient methods
- e. Deep reinforcement learning
- f. Learning from demonstration and inverse RL

## 31. Explainable / interpretable machine learning

- a. Understanding feature importance (e.g., LIME, Shapley values)
- b. Interpretable models and representations

## 32. Recommender systems

## 33. Hardware for machine learning

- a. GPUs / TPUs

## 34. Application of machine learning algorithms to:

- a. Medicine and health
- b. Economics
- c. Education
- d. Vision
- e. Natural language
- f. Robotics
- g. Game play
- h. Data mining (Cross-reference DM/Data Analytics)

## 35. Ethics for Machine Learning

- a. Continued focus on real data, real scenarios, and case studies (See also: SEP-Context)
- b. In depth exploration of dataset/algorithmic/evaluation bias, data privacy, and fairness (See also: SEP-Privacy, SEP-Context)
- c. Trust / explainability

## Illustrative Learning Outcomes:

1. Describe the differences among the three main styles of learning (supervised, reinforcement, and unsupervised) and determine which is appropriate to a particular problem domain.
2. Differentiate the terms of AI, machine learning, and deep learning.
3. Frame an application as a classification problem, including the available input features and output to be predicted (e.g., identifying alphabetic characters from pixel grid input).
4. Apply two or more simple statistical learning algorithms to a classification task and measure the classifiers' accuracy.
5. Identify overfitting in the context of a problem and learning curves and describe solutions to overfitting.
6. Explain how machine learning works as an optimization/search process.
7. Implement a statistical learning algorithm and the corresponding optimization process to train the classifier and obtain a prediction on new data.
8. Describe the neural network training process and resulting learned representations
9. Explain proper ML evaluation procedures, including the differences between training and testing performance, and what can go wrong with the evaluation process leading to inaccurate reporting of ML performance.
10. Compare two machine learning algorithms on a dataset, implementing the data preprocessing and evaluation methodology (e.g., metrics and handling of train/test splits) from scratch.
11. Visualize the training progress of a neural network through learning curves in a well-established toolkit (e.g., TensorBoard) and visualize the learned features of the network.
12. Compare and contrast several learning techniques (e.g., decision trees, logistic regression, naive Bayes, neural networks, and belief networks), providing examples of when each strategy is superior.
13. Evaluate the performance of a simple learning system on a real-world dataset.
14. Characterize the state of the art in learning theory, including its achievements and shortcomings.

15. Explain the problem of overfitting, along with techniques for detecting and managing the problem.
16. Explain the triple tradeoff among the size of a hypothesis space, the size of the training set, and performance accuracy.
17. Given a real-world application of machine learning, describe ethical issues regarding the choices of data, preprocessing steps, algorithm selection, and visualization/presentation of results.