<table>
<tr><td>Título do plano</td><td colspan="3">Energia, eficiência e escolhas leves: o trade-off entre custo computacional e qualidade do modelo</td><td>Sequência
19</td></tr>
<tr><td>Etapa/Ano</td><td colspan="4">Ensino Médio: ☐ 1º Ano | ☐ 2º Ano | ☑ 3º Ano</td></tr>
<tr><td>Nível de Maturidade
[link]</td><td>Escola</td><td>☐ Emergente
☐ Básico
☑ Intermediário
☐ Avançado</td><td>Docente</td><td>☐ Básico
☑ Intermediário
☐ Avançado</td></tr>
<tr><td>Competências
[link]</td><td colspan="4">☑ C1 ☐ C2 ☐ C3 ☑ C4 ☑ C5</td></tr>
<tr><td>Objetos de Conhecimento</td><td colspan="4">• Custo computacional de modelos de IA: tempo de treinamento, tempo de inferência, consumo de memória e consumo de energia elétrica.
• Pegada de carbono associada ao ciclo de vida de um modelo: matriz energética brasileira, fator de emissão (gCO_2/kWh), conversão entre Wh, kWh e gCO_2.
• Diferenças de custo computacional entre famílias de modelos: árvore de decisão (leve), redes neurais MLP (médias), modelos de linguagem de grande porte / LLMs (pesados).
• Trade-off entre qualidade do modelo e eficiência: noção de fronteira de Pareto e princípio de suficiência computacional.
• Conceitos de Green AI e Red AI: o modelo mais sofisticado nem sempre é o mais adequado para o problema.
• Decisão técnica fundamentada em evidência empírica: como argumentar a escolha de um modelo a partir de medições e estimativas.</td></tr>
<tr><td>Recursos Educacionais</td><td colspan="4">• Pacote do projeto integrador entregue no Plano 15: dataset em CSV, datasheet (Plano 8), arquivo .ows do Orange e relatório do MVP.
• Modelos comparados no Plano 14: árvore de decisão (Plano 13) e MLP/rede neural — ambos no mesmo arquivo .ows.
• Model Card produzido pelos grupos no Plano 18.
• Computador ou tablet com Orange instalado, um por grupo.
• Calculadora simples ou planilha eletrônica (Google Sheets, Excel) para conversão entre Wh, kWh e gCO_2.
• Folha de referência impressa
• Folha de trabalho "Tabela Comparativa de Custos"
• Template do Adendo de Eficiência (uma cópia por grupo).
• Cronômetro.</td></tr>
<tr><td>Componentes Curriculares Relacionados</td><td>☐ Arte
☑ Língua Port.
☐ Ed. Física</td><td>☐ Geografia
☐ História
☑ Matemática</td><td colspan="2">☐ Língua Inglesa
☐ Ciências
☑ Computação</td></tr>
<tr><td>Palavras-chave</td><td colspan="4">consumo energético; pegada de carbono; eficiência computacional; trade-off; Green AI; suficiência; árvore de decisão; MLP; LLM; matriz energética brasileira; aprendizagem baseada em projetos</td></tr>
<tr><td>Perguntas Importantes</td><td colspan="4">• Quanta energia foi necessária para treinar o nosso modelo? E quanto custaria, em energia e em emissões de carbono, treinar uma versão muito maior do mesmo sistema?
• O modelo mais sofisticado é sempre o melhor? Quando faz sentido escolher um modelo mais simples mesmo que ele seja levemente menos preciso?
• Onde estão as escolhas "leves" do nosso projeto — as decisões que economizaram recursos sem comprometer a qualidade — e onde estão as escolhas "pesadas" que poderíamos ter evitado?
• Faz sentido usar um LLM para resolver um problema que uma árvore de decisão resolveria? Em que condições sim, em que condições não?
• Como o fato de a matriz elétrica brasileira ser predominantemente hidrelétrica muda a conta de pegada de carbono comparada com países como os Estados Unidos?</td></tr>
</table>

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

	• Que escolhas o nosso grupo recomenda formalmente para a versão final do projeto, e por quê?		
Encontros	1	**Total de Horas-aula**	2
Objetivos	• Estimar empiricamente, com apoio do Orange, o custo computacional de treinar e usar os modelos do projeto integrador (árvore de decisão e MLP), traduzindo tempo em watts-hora e em gramas de CO_2 equivalente. • Comparar o custo medido com valores de referência conhecidos para sistemas baseados em LLMs, evidenciando ordens de grandeza diferentes entre famílias de modelos. • Reconhecer e nomear o trade-off entre qualidade do modelo e eficiência energética como uma decisão de projeto, não como uma propriedade técnica neutra. • Aplicar o princípio de suficiência computacional para fundamentar a escolha do modelo a ser entregue na versão final do projeto (Plano 20). • Produzir o Adendo de Eficiência ao Model Card produzido no Plano 18, integrando medições empíricas, estimativas comparativas e justificativa da decisão final de modelo. • Articular a discussão sobre eficiência energética com a especificidade da matriz energética brasileira, reconhecendo o contexto local como variável relevante na pegada de carbono de sistemas de IA.		
Habilidades Relacionadas	**BNCC:** (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta. (EM13MAT203) Aplicar conceitos matemáticos no planejamento, na execução e na análise de ações envolvendo a utilização de aplicativos e a criação de planilhas para tomar decisões. (EM13MAT302) Construir modelos empregando as funções polinomiais de 1º ou 2º graus, para resolver problemas em contextos diversos, com ou sem apoio de tecnologias digitais. (EM13LP12) Selecionar informações, dados e argumentos em fontes confiáveis, impressas e digitais, e utilizá-los de forma referenciada, para que o texto a ser produzido tenha qualidade técnica e ética. **BNCC Computação:** (EM13CO03) Identificar o comportamento dos algoritmos no que diz respeito ao consumo de recursos como tempo de execução, espaço de memória e energia, entre outros. (EM13CO05) Identificar os limites da Computação para diferenciar o que pode ou não ser automatizado, buscando uma compreensão mais ampla dos limites dos processos mentais envolvidos na resolução de problemas. (EM13CO10) Conhecer os fundamentos da Inteligência Artificial, comparando-a com a inteligência humana, analisando suas potencialidades, riscos e limites.		
Práticas Pedagógicas Inovadoras	☑ Aula Enriquecida com Tecnologia ☐ Ensino Híbrido: Sala de aula invertida ☐ Ensino Híbrido: rotação por estação ☐ Ensino Híbrido: rotação individual ☐ Aulas Mão na massa ☑ Aprendizagem baseada em projetos ☐ IA Desconectada		

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

Sequência Didática

Este encontro é o quarto do Módulo 4 (Reflexão) e opera novamente em formato de Aprendizagem Baseada em Projetos, agora combinada com Aula Enriquecida com Tecnologia, porque a etapa central do plano exige medição empírica direta no Orange. O entregável é o Adendo de Eficiência ao Model Card — não um documento novo, mas uma seção complementar que se anexa ao Model Card produzido no Plano 18. Essa decisão de desenho reforça que o Módulo 4 é um único projeto de documentação responsável que se sofistica a cada encontro: auditar (16), analisar vieses (17), documentar (18), avaliar custos (19), versionar (20). A turma se mantém nos mesmos grupos dos encontros anteriores, em parte porque o trabalho deste plano depende do .ows do Plano 14 (modelos comparados) e do Model Card do Plano 18, e em parte porque a revisão entre pares praticada no Plano 18 ganha aqui uma forma mais leve mas presente: as decisões de modelo são compartilhadas em microapresentação no fechamento.

Fase 1 — Enquadramento: por que medir o custo do nosso próprio modelo (≈15 min)

Inicie o encontro retomando, em três a quatro minutos, o que a turma já sabe sobre energia e IA. No Tema 11 do Ano 2, conduzido pela mesma equipe Claudia/Aline/Ricardo, foi trabalhada a pegada de carbono do uso pessoal de IA: cada inferência em um chatbot consome aproximadamente 0,34 Wh, cada imagem gerada por IA consome cerca de 11 Wh, e a matriz elétrica brasileira em 2023 emitiu, segundo o MCTI, 38,5 gramas de CO_2 por kWh — número baixo na comparação internacional, graças à predominância hidrelétrica. Esse vocabulário e esses números voltam hoje, mas com uma diferença importante: no Ano 2, a pergunta era genérica ("quanto pesa o meu uso diário de IA?"). No Ano 3, a pergunta é específica ("quanto pesou construir e usar o sistema que NÓS criamos?"). É a passagem do consumo de IA para a produção de IA — e, pedagogicamente, é a passagem do estudante como usuário para o estudante como projetista responsável.

Em seguida, introduza o conceito central da aula: o trade-off entre qualidade do modelo e eficiência computacional. Escreva no quadro três palavras-chave alinhadas: árvore de decisão, MLP (rede neural), LLM (modelo de linguagem de grande porte) e o que cada um significa em termos de "peso":

- **Árvore de decisão (leve):** treina em segundos em um computador comum, ocupa pouca memória, é interpretável. É o modelo do Plano 13, que vocês construíram.
- **MLP / rede neural (média):** treina em segundos a minutos para datasets pequenos, ocupa mais memória, perde explicabilidade. É um dos modelos comparados no Plano 14.
- **LLM / modelo de linguagem de grande porte (pesado):** treinar uma versão de referência como o BERT-base custou aproximadamente 1.438 kWh em estudos

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

publicados, e modelos como o GPT-3 consumiram cerca de 1.287 megawatts-hora durante o treinamento. Não treinamos um, mas usamos como contraponto numérico.

Apresente o quadro conceitual Green AI versus Red AI, formulado por Schwartz e colegas em 2020. A lógica de "Red AI" é a busca por desempenho a qualquer custo computacional — modelos cada vez maiores, com cada vez mais dados e mais energia, com ganhos marginais de qualidade. A lógica de "Green AI" é o oposto: tratar a eficiência computacional como uma métrica de qualidade, não como uma restrição secundária. Em outras palavras, escolher o modelo mais leve que resolve o problema, e não o mais sofisticado disponível. Apresente, em uma frase, o princípio de suficiência computacional: “o melhor modelo é o modelo suficiente, não o modelo máximo”. Esse princípio orienta toda a aula.

Encerre a abertura com a missão do encontro: cada grupo vai medir empiricamente o custo de treinar a árvore de decisão e a MLP do seu projeto, estimar comparativamente o custo de uma alternativa baseada em LLM, montar uma tabela de trade-offs entre qualidade e eficiência, e — com base nesses dados — recomendar formalmente, no Adendo de Eficiência, qual modelo a turma deve entregar como versão final no Plano 20. A decisão precisa ser tecnicamente fundamentada e ambientalmente consciente.

Fase 2 — Medição empírica em Orange e estimativa de pegada (≈40 min)

Esta fase é o coração da Aula Enriquecida com Tecnologia. Cada grupo abre, em seu computador ou tablet, o arquivo .ows do projeto, contendo a árvore de decisão (Plano 13) e a MLP (Plano 14). A tarefa é medir empiricamente o custo computacional dos dois modelos e converter a medição em estimativa de pegada de carbono.

Template Procedimento sugerido (impresso para cada grupo) (≈25 min de execução, ≈15 min de cálculo e registro):

Durante esta fase, o(a) docente circula entre os grupos com atenção especial a duas questões frequentes. A primeira é a tendência de minimizar a diferença observada ("é só meio segundo"). Reforce que o que importa pedagogicamente é a ordem de grandeza, não o valor absoluto: a MLP custou dezenas de vezes mais energia que a árvore para um ganho de acurácia que pode ser pequeno. A segunda é a tendência inversa, de exagerar a diferença sem contexto. Lembre que valores absolutos baixos (frações de grama de CO_2) só ficam preocupantes quando multiplicados por milhões de execuções diárias — que é exatamente o caso de sistemas em produção.

Fase 3 — Estimativa comparativa com LLM e tabela de trade-offs (≈30 min)

Com a primeira coluna da tabela preenchida com dados empíricos (árvore e MLP), o grupo agora estima por analogia o que custaria resolver o mesmo problema com um modelo de linguagem de grande porte. Esta fase não é técnica de medição: é exercício de leitura de literatura aplicada e de raciocínio por ordens de grandeza.

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

Template da Tabela Comparativa de Custos (folha de referência fornecida pelo professor para cada grupo):

Com a tabela preenchida, o grupo discute a leitura comparativa em três a quatro minutos e responde por escrito, no rodapé do template, as três perguntas-chave.

É no terceiro item que o conceito de fronteira de Pareto se torna visível para a turma: em escala pequena, a diferença absoluta entre uma árvore e uma MLP é desprezível; em escala grande, a mesma diferença pode equivaler a toneladas de CO_2 por ano. A decisão de modelo, portanto, depende do contexto de uso, não apenas do desempenho em laboratório.

Fase 4 — Decisão de modelo e Adendo de Eficiência ao Model Card (≈25 min)

A última fase consolida o trabalho do encontro em um documento curto e formal: o **Adendo de Eficiência ao Model Card**. O Adendo não é um documento independente — é uma seção que se anexa ao Model Card produzido no Plano 18, ampliando-o. A turma deve ter os dois documentos juntos sobre a mesa: Model Card de ontem, Adendo de hoje.

Estrutura do Adendo de Eficiência (template fornecido)

O grupo dispõe de aproximadamente 15 minutos para preencher o Adendo, com o Model Card do Plano 18 ao lado. Reforce que o Adendo deve usar a mesma linguagem cuidadosa do Model Card: honesta com os limites, transparente com a fonte dos números, acessível para um leitor não-técnico.

Microcompartilhamento (≈8 min):

Cada grupo apresenta, em até 75 segundos, três pontos de seu Adendo: (a) qual modelo escolheu para a versão final, (b) qual foi o argumento decisivo da escolha em termos de trade-off, e (c) uma recomendação de uso eficiente que considera a mais original do grupo. O(a) docente anota termos-chave no quadro, formando um pequeno mosaico do que a turma como um todo está recomendando para o projeto.

Conexão para o Plano 20 (≈2 min):

Encerre indicando o que muda no horizonte. No próximo e último encontro do módulo (Plano 20), a turma vai consolidar a versão final do projeto integrador, incorporando todas as decisões dos Planos 16 a 19: a auditoria do fluxo, a Carta de Mitigação, o Model Card e o Adendo de Eficiência. Será o momento de decidir, coletivamente, o versionamento do sistema (qual versão entregar, qual data de revisão, qual ciclo de atualização) e de fazer uma retrospectiva crítica do projeto inteiro. Recolha os Adendos finalizados e fixe-os, junto com os Model Cards, no mural ou pasta digital da turma.

Resumo temporal do encontro (≈120 min)

Tempo	Fase do PBL	O que acontece e produto da fase

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

≈15 min	**Enquadramento**	Recuperação dos números do Tema 11 (Ano 2). Apresentação do trade-off entre qualidade e eficiência. Quadro Green AI vs Red AI. Princípio de suficiência computacional. Definição da missão.
≈40 min	**Medição empírica em Orange**	Aula com Tecnologia: medição de tempo de treinamento e inferência da árvore de decisão e da MLP no .ows do Plano 14. Conversão para Wh e gCO_2 usando o factor MCTI. Preenchimento da primeira parte da Tabela Comparativa.
≈30 min	**Estimativa comparativa**	Estimativa por ordens de grandeza para um LLM hipotético, com base em Strubell, Patterson e referências do Tema 11. Tabela completa com cinco linhas (tempo, energia, pegada, acurácia, explicabilidade). Discussão do trade-off em pequena e grande escala.
≈25 min	**Adendo de Eficiência + Síntese**	Preenchimento do Adendo (medições, decisão de modelo justificada, recomendações de uso eficiente). Anexação ao Model Card do Plano 18. Microcompartilhamento de 75 s por grupo. Gancho para o Plano 20.
≈10 min	***Folga de manejo***	*Margem para transições, gerenciamento de turma e ajustes técnicos no Orange. Recomenda-se preservá-la: a Fase 2 frequentemente exige mais tempo do que o estimado, especialmente em turmas com pouca familiaridade com a ferramenta.*

Avaliação

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

A avaliação é processual e baseada em evidências de medição, raciocínio comparativo e justificativa de decisão. Em um plano que articula PBL com investigação empírica, a qualidade da medição e a qualidade do argumento têm peso comparável. Critérios e peso:

- **Medição empírica e cálculo de pegada — Fase 2 (20%):** registros consistentes de tempo de treinamento e inferência; conversão correta de Wh para kWh e para gCO_2 com o fator MCTI; documentação clara do método (potência assumida, fonte do factor de emissão).
- **Tabela Comparativa de Custos — Fases 2 e 3 (20%):** tabela completa com as cinco linhas (tempo, energia, pegada, acurácia, explicabilidade) e três colunas (árvore, MLP, LLM hipotético). Estimativas para LLM em ordem de grandeza defensável e com fonte declarada.
- **Adendo de Eficiência — Bloco 2 (decisão de modelo justificada) (25%):** argumento técnico e ambiental claro para a escolha do modelo da versão final; uso explícito do princípio de suficiência computacional; reconhecimento honesto do que se ganha e do que se perde com a escolha.
- **Adendo de Eficiência — Bloco 3 (recomendações de uso eficiente) (15%):** três recomendações específicas ao projeto, não genéricas, focadas em eficiência operacional do sistema.
- **Articulação com o Model Card do Plano 18 (10%):** Adendo coerente em linguagem, formato e nível de detalhe com o Model Card existente; anexação visível dos dois documentos como pacote único.
- **Postura crítica e ambiental durante o encontro (10%):** observação docente sobre engajamento na medição empírica, qualidade da discussão de trade-offs e capacidade de articular custo computacional com responsabilidade ambiental.

Recomenda-se que a rúbrica seja apresentada à turma no início do encontro e impressa em cada mesa.

Material Complementar

Sobre custo energético de modelos de IA:

STRUBELL, Emma; GANESH, Ananya; MCCALLUM, Andrew. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. Proceedings of ACL, 2019. Estudo seminal sobre o custo energético de treinar modelos como BERT. Disponível em: https://aclanthology.org/P19-1355/

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas.
IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br

SCHWARTZ, Roy; DODGE, Jesse; SMITH, Noah A.; ETZIONI, Oren. Green AI. Communications of the ACM, v. 63, n. 12, 2020. Texto que cunhou o termo "Green AI" e propôs eficiência como métrica de qualidade. Disponível em: https://cacm.acm.org/research/green-ai/

PATTERSON, David et al. Carbon Emissions and Large Neural Network Training. arXiv:2104.10350, 2021. Atualização com dados sobre treinamento de LLMs maiores como GPT-3. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2104.10350

HENDERSON, Peter et al. Towards the Systematic Reporting of the Energy and Carbon Footprints of Machine Learning. Journal of Machine Learning Research, 2020. Disponível em: https://jmlr.org/papers/v21/20-312.html

LACOSTE, Alexandre et al. Quantifying the Carbon Emissions of Machine Learning. Calculadora online ML CO_2 Impact, 2019. Útil para estimar pegada de treinamentos hipotéticos. Disponível em: https://mlco2.github.io/impact/

Matriz energética brasileira e fator de emissão:

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Fator de emissão de CO_2 na geração de energia elétrica no Brasil em 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/02/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos

EPE — Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Atualização anual sobre composição da matriz brasileira. Disponível em: https://www.epe.gov.br/

INICIATIVA VERDE. Calculadora de carbono. Disponível em: https://iniciativaverde.org.br/calculadora

SOS MATA ATLÂNTICA. Calculadora de emissão de CO_2. Disponível em: https://www.sosma.org.br/calcule-sua-emissao-de-co2

CC BY-NC-SA 4.0
Vicari, Rosa Maria; Galafassi, Cristiano; Brackmann, Christian; Mizusaki, Lucas. IA@Escola. 2026. Disponível em: www.IAnaEscola.com.br