

GeoAI com Python

*Um guia prático de IA
geoespacial de código aberto*



Qiusheng Wu

GeoAI com Python

Um guia prático de inteligência artificial
geoespacial de código aberto

Qiusheng Wu
2026

Contents

Prefácio	1
Introdução	3
Para Quem é Este Livro	3
O Que Este Livro Aborda	5
Aproveitando ao Máximo Este Livro	8
Convenções Usadas Neste Livro	9
Baixando os Exemplos de Código	9
Tutoriais em Vídeo	10
Comunidade e Feedback	10
Sobre o Autor	11
Licenciamento e Direitos Autorais	11
I: Fundamentos	13
1. Introdução à GeoAI	15
1.1. Introdução	15
1.2. Objetivos de Aprendizado	16
1.3. O Que é GeoAI?	16
1.4. Aplicações-Chave do GeoAI	18
1.5. O Ecossistema Python para GeoAI	22
1.6. Tarefas Principais de IA na Análise Geoespacial	24
1.7. De Métodos Tradicionais a Modelos Fundamentais	31
1.8. Principais Conclusões	32
1.9. Exercícios	33
2. Configuração do Ambiente	35
2.1. Introdução	35
2.2. Objetivos de Aprendizado	35
2.3. Requisitos de Hardware	35
2.4. Instalando Drivers NVIDIA	36
2.5. Instalando Python com Miniconda	39
2.6. Criando um Ambiente Conda	40
2.7. Instalando GeoAI e PyTorch com Suporte a GPU	41
2.8. Instalando uv como Gerenciador de Pacotes Alternativo	42
2.9. Configurando o Jupyter	43
2.10. Instalando Visual Studio Code	45
2.11. Verificando Sua Configuração	46
2.12. Exercícios	47
3. Fundamentos de Dados Geoespaciais	49
3.1. Introdução	49
3.2. Objetivos de Aprendizado	49
3.3. Dados Raster	49
3.4. Dados Vetoriais	53
3.5. Sistemas de Referência de Coordenadas	56
3.6. Formatos de Anotação para Deep Learning	57
3.7. Tiling de Imagens e Chips	59
3.8. Principais Conclusões	60
3.9. Exercícios	60

II: Aquisição e Preparação de Dados	63
4. Download de Dados de Sensoriamento Remoto	65
4.1. Introdução	65
4.2. Objetivos de Aprendizagem	65
4.3. Fontes de Imagens de Satélite	65
4.4. Pesquisando com STAC	67
4.5. Download de Imagens NAIP	72
4.6. Download de Dados Sentinel-2	74
4.7. Download de Dados Landsat	75
4.8. Download de Dados Abertos Vantor	77
4.9. Acesso a Dados Vetoriais	77
4.10. Organizando Seus Dados	80
4.11. Principais Aprendizados	80
4.12. Exercícios	81
5. Mapeamento Interativo e Visualização	83
5.1. Introdução	83
5.2. Objetivos de Aprendizagem	83
5.3. Criando Mapas Interativos com Leafmap	84
5.4. Trabalhando com Dados Raster em Mapas	85
5.5. Visualizando Dados do Planetary Computer	88
5.6. Trabalhando com Dados Vetoriais em Mapas	92
5.7. Mapas de Painel Dividido para Comparação	94
5.8. Visualizando Resultados de Modelo	95
5.9. Melhores Práticas para Visualização em GeoAI	97
5.10. Principais Aprendizados	98
5.11. Exercícios	99
6. Criação de Dados de Treinamento	101
6.1. Introdução	101
6.2. Objetivos de Aprendizagem	101
6.3. O Pipeline de Dados de Treinamento	101
6.4. Gerando Chips de Imagem a Partir de uma Única Imagem	102
6.5. Processamento em Lote de Múltiplas Imagens	106
6.6. Processamento em Lote com Máscaras Raster	111
6.7. Considerações sobre Qualidade dos Rótulos	111
6.8. Organização do Dataset	112
6.9. Resumo	113
6.10. Principais Aprendizados	114
6.11. Exercícios	114
III: Tarefas Principais de IA	117
7. Reconhecimento de Imagens	119
7.1. Introdução	119
7.2. Objetivos de Aprendizagem	119
7.3. Entendendo a Classificação de Imagens	120
7.4. Arquiteturas de Classificação	121
7.5. Preparando Dados para Classificação	122
7.6. Importar Bibliotecas	123
7.7. Download do Dataset EuroSAT RGB	124
7.8. Explorar o Dataset	124

7.9.	Treinar um Classificador ResNet-50	126
7.10.	Plotar Histórico de Treinamento	127
7.11.	Avaliar no Conjunto de Teste	127
7.12.	Plotar Matriz de Confusão	128
7.13.	Visualizar Predições	130
7.14.	Treinar um Classificador EfficientNet-B0	131
7.15.	Comparar Resultados	133
7.16.	Publicar e Reutilizar Modelos	133
7.17.	Principais Aprendizados	135
7.18.	Exercícios	135
8.	<i>Detecção de Objetos</i>	137
8.1.	Introdução	137
8.2.	Objetivos de Aprendizagem	137
8.3.	Entendendo a Detecção de Objetos	138
8.4.	Arquiteturas de Detecção	139
8.5.	Preparando Conjuntos de Dados de Detecção	142
8.6.	Avaliando Resultados de Detecção	142
8.7.	Importar Bibliotecas	143
8.8.	Baixar o Conjunto de Dados NWPU-VHR-10	144
8.9.	Explorar o Conjunto de Dados	144
8.10.	Preparar o Conjunto de Dados	145
8.11.	Visualizar Anotações de Exemplo	145
8.12.	Treinar um Modelo de Detecção Multiclasse	146
8.13.	Plotar Métricas de Treinamento	147
8.14.	Avaliar com Métricas COCO	148
8.15.	Executar Inferência em Imagens de Exemplo	148
8.16.	Visualizar Detecções	149
8.17.	Inferência em Lote em Múltiplas Imagens	150
8.18.	Publicar e Reutilizar Modelos	151
8.19.	Principais Conclusões	154
8.20.	Exercícios	154
9.	<i>Segmentação Semântica</i>	157
9.1.	Introdução	157
9.2.	Objetivos de Aprendizagem	157
9.3.	Fundamentos da Segmentação Semântica	158
9.4.	Importar Bibliotecas	160
9.5.	Detecção de Edificações a partir de Imagens Aéreas	160
9.6.	Mapeamento de Águas Superficiais	166
9.7.	Detecção de Nuvens e Sombras de Nuvens	189
9.8.	Classificação de Cobertura do Solo	196
9.9.	Publicar e Reutilizar Modelos	200
9.10.	Pontos Principais	201
9.11.	Exercícios	202
10.	<i>Segmentação de Instâncias</i>	205
10.1.	Introdução	205
10.2.	Objetivos de Aprendizagem	205
10.3.	Segmentação de Instâncias vs. Segmentação Semântica	206
10.4.	Arquitetura Mask R-CNN	207

10.5.	Baixando o Conjunto de Dados FTW	208
10.6.	Preparando Dados de Treinamento	210
10.7.	Treinando um Modelo Mask R-CNN	211
10.8.	Executando Inferência	212
10.9.	Pós-Processamento de Previsões	214
10.10.	Extraindo Propriedades Geométricas	216
10.11.	Processamento em Lote	219
10.12.	Principais Conclusões	219
10.13.	Exercícios	220
11.	<i>Tradução de Imagens</i>	223
11.1.	Introdução	223
11.2.	Objetivos de Aprendizagem	223
11.3.	Fundamentos da Tradução de Imagens	224
11.4.	Importar Bibliotecas	226
11.5.	Baixar Dados de Exemplo	226
11.6.	Visualizar o Composto RGB de Entrada	227
11.7.	Super-Resolução de Patch Único	228
11.8.	Estimativa de Incerteza	229
11.9.	Inferência em Tiles para Regiões Maiores	231
11.10.	Limitações e Precauções	233
11.11.	Principais Conclusões	234
11.12.	Exercícios	235
12.	<i>Detecção de Mudanças</i>	237
12.1.	Introdução	237
12.2.	Objetivos de Aprendizagem	237
12.3.	Entendendo a Detecção de Mudanças	238
12.4.	Métodos Tradicionais de Detecção de Mudanças	239
12.5.	Deep Learning para Detecção de Mudanças	241
12.6.	Importar Bibliotecas	242
12.7.	Listar Modelos Disponíveis	243
12.8.	Configuração	243
12.9.	Baixar Dados de Exemplo	243
12.10.	Visualizar Imagens de Entrada	244
12.11.	Inicializar o Modelo ChangeStar	244
12.12.	Executar Detecção de Mudanças	244
12.13.	Visualizar Resultados	245
12.14.	Usando a Função de Conveniência	247
12.15.	Comparando Variantes de Modelo	247
12.16.	Ajustando o Limiar	248
12.17.	Visualizar Saídas Salvas	249
12.18.	Pontos Principais	250
12.19.	Exercícios	251
13.	<i>Regressão a Nível de Pixel</i>	253
13.1.	Introdução	253
13.2.	Objetivos de Aprendizagem	253
13.3.	Entendendo a Regressão de Pixel	253
13.4.	Arquiteturas de Regressão	255
13.5.	Estudo de Caso: Previsão de NDVI a partir de Imagens Landsat	256

13.6. Métricas de Avaliação	261
13.7. Principais Conclusões	262
13.8. Exercícios	262
IV: Modelos Fundacionais e Embeddings de Satélite	265
14. Segment Anything para Geoespacial	267
14.1. Introdução	267
14.2. Objetivos de Aprendizado	268
14.3. Como o SAM 3 Funciona	268
14.4. Configuração do Ambiente	269
14.5. Segmentação de Imagem	269
14.6. Prompts de Ponto para Segmentação de Instância	274
14.7. Prompts de Caixa para Extração de Edifícios	281
14.8. Segmentação em Lote	285
14.9. Segmentação em Tiles para Imagens Grandes	287
14.10. Segmentação Interativa	290
14.11. Segmentação de Vídeo	292
14.12. Principais Conclusões	298
14.13. Exercícios	299
15. Modelos Vision-Language	301
15.1. Introdução	301
15.2. Objetivos de Aprendizado	301
15.3. Como Funcionam os Modelos Vision-Language	302
15.4. Configuração do Ambiente	303
15.5. Dados de Amostra	303
15.6. Inicializando o Processador Moondream	304
15.7. Legendagem de Imagens	304
15.8. Resposta Visual a Perguntas	306
15.9. Detecção de Objetos e Localização de Pontos	306
15.10. GUI Interativa	309
15.11. Análise de Janela Deslizante para Rasters Grandes	311
15.12. Segmentação Baseada em CLIP	317
15.13. Aplicações Práticas em Observação da Terra	319
15.14. Limitações e Considerações	320
15.15. Principais Conclusões	321
15.16. Exercícios	321
16. Embeddings de Satélite	323
16.1. Introdução	323
16.2. Objetivos de Aprendizado	323
16.3. O que São Embeddings de Satélite?	324
16.4. Configuração do Ambiente	324
16.5. Navegando pelos Conjuntos de Dados de Embeddings Disponíveis	324
16.6. Explorando Embeddings Baseados em Patches	326
16.7. Visualizando Embeddings	328
16.8. Agrupamento de Embeddings	330
16.9. Busca por Similaridade	332
16.10. Treinando Classificadores sobre Embeddings	335
16.11. Comparando Embeddings para Detecção de Mudanças	339
16.12. Carregando Conjuntos de Dados com TorchGeo	341

16.13.	Trabalhando com Embeddings Temporais TESSERA	341
16.14.	Explorando Embeddings de Satélite AlphaEarth	347
16.15.	Principais Conclusões	350
16.16.	Exercícios	351
V:	Plugins de QGIS	353
17.	Configuração do Plugin GeoAI para QGIS	355
17.1.	Introducao	355
17.2.	Objetivos de Aprendizagem	355
17.3.	Visao Geral da Arquitetura do Plugin	355
17.4.	Instalando o Plugin QGIS	356
17.5.	Configurando Dependencias	359
17.6.	Configurando o Acesso ao SAM 3	363
17.7.	Gerenciamento de Memoria da GPU	364
17.8.	Verificando Atualizacoes do Plugin	365
17.9.	Principais Conclusoes	366
17.10.	Exercicios	366
18.	Segmentação de Árvores no QGIS	369
18.1.	Introducao	369
18.2.	Objetivos de Aprendizagem	369
18.3.	Visao Geral do Painel de Segmentacao de Arvores	370
18.4.	Carregando Modelos Pre-treinados	370
18.5.	Executando Previsoes	372
18.6.	Exportando Resultados	375
18.7.	Consideracoes Praticas	376
18.8.	Principais Conclusoes	377
18.9.	Exercicios	377
19.	Segmentação de Água no QGIS	379
19.1.	Introducao	379
19.2.	Objetivos de Aprendizagem	379
19.3.	Visao Geral do Painel de Segmentacao de Agua	380
19.4.	Configurando Dados de Entrada	380
19.5.	Executando a Segmentacao de Agua	382
19.6.	Opcoes de Saida	383
19.7.	Consideracoes Praticas	384
19.8.	Principais Conclusoes	385
19.9.	Exercicios	386
20.	Modelos Vision-Language no QGIS	387
20.1.	Introducao	387
20.2.	Objetivos de Aprendizagem	388
20.3.	Carregando o Modelo Moondream	388
20.4.	Legendagem de Imagens	390
20.5.	Resposta Visual a Perguntas	392
20.6.	Deteccao de Objetos	393
20.7.	Localizacao de Pontos	394
20.8.	Dicas e Limitacoes	395
20.9.	Principais Conclusoes	396
20.10.	Exercicios	397
21.	Segment Anything no QGIS	399

21.1. Introducao	399
21.2. Objetivos de Aprendizagem	399
21.3. Dados de Exemplo	399
21.4. Carregando um Modelo SAM	400
21.5. Segmentacao por Prompt de Texto	402
21.6. Segmentacao Interativa	402
21.7. Processamento em Lote	404
21.8. Exportando Resultados	405
21.9. Principais Conclusoes	407
21.10. Exercicios	408
22. Segmentação Semântica no QGIS	411
22.1. Introducao	411
22.2. Objetivos de Aprendizagem	411
22.3. Criando Dados de Treinamento	412
22.4. Treinando um Modelo	414
22.5. Executando Inferencia	417
22.6. Solucionando Problemas Comuns	418
22.7. Principais Conclusoes	419
22.8. Exercicios	419
23. Segmentação de Instâncias no QGIS	421
23.1. Introducao	421
23.2. Objetivos de Aprendizagem	421
23.3. Arquitetura Mask R-CNN	421
23.4. Criando Dados de Treinamento	422
23.5. Treinando o Mask R-CNN	424
23.6. Executando Inferencia	426
23.7. Principais Conclusoes	427
23.8. Exercicios	428
Referências	429

Prefácio

Introdução

Estamos no meio de uma revolução na observação da Terra. A cada dia, satélites capturam um volume massivo de dados, incluindo imagens multiespectrais, radar, LiDAR e muito mais. Embora essas informações guardem as chaves para compreender a vulnerabilidade climática e a urbanização, a lacuna entre a coleta de dados e a aplicação no mundo real tem permanecido como um grande obstáculo.

É aqui que o GeoAI entra em cena.

Como a interseção entre ciência geoespacial e IA, o GeoAI está fechando essa lacuna em um ritmo incrível. Modelos de deep learning agora conseguem identificar cada edificação em escala ou localizar veículos individuais em vastas áreas. Novos modelos fundamentais permitem que essas ferramentas funcionem em ambientes desconhecidos com mínima intervenção humana. Além disso, modelos de visão-linguagem e agentes autônomos estão permitindo que analistas consultem imagens e gerenciem fluxos de trabalho usando comandos simples. As tarefas de digitalização manual que antes levavam meses agora estão sendo concluídas em questão de minutos.

Este livro, “*GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*” é seu guia prático para essa revolução. Ele é construído sobre uma premissa simples: a melhor maneira de aprender GeoAI é praticando. Em vez de se deter em teoria abstrata, cada capítulo coloca ferramentas reais em suas mãos, desde a preparação de datasets de treinamento e execução de modelos de deep learning até a visualização e interpretação interativa dos seus resultados. O código é real, os datasets são reais, e os problemas refletem o que os profissionais encontram todos os dias.

O ecossistema Python para GeoAI amadureceu dramaticamente. Bibliotecas como PyTorch, torchgeo e segment-geospatial trazem deep learning de ponta para profissionais geoespaciais, enquanto pacotes como [leafmap](#) e [geoai](#) fornecem interfaces de alto nível que tornam fluxos de trabalho complexos acessíveis. Plataformas de computação em nuvem e aceleração por GPU reduziram a barreira para treinar e implantar modelos em escala. Juntos, esses avanços significam que um pesquisador com um laptop agora pode realizar o que antes exigia uma equipe de especialistas e uma sala cheia de servidores.

Nossa jornada começa com os fundamentos: entendendo formatos de dados geoespaciais, configurando um ambiente de deep learning e dominando a visualização interativa. Em seguida, cobrimos o trabalho essencial de aquisição de imagens de satélite e preparação de datasets de treinamento. A partir daí, avançamos pelas tarefas principais de IA que definem o sensoriamento remoto moderno: reconhecimento de imagens, detecção de objetos, segmentação semântica, segmentação de instâncias, tradução de imagens, detecção de mudanças e regressão em nível de pixel. Depois, exploramos a fronteira dos modelos fundamentais, incluindo o Segment Anything Model (SAM), modelos de visão-linguagem e embeddings de satélite. Finalmente, uma seção dedicada a plugins do QGIS traz essas capacidades de IA para um ambiente familiar de SIG desktop, permitindo fluxos de trabalho sofisticados sem escrever código.

Seja você um profissional de SIG buscando integrar IA aos seus fluxos de trabalho, um cientista de dados curioso sobre aplicações geoespaciais, um pesquisador ampliando os limites da observação da Terra, ou um estudante iniciando uma carreira na interseção entre geografia e aprendizado de máquina, este livro irá equipá-lo com o conhecimento e as habilidades para transformar imagens de satélite em insights.

O futuro da análise geoespacial é inteligente, automatizado e acessível. Vamos construí-lo juntos.

Para Quem é Este Livro

Este livro foi projetado para qualquer pessoa que deseje aplicar inteligência artificial a dados geoespaciais. Se você já ficou olhando para uma imagem de satélite se perguntando como extrair edificações, estradas ou

cobertura do solo automaticamente, ou se você já treinou modelos de deep learning mas teve dificuldades em aplicá-los a dados geográficos com projeções, coordenadas e tamanhos de arquivo massivos, este livro é para você.

Você Encontrará Maior Valor Se For

Um Profissional de SIG pronto para ir além da digitalização manual e interpretação visual. Você é proficiente em QGIS ou ArcGIS e entende conceitos de análise espacial, mas deseja aproveitar o deep learning para automatizar a extração de feições, classificar a cobertura do solo em escala ou detectar mudanças em séries temporais de imagens.

Um Cientista ou Pesquisador de Sensoriamento Remoto trabalhando com imagens de satélite ou aéreas. Você entende bandas espectrais, resolução espacial e pré-processamento de imagens, mas precisa de uma ponte prática para técnicas modernas de IA, desde treinar modelos de segmentação até aplicar modelos fundamentais como o SAM às suas áreas de estudo.

Um Cientista de Dados ou Engenheiro de Aprendizado de Máquina com experiência em deep learning que deseja aplicar suas habilidades a problemas geoespaciais. Você está confortável com PyTorch ou TensorFlow e entende CNNs e transformers, mas precisa de orientação sobre os desafios únicos dos dados geográficos: sistemas de referência de coordenadas, divisão de rasters grandes em tiles, manipulação de imagens multibanda e georreferenciamento das saídas dos modelos.

Um Estudante de Pós-Graduação ou Pesquisador em Início de Carreira em geografia, ciências ambientais, planejamento urbano, ecologia ou área relacionada. Sua pesquisa envolve dados espaciais e você deseja incorporar métodos de IA de ponta em sua dissertação ou publicações, enquanto desenvolve habilidades cada vez mais demandadas.

Um Desenvolvedor de Software construindo aplicações geoespaciais que requerem análise inteligente. Você precisa integrar extração de feições, classificação ou detecção de mudanças alimentadas por IA em aplicações web, APIs ou pipelines automatizados, e deseja entender o fluxo de trabalho completo desde o treinamento do modelo até a implantação.

Pré-requisitos Essenciais

Você deve estar confortável com:

- **Programação em Python:** variáveis, funções, classes e importação de bibliotecas (não é necessária expertise em Python avançado)
- **Análise de dados básica:** trabalho com dados tabulares, filtragem, agregação e plotagem
- **Conceitos geoespaciais fundamentais:** entendimento de que dados possuem localização, o que são dados raster e vetoriais, e familiaridade básica com sistemas de coordenadas
- **Noções básicas de linha de comando:** navegação em diretórios, execução de scripts e instalação de pacotes

Conhecimento Útil (Mas Não Obrigatório)

- Experiência com frameworks de deep learning (PyTorch, TensorFlow)
- Familiaridade com conceitos de sensoriamento remoto (bandas espectrais, resolução espacial, classificação de imagens)
- Exposição prévia a bibliotecas Python geoespaciais (rasterio, geopandas, leafmap)
- Compreensão de fundamentos de aprendizado de máquina (treinamento vs. inferência, overfitting, métricas de avaliação)

Se Você é Novo em Programação Python Geoespacial

Se você é novo em programação Python geoespacial, o seguinte livro oferece uma excelente introdução tanto aos conceitos fundamentais de SIG quanto à programação Python:

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Para aqueles interessados em gerenciamento de dados espaciais e análise geoespacial baseada em SQL, o livro complementar oferece um guia abrangente:

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

O Que Este Livro Aborda

Este livro oferece uma jornada estruturada desde os fundamentos geoespaciais até aplicações de GeoAI prontas para produção, equipando você com habilidades práticas através de exemplos práticos em cada etapa. Cada capítulo se baseia no anterior, expandindo progressivamente sua capacidade de aplicar IA a problemas geoespaciais do mundo real.

Parte I: Fundamentos (*Capítulos 1-3*)

Estabeleça o conhecimento essencial e as ferramentas que sustentam todo o conteúdo subsequente:

- **Capítulo 1: Introdução ao GeoAI** fornece uma visão abrangente do cenário GeoAI: o que é, por que é importante e como o deep learning transformou a análise geoespacial. Você explorará as principais tarefas de IA em sensoriamento remoto, fará um panorama do ecossistema Python para GeoAI e compreenderá para onde os modelos fundamentais e agentes de IA estão levando o campo.
- **Capítulo 2: Configuração do Ambiente** guia você na configuração de um ambiente de desenvolvimento GeoAI completo. Desde a instalação do Python e gerenciamento de pacotes com conda até a configuração de aceleração por GPU com CUDA e PyTorch, este capítulo garante que você tenha uma base sólida e reproduzível para todo o trabalho prático que se segue.
- **Capítulo 3: Formatos de Dados Geoespaciais** cobre os formatos de dados que você encontrará ao longo do livro, incluindo formatos raster como GeoTIFF e Cloud Optimized GeoTIFF (COG), formatos vetoriais como GeoJSON e GeoParquet, e formatos especializados para deep learning como anotações COCO e Pascal VOC. Você aprenderá a ler, escrever e converter entre formatos usando Python.

Ao final da Parte I, você terá um ambiente de deep learning completamente configurado e uma compreensão sólida dos formatos de dados e conceitos necessários para trabalhar com GeoAI.

Parte II: Aquisição e Preparação de Dados (*Capítulos 4-6*)

Domine o trabalho crítico, mas frequentemente subestimado, de obter e preparar dados geoespaciais para IA:

- **Capítulo 4: Download de Dados de Sensoriamento Remoto** ensina como acessar programaticamente imagens de satélite, dados de elevação e outros datasets geoespaciais de fontes como Google Earth Engine, Microsoft Planetary Computer e vários portais de dados abertos. Você aprenderá a pesquisar, filtrar e baixar dados para suas áreas de estudo de forma eficiente.

- **Capítulo 5: Mapeamento e Visualização Interativos** apresenta ferramentas de visualização poderosas para explorar dados geoespaciais interativamente. Usando leafmap e outras bibliotecas, você criará mapas interativos, sobreporá imagens de satélite, visualizará previsões de modelos e construirá narrativas visuais convincentes. Essas habilidades são essenciais tanto para análise exploratória quanto para comunicação de resultados.
- **Capítulo 6: Criação de Dados de Treinamento** aborda uma das etapas mais importantes em qualquer pipeline de IA: preparar datasets de treinamento de alta qualidade. Você aprenderá a criar datasets rotulados para tarefas de segmentação, detecção e classificação, incluindo estratégias de anotação e como dividir grandes imagens de satélite em chips de treinamento.

Ao final da *Parte II*, você será capaz de adquirir imagens de satélite de múltiplas fontes, visualizá-las interativamente e preparar datasets de treinamento bem estruturados prontos para modelos de deep learning.

Parte III: Tarefas Principais de IA (*Capítulos 7-13*)

Mergulhe nas tarefas fundamentais de IA que definem a análise geoespacial moderna:

- **Capítulo 7: Reconhecimento de Imagens** introduz o deep learning para classificação de imagens inteiras. Você aprenderá a construir modelos de classificação de imagens que identificam tipos de cena, categorias de uso do solo e feições geográficas a partir de imagens de satélite e aéreas.
- **Capítulo 8: Detecção de Objetos** ensina a localizar e classificar objetos individuais em imagens geoespaciais. Desde detectar edificações e veículos até identificar árvores e painéis solares, você trabalhará com arquiteturas como Faster R-CNN e YOLO adaptadas para sensoriamento remoto.
- **Capítulo 9: Segmentação Semântica** cobre a classificação em nível de pixel, atribuindo um rótulo de classe a cada pixel de uma imagem. Você treinará modelos para delinear feições como corpos d'água, vegetação e áreas construídas a partir de imagens de satélite, aprendendo arquiteturas como U-Net e DeepLabV3+ ao longo do caminho.
- **Capítulo 10: Segmentação de Instâncias** combina detecção e segmentação, produzindo limites precisos para cada objeto individual. Você aprenderá a distinguir feições sobrepostas, como pegadas de edificações individuais em áreas urbanas densas, usando modelos como Mask R-CNN.
- **Capítulo 11: Tradução de Imagens** aplica IA para transformar imagens entre domínios, incluindo super-resolução, tradução entre sensores e remoção de nuvens. Você treinará modelos em imagens de satélite multiespectrais e aprenderá a gerar saídas de maior resolução a partir de entradas de menor resolução.
- **Capítulo 12: Detecção de Mudanças** aborda o desafio de identificar o que mudou entre imagens capturadas em diferentes momentos. Desde expansão urbana e desmatamento até avaliação de danos pós-desastre, você aprenderá abordagens tradicionais e de deep learning para análise temporal.
- **Capítulo 13: Regressão em Nível de Pixel** vai além da classificação para prever valores contínuos para cada pixel, como altura do dossel, biomassa, umidade do solo ou densidade populacional. Você treinará modelos de regressão em imagens de satélite e aprenderá estratégias de avaliação específicas para previsões contínuas.

Ao final da *Parte III*, você terá experiência prática com todas as principais tarefas de GeoAI, entenderá quando aplicar cada abordagem e será capaz de treinar e avaliar modelos para suas próprias aplicações geoespaciais.

Parte IV: Modelos Fundamentais e Embeddings de Satélite (*Capítulos 14-16*)

Explore a fronteira do GeoAI, onde modelos fundamentais pré-treinados estão redefinindo o que é possível:

- **Capítulo 14: Segment Anything para Geoespacial** apresenta o Segment Anything Model (SAM) e sua aplicação a imagens geoespaciais. Usando o pacote [segment-geospatial](#), você aprenderá a segmentar imagens de satélite com prompts mínimos, extraindo edificações, campos agrícolas, corpos d'água e mais, sem treinamento específico para a tarefa.
- **Capítulo 15: Modelos de Visão-Linguagem** explora modelos que conectam compreensão visual e textual. Você aprenderá a consultar imagens de satélite usando linguagem natural, gerar legendas para cenas geoespaciais e aproveitar modelos multimodais para tarefas como resposta a perguntas visuais sobre dados de sensoriamento remoto.
- **Capítulo 16: Embeddings de Satélite** explora o ecossistema em rápido crescimento de datasets de embeddings de satélite pré-computados a partir de modelos fundamentais. Você aprenderá a navegar, carregar e visualizar embeddings de nove datasets incluindo Clay, TESSERA e AlphaEarth do Google, realizar busca por similaridade e agrupamento, e treinar classificadores leves em vetores de embedding.

Ao final da Parte IV, você entenderá como os modelos fundamentais estão remodelando o GeoAI, e estará equipado para aplicar essas técnicas avançadas à sua própria pesquisa e projetos.

Parte V: Plugins do QGIS (Capítulos 17-23)

Traga capacidades de GeoAI para o ambiente familiar do QGIS desktop através do plugin GeoAI:

- **Capítulo 17: Configurando o Plugin GeoAI para QGIS** orienta a instalação e configuração do plugin GeoAI para QGIS. Você usará o instalador de dependências integrado ou configurará um ambiente Pixi com suporte a PyTorch e CUDA, instalará o plugin e aprenderá a gerenciar memória da GPU para executar grandes modelos de IA dentro do QGIS.
- **Capítulo 18: Segmentação de Árvores no QGIS** demonstra o painel de Segmentação de Árvores para detecção de copas e detecção de objetos ecológicos. Você carregará modelos pré-treinados para árvores, pássaros, gado, ninhos e árvores mortas, configurará parâmetros de previsão para imagens individuais e tiles grandes, e exportará resultados em formatos vetorial, raster e de dados de treinamento.
- **Capítulo 19: Segmentação de Água no QGIS** cobre o painel de Segmentação de Água para detecção automatizada de corpos d'água usando OmniWaterMask. Você configurará a ordenação de bandas para diferentes sensores, ajustará parâmetros de inferência baseada em patches, integrará dados do OpenStreetMap para refinamento e exportará máscaras de água como dados raster e vetoriais.
- **Capítulo 20: Modelos de Visão-Linguagem no QGIS** demonstra o painel Moondream VLM para interação em linguagem natural com imagens geoespaciais. Você gerará legendas de imagens, fará perguntas sobre feições visíveis, detectará objetos com caixas delimitadoras e localizará feições com marcadores de ponto.
- **Capítulo 21: Segment Anything no QGIS** demonstra o painel Segment Anything para segmentação interativa e automatizada. Você carregará o SAM 3, segmentará objetos usando prompts de texto, realizará segmentação interativa com prompts de ponto e caixa, processará lotes de feições e exportará resultados georreferenciados.
- **Capítulo 22: Segmentação Semântica no QGIS** cobre o fluxo de trabalho completo de treinamento à inferência para classificação em nível de pixel sem escrever código. Você criará datasets de treinamento, escolherá entre arquiteturas como U-Net, DeepLabV3+ e SegFormer, treinará modelos personalizados e executará inferência com vetorização e suavização.
- **Capítulo 23: Segmentação de Instâncias no QGIS** demonstra detecção de objetos em nível de instância usando Mask R-CNN. Você criará dados de treinamento de instância no formato PASCAL_VOC, treinará modelos para detectar e delinear objetos individuais e usará a saída por objeto para contagem, medição e análise espacial.

Ao final da Parte V, você será capaz de executar fluxos de trabalho sofisticados de GeoAI diretamente dentro do QGIS, tornando a análise alimentada por IA acessível a profissionais de SIG sem necessidade de expertise em programação Python.

Temas Transversais ao Longo do Livro

- **Prática Hands-On:** Cada conceito é acompanhado por exemplos de código executáveis usando dados geoespaciais reais.
- **Ferramentas Open Source:** Todo software usado no livro é gratuito e open-source, garantindo acessibilidade e reprodutibilidade.
- **Fluxos de Trabalho Escaláveis:** Técnicas que funcionam em um laptop e escalam para infraestrutura em nuvem.
- **Aplicações do Mundo Real:** Exemplos extraídos de monitoramento ambiental, análise urbana, agricultura e resposta a desastres.
- **Reprodutibilidade:** Todo código e dados estão disponíveis no GitHub, permitindo que você reproduza cada resultado do livro.

Aproveitando ao Máximo Este Livro

Para maximizar sua experiência de aprendizado com este livro, considere as seguintes recomendações:

Configure Seu Ambiente Cedo: Siga o Capítulo 2 cuidadosamente para configurar seu ambiente Python com suporte a GPU. Muitas tarefas de GeoAI se beneficiam significativamente da aceleração por GPU, e um ambiente corretamente configurado economizará um tempo considerável ao longo do livro. Se você não possui uma GPU local, o livro fornece orientações sobre o uso de plataformas de GPU baseadas em nuvem como o Google Colab.

Acompanhe com o Código: Este livro foi projetado para ser interativo. Não apenas leia o código. Digite-o, execute-o e observe os resultados. Modifique parâmetros, experimente diferentes datasets e faça experimentações. A compreensão vem através da prática, e os exemplos hands-on são o coração deste livro. Quando algo não funcionar como esperado, resista à tentação de pular adiante. A depuração é uma das experiências de aprendizado mais valiosas, e as habilidades de resolução de problemas que você desenvolver servirão ao longo de toda a sua carreira em GeoAI.

Trabalhe os Capítulos Sequencialmente: Embora profissionais experientes possam ir diretamente a tópicos específicos, os capítulos se constroem uns sobre os outros. Conceitos introduzidos em capítulos anteriores (configuração de ambiente, formatos de dados, técnicas de visualização) são usados ao longo do livro. Se você pular adiante, consulte os capítulos anteriores quando necessário.

Use Seus Próprios Dados: Embora o livro forneça datasets para cada exemplo, o verdadeiro aprendizado acontece quando você aplica essas técnicas a dados que lhe interessam. Tente executar os modelos de segmentação em imagens da sua área de estudo, ou treine um modelo de detecção de objetos em feições relevantes para sua pesquisa.

Aceite os Erros: Treinar modelos de deep learning envolve iteração. Os modelos nem sempre convergirão na primeira tentativa, as previsões nem sempre serão perfeitas, e as GPUs ocasionalmente ficarão sem memória. Essas são oportunidades de aprendizado. O livro aborda armadilhas comuns e estratégias de depuração, mas desenvolver o instinto para diagnosticar problemas vem com a experiência.

Construa um Projeto de Portfólio: Conforme você avança pelo livro, identifique um problema geoespacial que lhe interesse e aplique as técnicas que está aprendendo. Um projeto completo, desde a aquisição

de dados até o treinamento do modelo e a visualização, demonstra suas habilidades de forma muito mais eficaz do que qualquer certificação.

Mantenha-se Atualizado: GeoAI é um campo em rápida evolução. Novos modelos fundamentais, arquiteturas e ferramentas surgem regularmente. O repositório GitHub do livro é atualizado periodicamente com novo conteúdo e exemplos para continuar sua jornada de aprendizado.

Convenções Usadas Neste Livro

Este livro utiliza diversas convenções para ajudá-lo a navegar pelo conteúdo e entender os exemplos de código:

Formatação de Código: Todo código Python aparece em fonte monoespçada dentro de blocos de código. Quando o código aparece dentro do texto regular, ele é formatado `assim`. Nomes de arquivos e diretórios, nomes de pacotes e nomes de funções também são formatados em fonte monoespçada.

Exemplos de Código: A maioria dos exemplos de código é completa e executável. Eles incluem comentários explicando os conceitos-chave e técnicas sendo demonstradas. Aqui está um exemplo típico usando a biblioteca `leafmap`:

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Importações de Pacotes: No início de cada capítulo, todas as importações necessárias são listadas. Os pacotes-chave que você encontrará ao longo do livro incluem:

- `geoai` - fluxos de trabalho de GeoAI de alto nível (opengeoai.org)
- `leafmap` - visualização geoespacial interativa (leafmap.org)
- `samgeo` - SAM para dados geoespaciais (samgeo.github.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - deep learning com PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` - leitura e escrita de dados geoespaciais

Figuras e Mapas: Mapas interativos são renderizados diretamente em notebooks Jupyter. Na edição impressa, capturas estáticas são mostradas com legendas descrevendo as funcionalidades interativas disponíveis na versão online.

Baixando os Exemplos de Código

Todos os exemplos de código e materiais suplementares deste livro estão disponíveis gratuitamente no GitHub: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Todos os datasets de amostra estão disponíveis no Source Cooperative: <https://source.coop/opengeos/geoai>

Para baixar os materiais, você pode usar um dos seguintes métodos:

- **Clone o repositório** (recomendado se você tem o Git instalado):

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Baixe como ZIP** (se preferir não usar Git):
 - Visite a página do repositório no GitHub
 - Clique no botão verde **Code**
 - Selecione **Download ZIP**
 - Extraia os arquivos no local de sua preferência
- **Navegue por arquivos individuais** online através da interface do GitHub ou do site do livro em book.opengeoai.org

O repositório é atualizado regularmente com correções, melhorias e exemplos adicionais. Verifique periodicamente por atualizações, ou marque com **star** e **watch** o repositório no GitHub para ser notificado sobre mudanças.

Se você encontrar erros no código ou tiver sugestões de melhorias, por favor abra uma issue ou envie um pull request no GitHub. Contribuições da comunidade ajudam a tornar este recurso melhor para todos.

Tutoriais em Vídeo

Complementando o conteúdo escrito, este livro é apoiado por tutoriais em vídeo que explicam conceitos-chave e fornecem demonstrações adicionais:

<https://youtube.com/@giswqs>

Os vídeos são projetados para complementar, não substituir, o material escrito. Eles são particularmente úteis para:

- Aprender visuais que se beneficiam de ver código sendo escrito e executado em tempo real
- Compreender fluxos de trabalho complexos como treinamento e inferência de modelos através de passo a passo detalhado
- Ver como abordar problemas geoespaciais e depurar erros comuns
- Aprender dicas e melhores práticas para trabalhar com grandes datasets de satélite

Tutoriais em vídeo adicionais serão adicionados conforme o livro evolui. Inscreva-se no canal para ser notificado sobre novo conteúdo.

Comunidade e Feedback

Eu recebo com prazer feedback, perguntas e sugestões dos leitores. Sua contribuição ajuda a melhorar o livro e o torna mais útil para a comunidade GeoAI.

Para perguntas e discussões relacionadas ao livro:

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

Para perguntas específicas de pacotes:

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Tipos de feedback que são particularmente úteis:

- Erros ou explicações pouco claras no texto ou código
- Sugestões de exemplos, datasets ou casos de uso adicionais
- Relatos de problemas de compatibilidade com diferentes sistemas operacionais, configurações de GPU ou versões de bibliotecas
- Ideias para novos tópicos ou técnicas emergentes de GeoAI a serem abordadas
- Histórias de sucesso sobre como você aplicou as técnicas do livro ao seu próprio trabalho

Sobre o Autor

Dr. Qiusheng Wu é Professor Associado e Diretor de Estudos de Pós-Graduação no Departamento de Geografia e Sustentabilidade da Universidade de Tennessee, Knoxville. Ele também atua como Amazon Scholar. A pesquisa do Dr. Wu foca em avançar a análise geoespacial open-source através de computação em nuvem e GeoAI, com ênfase no aproveitamento de big data geoespacial e inteligência artificial para estudar mudanças ambientais, particularmente a dinâmica de inundação de águas superficiais e zonas úmidas.

Ele é o criador e mantenedor de vários pacotes Python open-source amplamente utilizados, incluindo [geemap](https://geemap.org)¹ para visualização interativa do Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² para mapeamento geoespacial versátil, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ para aplicação do Segment Anything Model a dados geoespaciais, e [geoai](https://opengeoai.org)⁴ para fluxos de trabalho de GeoAI de alto nível. Seus projetos open-source, disponíveis através da organização [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ no GitHub, foram amplamente adotados por pesquisadores, educadores e profissionais em todo o mundo.

O trabalho do Dr. Wu conecta sensoriamento remoto, observação da Terra e inteligência artificial para tornar dados geoespaciais de larga escala mais acessíveis, reproduzíveis e inteligentes. Ele é apaixonado por ciência aberta e acredita que as melhores ferramentas para compreender nosso planeta devem estar disponíveis gratuitamente para todos.

Licenciamento e Direitos Autorais

Este livro abraça os princípios de ciência aberta e educação aberta. Para apoiar transparência, aprendizado e reutilização, os **exemplos de código** neste livro são lançados sob uma licença [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Isso significa que você é livre para copiar, modificar e distribuir o código, inclusive para fins comerciais, desde que o crédito apropriado seja dado.

Por favor, atribua o uso do código citando o livro ou vinculando ao repositório GitHub:

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Embora o código esteja disponível gratuitamente, o **texto, figuras e imagens** neste livro são **protegidos por direitos autorais** © 2026 pelo autor e não podem ser reproduzidos, redistribuídos ou modificados sem permissão explícita. Isso inclui todo o conteúdo escrito, diagramas personalizados e visualizações incorporadas, salvo indicação em contrário.

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

Se você deseja reutilizar ou adaptar qualquer material que não seja código deste livro (por exemplo, para ensino, apresentações ou publicações), por favor entre em contato com o autor para solicitar permissão.

Esta abordagem de licenciamento duplo ajuda a equilibrar o acesso aberto a materiais de aprendizado com a proteção do trabalho criativo original. Obrigado por respeitar estes termos e apoiar a comunidade geoespacial open-source.

Um guia prático de IA geoespacial de código aberto

A inteligência artificial está transformando a forma como analisamos e compreendemos o nosso planeta. GeoAI com Python é o guia prático definitivo para aplicar técnicas de IA a dados geoespaciais, desde imagens de satélite e fotografias aéreas até conjuntos de dados vetoriais e arquivos de observação da Terra.

Cada capítulo inclui um notebook Jupyter complementar com conjuntos de dados reais, permitindo que você acompanhe e reproduza todos os resultados. Seja você um profissional de GIS explorando IA ou um cientista de dados trabalhando com dados espaciais pela primeira vez, este livro conecta esses dois mundos.

Qiusheng Wu é Professor Associado na University of Tennessee e Amazon Scholar. Ele é o criador de vários pacotes Python geoespaciais de código aberto amplamente utilizados, incluindo geemap, leafmap, segment-geospatial e geoai. Seus projetos estão disponíveis em <https://github.com/opengeos>.

O que você vai aprender

- **Baixar e preparar dados de sensoriamento remoto de NAIP, Sentinel-2 e catálogos STAC**
- **Treinar modelos de deep learning para segmentação, detecção de objetos e classificação de cobertura do solo**
- **Aplicar modelos fundamentais como SAM 3, Moondream e embeddings de satélite a problemas do mundo real**
- **Construir mapas interativos e visualizações para análise geoespacial**
- **Utilizar plugins do QGIS para segmentação, treinamento, inferência e modelos de visão-linguagem**



Escaneie o código QR para visitar o site do livro e baixar exemplos de código em <https://book.opengeoai.org>.

