

HarvestPilot — Plataforma de Gestão de Parcelas & Calendário Agrícola (Espinholosela, Bragança)

O que é: HarvestPilot é uma plataforma à medida para planear, executar e analisar a tua produção em **castanheiro** e **cerejeira** (fruto e madeira), com **mapa de parcelas**, **registos de campo offline**, **agenda global**, e um **calendário de plantação/colheita com janelas recomendadas** (meteorologia + regras + GDD/NDVI), **notificações**, e opção de **sensores** no futuro. É **multiutilizador**, **multilíngua**, **PWA** (site que funciona como app) e sem lock-in: dados em **PostgreSQL/PostGIS** e integrações abertas (IPMA/Sentinel). A **IA** é prática: responde a perguntas (“o que fazer hoje?”, “quais as 3 parcelas mais críticas?”), explica decisões e adapta o plano quando o tempo muda. Pensada para **Espinholosela** (altitude elevada, geadas tardias), mas escalável a outras zonas.

Notas

- Depois de implementar um módulo backend implementar na integra no frontend.
- Nunca poupar tokens ou fazer versões limitadas, sempre que necessário começar nova sessão.
- UX/UI elegante, bonito e clean.

1) Objetivos

- Mapa de todas as parcelas (WGS84 e PT-TM06), área, cultura, histórico.
- Registos de campo rápidos (sementeira/plantação, rega, adubação, tratamentos, colheita, inspeções) com foto e GPS, offline-first.
- Agenda unificada por parcela/cultura com notificações e replaneamento por meteo.
- Calendário de Plantação & Colheita com janelas “boas” (regras + previsão + GDD/NDVI).
- Relatórios operacionais e custos; opção sensores (LoRaWAN) mais tarde.
- IA para insights e consultas naturais, com explicabilidade.

2) Fases de desenvolvimento

Fase 1 — MVP Mapa & Registros

Entregáveis: MapLibre com desenho/importação GeoJSON/KML/Shapefile; estrutura Propriedade → Parcels → Cultura → Ciclo; registos com foto/GPS; PWA offline-first; RBAC básico; exportações CSV/PDF.

Critérios: criar/editar parcela <1 min; registar operação <30s no telemóvel; sincronização sem conflitos.

Fase 2 — Meteo & Agenda

Entregáveis: meteo por parcela; agenda global; notificações push (web/Android/iOS) e e-mail; janelas recomendadas (vento/chuva).

Critérios: filtros por cultura/operador/semana; alertas configuráveis.

Fase 3 — Satélite & Alertas

Entregáveis: NDVI/NDRE por parcela (histórico, heatmap); alertas de anomalia; relatório NDVI vs operações.

Critérios: série temporal por parcela; ≥1 alerta validado no terreno.

Fase 4 — Operações & Custos

Entregáveis: planeamento por fenologia; inventário de insumos; custos por parcela/cultura.

Critérios: custo/ha automático; alertas de stock/validade.

Fase 5 — IA aplicada

Entregáveis: assistente (“quedas NDVI 7 dias”, “janela de pulverização amanhã?”); deteção de outliers; recomendações explicáveis.

Critérios: top-3 alertas úteis; feedback do utilizador melhora o modelo.

Fase 6 — Sensores & Traçabilidade (opcional)

Entregáveis: estações meteo/sondas (LoRaWAN/TTN); regras automáticas (humidade/vento); caderno de campo completo e rastreabilidade por lote.

3) Arquitetura recomendada

- Frontend: Next.js (React) + MapLibre GL JS; PWA (cache de tiles/dados, upload de fotos, geolocalização).
- Mobile stores: PWA empacotada com Capacitor (APNs/FCM, câmara, ficheiros).
- Backend: NestJS (Node) ou FastAPI (Python) + fila (BullMQ/Celery) para satélite/relatórios.
- BD: PostgreSQL + PostGIS (geoespacial); TimescaleDB para telemetria (sensores).
- Meteo: IPMA (Portugal) por coordenada; fallback global se necessário.
- Satélite: Sentinel Hub (NDVI/estatísticas por AOI).
- Auth & RBAC: Keycloak/Clerk/Auth0; SSO opcional.
- Notificações: Web Push + FCM/APNs.
- Observabilidade: logs estruturados + métricas + tracing; dashboards (Grafana).
- Ficheiros: S3-compatible para fotos/drone/relatórios.

3A) Stack recomendada (tecnologias & serviços)

Frontend

- Next.js + React 18 + TypeScript
- UI: Tailwind CSS + shadcn/ui (Radix) + Framer Motion
- Mapas: MapLibre GL JS + proj4 (EPSG:3763) + Turf.js
- Gestão de dados: TanStack Query (server state) + Zustand (UI state)
- Formulários/validação: React Hook Form + Zod
- i18n: next-intl
- PWA: Workbox (offline, background sync); armazenamento local com localForage
- Gráficos (dashboards): Recharts
- Upload: Uppy; datas: date-fns
- Testes: Playwright (E2E) + Vitest + Testing Library

Mobile

- Capacitor para empacotar a PWA (iOS/Android)
- Push notifications nativas via FCM/APNs
- Acesso a câmara/ficheiros e partilha

Backend

- NestJS (Node 20, TypeScript) em modular monolith (Parcela, Calendário, Tarefas, Satélite, Meteo, IoT)
- ORM: Prisma
- API: REST + WebSockets/SSE para eventos; OpenAPI documentado
- Jobs/filas: BullMQ + Redis 7 (processamento de NDVI, relatórios, notificações)
- Cache: Redis + HTTP caching com ETags
- Autenticação: Keycloak (OIDC) com RBAC por papéis
- Armazenamento: S3 (MinIO em dev; Wasabi/S3 na UE em prod) com URLs assinados
- Email: Postmark (alternativa SendGrid)
- Meteo: IPMA; fallback OpenMeteo
- Satélite: Sentinel Hub Processing API
- IoT: The Things Stack/TTN via MQTT; decoders por dispositivo
- Pesquisa: Postgres FTS (fase 1); opcional OpenSearch (fase 2)

Base de dados & geoespacial

- PostgreSQL 16 + PostGIS 3.4 (parcelas, operações, métricas geoespaciais)
- TimescaleDB (séries temporais de sensores)
- pgvector para embeddings (IA/RAG)

AI layer

- OpenAI API para assistente e geração de insights
- RAG com embeddings em pgvector; KB por parcela/cultura
- Guardrails: limites de escopo, logging e feedback do utilizador

DevOps & Segurança

- Contêineres: Docker Compose (dev) → Kubernetes leve (k3s/managed) quando escalar
- CI/CD: GitHub Actions (lint, testes, build, migrações Prisma)
- Observabilidade: OpenTelemetry + Prometheus + Grafana; logs com Loki; erros com Sentry
- Infra: Hetzner/OVH/Cloud (região UE); CDN/DNS com Cloudflare; TLS auto (Let's Encrypt)
- Backups: WALG para PostgreSQL + snapshots S3
- Segredos: Doppler/1Password; dependabot/renovate para updates
- IaC: Terraform

Entrega & performance

- TTFB < 500 ms; primeira vista < 2 s com skeletons
- Cache de tiles e dados em Service Worker; pré-carregamento por parcela
- CDN para assets e imagens; compressão Brotli

4) Modelo de dados (núcleo)

Organização → Propriedade → Parcela (polígono, área, solo) → Cultura (espécie/variedade) → Ciclo (época)

Operação (tipo, data, operador, insumos, dose, custo, anexos, GPS)

Agenda/Tarefa (janela meteo, prioridade, estado, dependências)

Imagen Remota (fonte, data, nuvens, índices por parcela)

Meteo (previsão/observado por coordenada)

Sensor → Leitura (timestamp, valor)

Inventário (produto, lote, validade, stock, custo)

Utilizadores (papéis e permissões)

5) UX por dispositivo

- Desktop/Tablet: mapa + camadas (parcelas, NDVI, vento/chuva), planeamento, relatórios.
- Smartphone: registo ultra-rápidos, checklists, fotos, offline garantido, notificações.
- Filtros: cultura, variedade, propriedade, finalidade (fruto/madeira), estado.

6) IA — uso objetivo

- Consultas naturais: “o que registrar hoje?”, “3 parcelas mais críticas?”.
- Insights explicáveis: combina NDVI + meteo + histórico de operações.
- Priorização automática da agenda por impacto/urgência.

7) Segurança & conformidade

- RBAC por papel; auditoria; encriptação em trânsito e repouso; backups diários.
- Privacidade: localização visível só a perfis autorizados; retenção configurável.

8) Riscos & mitigação

- Nuvens (NDVI): janelas móveis/estatísticas multi-data; fallback meteo/radar.
- Offline prolongado: fila local + merges; última escrita com resolução por registo.
- Precisão de polígonos: validação no terreno; edição fácil no telemóvel.
- Quotas de APIs: cache por parcela/data.

9) Backlog priorizado (top-20)

- Criar/editar parcelas no mapa
- Importar GeoJSON/KML
- Registo de operação com foto/GPS offline
- Exportar CSV dos registos

- Agenda por parcela + filtros
- Push de tarefas
- Meteo por parcela
- Janelas recomendadas (vento/chuva)
- Indicadores por parcela (nº operações, último tratamento)
- NDVI por parcela (gráfico + heatmap)
- Alertas de anomalia de vigor
- Relatório NDVI vs operações
- Inventário de insumos + consumo
- Custos por ciclo/parcela
- Assistente (Q&A; operativo)
- Permissões finas
- Exportações PDF (caderno de campo)
- Integração sensores (estação meteo)
- Regras automatizadas (humidade/vento)
- Traçabilidade por lote/colheita

10) Checklist de arranque

- Localização das propriedades; ficheiros de parcelas (se existirem) ou desenhar no mapa.
- Culturas ativas e tarefas-tipo por cultura.
- Perfis de utilizador (gestor/planeador/operador).
- Preferências de alertas (vento máx., chuva mínima, janelas de trabalho).

11) Módulo Calendário de Plantação & Colheita

Objetivo

Planejar quando plantar e quando colher por parcela × cultura × variedade, com agenda global, janelas recomendadas e replaneamento automático.

Abordagem (3 camadas)

- Regras por cultura/região (plantio/colheita, Tbase, vento/chuva máximos, DAP ou GDD, PHI).
- Meteo & Progresso real (previsão por parcela; GDD; opcional NDVI para ajustar janelas).
- Execução & Replaneamento (dependências, PHI, reprogramação automática quando o score cai).

UX

- Ano/Safra (heatmap), Semana (Kanban/Agenda), Mapa com estado por parcela; Mobile “O que fazer hoje” (offline).
- Exportações CSV/PDF e .ics (Apple/Google/Outlook).

Dados

CalendarioRegra, Safra, Janela (score 0–100), MeteoParcela, Tarefa, Recurso, Observação.

Lógica de recomendação

- Score = regra base ± chuva/vento/temperatura/probabilidade de chuva + GDD/DAP + restrições (PHI, equipamento).
- Projeção de colheita: por DAP ou GDD; atualização diária.
- Escalonamento de grandes áreas; resolução de conflitos por recurso.

Funcionalidades

- Catálogo de culturas/variedades com presets; agenda global; dependências (PHI); notificações (7/3/1 dias, “janela ótima amanhã”).
- Checklists e registo em 1 toque com foto/GPS; relatórios (cumprimento, atrasos, produtividade).

Roadmap do módulo

- Fase A: regras + calendários + meteo + push + .ics.
- Fase B: GDD + replaneamento + recursos/conflitos + dashboards.
- Fase C: NDVI/observações + assistente + explicabilidade.

Critérios de aceitação

- Criar regra e associar a 5 parcelas em <5 min.
- Ver janelas da próxima semana com score + meteo em 1 clique.
- Arrastar operação mantendo dependências.
- Receber push “janela ótima amanhã” e concluir offline.
- Exportar .ics e ver no calendário externo em <1 min.

12) Presets — Castanheiro & Cerejeira (fruto e madeira)

Castanheiro — fruto (souto)

- Plantação: novembro–fevereiro (repouso vegetativo).
- Fenologia/colheita: floração jun– jul; ouriços abrem e caem em out–início de nov; apanha frequente.
- Regra de colheita: abrir quando >50% ouriços abertos + 2–3 dias sem chuva forte.

Castanheiro — madeira

- Plantação: nov–fev.
- Silvicultura: podas de formação (anos 2–5, dez–fev); desbastes por fecho de copas/queda de crescimento (preferir dormência).

Cerejeira — fruto

- Plantação: dormência (inverno); ajustar a risco de geada.
- Colheita: maio–julho (varia por cultivar/região). Penalizar chuva perto da maturação (rachamento).
- Qualidade (exemplos): diâmetro ≥ 24 mm, Brix ≥ 12 , Durofel ≥ 60 (campos opcionais para “fechar” tarefa).

Cerejeira/Castanheiro — madeira

- Formação precoce e desbastes seletivos; gerir como folhosas de alto-fuste.

Sanidade (para alertas)

- Vespa das galhas (castanheiro): monitorização + janelas para eventual largada de *Torymus sinensis* conforme plano oficial.
- Cancro do castanheiro: podas sanitárias em dormência; higiene do material.
- Doença da tinta: evitar encharcamento; drenagem; cautelas em replantação.

13) Ajustes locais — Espinhosela (Bragança)

- Altitude elevada (~900 m) → floração/colheita mais tardias.
- Geadas possíveis até abril/início de maio → adiar operações sensíveis (floração/vingamento de cereja).
- Preset local: Plantação (todas) nov–fev; Colheita castanha meados de out → inícios/miados de nov; Colheita cereja junho → início de julho; Podas/desbastes dez–fev.
- Meteo ligada à estação de Bragança (IPMA) para previsões/observado e replaneamento automático.

14) Sugestões de Plantação & Densidade (alternativas para a zona)

- Nogueira (*Juglans regia*) – preferir cultivares tardios (Fernor, Franquette); compasso 8x8 m ≈ 156/ha (10x10 m ≈ 100/ha).
- Avelã (*Corylus avellana*) – compasso 6x6 m ≈ ~278/ha; intensivo 4.5x3.0 m ≈ ~740/ha.
- Cerejeira (*Prunus avium*) – densidades (Edabriz): ~2600 / 1300 / 860 / 650 plantas/ha.
- Macieira (*Malus domestica*) – alta densidade ~2850 plantas/ha (3.5x1.0 m).
- Castanheiro (*Castanea sativa*) – 10x10 m = 100/ha; 8x8 m = 156/ha.

15) Mini-simulador — nº de árvores por área

- Quadrada: árvores/ha = 10 000 / (entrelinha x na linha).
- Triangular/quincônico: +10–15% face à quadrada.
- Margens/cabeceiras: reservar 5–15% da área.
- Ex.: Castanheiro 10x10 m → 100 árvores/ha; 8x8 m → 156/ha; Nogueira 8x8 m → 156/ha; Avelã 6x6 m → ~278/ha; Cerejeira 5x2.1 m → ~860/ha; Macieira 3.5x1.0 m → ~2857/ha.

16) Próximos passos

- Criar a Zona Espinhosela (ligar meteo) e carregar presets por cultura/finalidade.
- Desenhar/importar parcelas e ativar agenda + janelas (plantar/colher/podar/desbastar).
- Definir notificações e replaneamento automático; opcional: Brix/diâmetro (cereja) e botão “>50% ouriços abertos” (castanha).
- (Opcional) Ligar NDVI e, mais tarde, sensores.

17) Dashboards (Operacionais & Estratégicos)

17.1 Princípios

- Ação primeiro: cada gráfico tem um botão de ação (criar tarefa, replanear, abrir chat IA).

- Um olhar = uma decisão: 4–6 KPIs no topo, depois painéis por tema; cross-filter em toda a página.
- Perfis & contexto: vistas rápidas para Gestor, Planeador e Operador; mapa sempre acessível.
- UX/UI elegante, bonito e clean: grelha responsiva, tipografia clara, cores de estado discretas, modo escuro.

17.2 Filtros globais

Período | Propriedade | Parcela | Cultura/Variedade | Finalidade (fruto/madeira) | Estado (planeado/atrasado/feito) | Equipa/Operador | Risco (meteo/sanidade) | Fonte (NDVI, Meteo, IoT).

17.3 KPIs de topo (cards)

- Tarefas concluídas (% e nº) · 7/30 dias
- Janelas ótimas aproveitadas (%)
- ha prontos para plantar/colher (próximos 7 dias)
- Queda/alta de NDVI 7d (nº parcelas)
- Risco chuva colheitas 48h (parc.)
- Cumprimento PHI (colheitas seguras / totais)
- Produtividade (kg/ha por cultura — último ciclo)
- Custo/ha (média e variação vs ciclo anterior)
- Stock crítico de insumos (itens)
- Alertas ativos (meteo/sanidade/IoT)

17.4 Painéis temáticos

- Operações Diárias: agenda/kanban “Hoje + 7 dias”, capacidade, mapa de tarefas.
- Calendário de Safra: heatmap Cultura × Semana, Gantt planeado vs realizado.
- Vigor & Meteorologia: séries NDVI, scatter NDVI × precipitação, mapa por vigor.
- Colheita — Cerejeira: funil de maturação (Brix/diâmetro), risco de rachamento, micro-janelas por hora.
- Colheita — Castanha: % ouriços abertos, ritmo de queda/dia, mapa “chão limpo vs por apanhar”.
- Silvicultura — Madeira: densidade real vs alvo, histograma de diâmetro, calendário de podas/desbastes.
- Custos & Inventário: custo/ha, custo por operação, stock/validade, consumo previsto vs real.
- Sanidade & Compliance: incidência por praga/doença, mapa de ocorrências, cronograma de ações.
- Equipas & Produtividade: horas por operação, SLAs, tempo médio para concluir, deslocações.
- IoT & Rega (opcional): humidade do solo, ETo, tendências, alertas.

17.5 Interações com IA

- Perguntas rápidas e explicabilidade por KPI.
- Simulações de impacto ao replanear janelas/colheitas.

17.6 Implementação técnica

- Dados: PostgreSQL/PostGIS; materialized views; Timescale (IoT) com continuous aggregates.

- Jobs: atualização de métricas (5–15 min) e diários; cache por parcela/semana.
- Front-end: gráficos reativos, cross-filter global, drill-down Parcela → Cultura → Tarefa → Registo.
- Desempenho: TTFB < 500 ms; primeiras vistas < 2 s; skeletons e carregamento progressivo.
- Exportação & partilha: PDF/CSV e snapshots com link partilhável (RBAC).

17.7 Critérios de aceitação

- Todos os cards clicáveis com drill-down funcional.
- Cross-filters sincronizados entre gráficos, mapa e listas.
- Replaneamento direto a partir dos painéis.
- KPIs reconciliados (diferença <1%).
- Exportações fiéis ao ecrã.

17.8 Roadmap dos dashboards

- Operações Diárias + KPIs topo + Filtros globais
- Calendário de Safra (heatmap + Gantt)
- Vigor & Meteorologia
- Colheitas (cereja/castanha)
- Custos & Inventário
- Sanidade & Silvicultura
- IoT & Rega (se ativo)