

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

GNSS

Conceitos, observáveis, referenciais,
métodos e aplicações

Prof. Dr. Samuel de Assis Silva

DERU/CCAE · LabMAP

Segundo Semestre · 2026



Do sinal à decisão espacial

O percurso completo: do ecossistema GNSS à escolha responsável do método de posicionamento em campo.



01 · Sistemas

constelações, segmentos e
arquitetura orbital



02 · Observáveis

código, fase, equação de
observação e geometria



03 · Referenciais

datum, época, projeções e
alturas



04 · Métodos

autônomo, DGPS, RTK, PPP e
infraestrutura



05 · Campo

erros, ambiente, decisão e
aplicações

PERGUNTA-GUIA Como transformar sinais imperfeitos, medidos em um ambiente real, em uma decisão espacial confiável e rastreável?

01

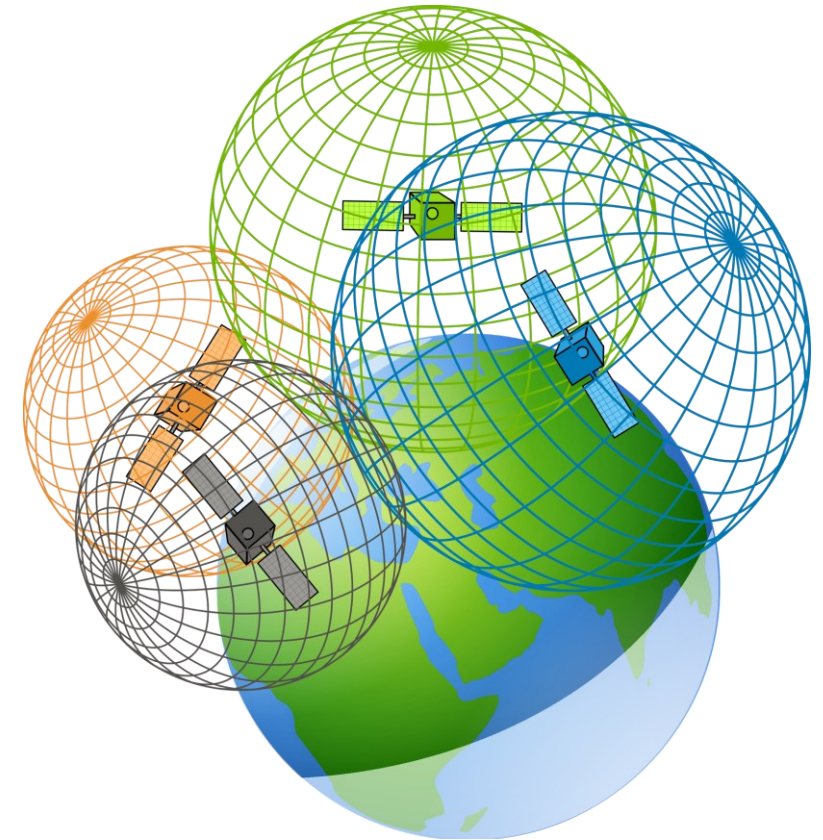
Sistemas

constelações · segmentos · arquitetura orbital · controle

GNSS não é sinônimo de GPS

- GNSS (Global Navigation Satellite Systems) designa a família de sistemas de navegação por satélite que fornecem posicionamento, navegação e tempo (PNT) em escala global.
- GPS é um dos sistemas — de propriedade dos EUA e operado pela U.S. Space Force — e foi o primeiro a atingir capacidade operacional plena (1995).
- A solução moderna é multiconstelação: o receptor combina sinais de GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou para ampliar disponibilidade, redundância e qualidade geométrica.
- QZSS (Japão) e NavIC (Índia) complementam a cobertura regionalmente.

MENSAGEM-CHAVE GPS é uma constelação; GNSS é o ecossistema. Projetar o levantamento para o ecossistema, não para um único sistema.



Constelações GNSS sobre a Terra — cada sistema mantém sua própria geometria orbital.

GNSS não é sinônimo de GPS

Global Navigation Satellite Systems



GPS

Estados Unidos – Departamento de Defesa (DoD)

GLONASS

Rússia – Sistema russo de navegação global

Galileo

União Europeia – Sistema civil independente

BeiDou-2

China – Constelação de cobertura global

Quatro constelações globais, um ecossistema

Panorama operacional aproximado em 2026 — números variam com lançamentos, manutenção e satélites de reserva.

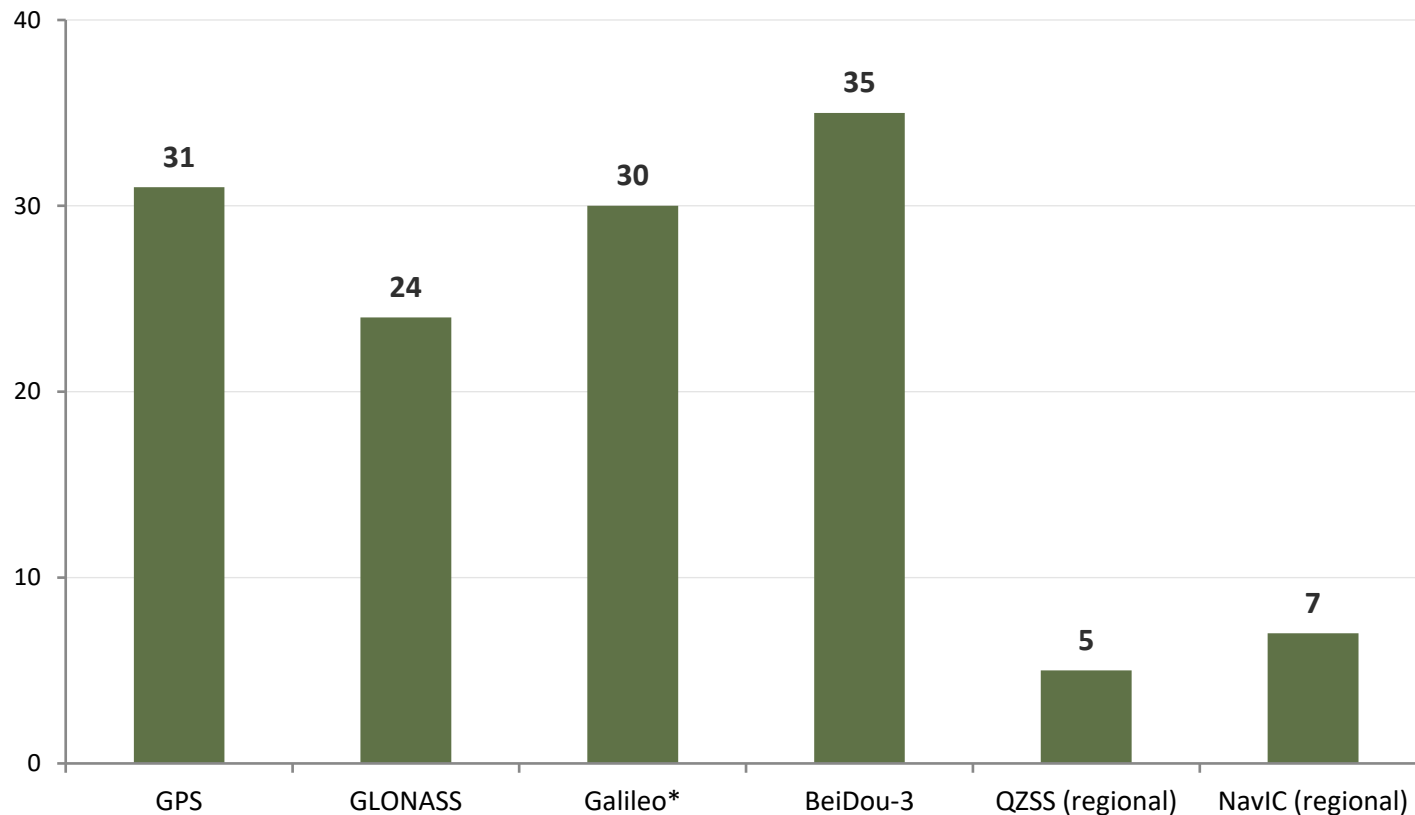
Sistema	Operador	Capacidade plena	Altitude orbital	Satélites ativos*	Principais sinais civis
GPS	Estados Unidos	1995	20.200 km (MEO)	≈ 31	L1 C/A · L1C · L2C · L5
GLONASS	Rússia	1995 / 2011	19.100 km (MEO)	≈ 24	L1OF · L2OF · L3OC (CDMA)
Galileo	União Europeia	2016 (serviços iniciais)	23.222 km (MEO)	≈ 24 + reserva	E1 · E5a/E5b · E6 (HAS)
BeiDou-3	China	2020	MEO + IGSO + GEO	≈ 35	B1I · B1C · B2a · B3I

IMPLICAÇÃO PRÁTICA Receptores multi-GNSS observam mais satélites simultâneos: melhor geometria, maior disponibilidade em ambientes obstruídos e mais observações para o ajuste.

* Números aproximados (2026). Fontes: *gps.gov*; *EUSPA/GSC*; *IAC-Roscosmos*; *CSNO*; compilações técnicas de 2026.

Aproximadamente 130 satélites GNSS ativos em órbita

A redundância do ecossistema é a base da robustez do posicionamento moderno.



* Constelação Galileo incluindo satélites de reserva em órbita. Valores aproximados; fontes: [gps.gov](https://www.gps.gov), EUSPA, IAC, CSNO (2026).



Diversidade de sinais

Frequências e modulações distintas reduzem vulnerabilidade comum a interferência e cintilação.



Geometria ampliada

Mais satélites visíveis acima da máscara de elevação melhoram o DOP em cânions urbanos e sob dossel florestal.



Redundância

Falha ou degradação de um sistema não interrompe a solução multi-GNSS.

A arquitetura combina três segmentos



Segmento Espacial

Constelação de satélites que transmite sinais codificados, tempo de relógios atômicos e a mensagem de navegação (efemérides, almanaque, saúde).



Segmento de Controle

Rede global de estações que monitora órbitas e relógios, estima efemérides, verifica integridade e envia atualizações aos satélites.



Segmento do Usuário

Receptores que convertem observações de código, fase e Doppler em estimativas de posição, velocidade e tempo (solução PVT).

PONTO CONCEITUAL O receptor não “lê coordenadas”: ele resolve um sistema de observações. A coordenada é o resultado de um ajuste, com incerteza associada.

A arquitetura orbital garante visibilidade contínua

GPS: órbitas MEO com período de ~ 12 h, em seis planos igualmente espaçados (inclinação de 55°).

24

slots nominais na constelação-base

6

planos orbitais igualmente
espaçados

20.200

km de altitude (MEO), duas voltas
por dia

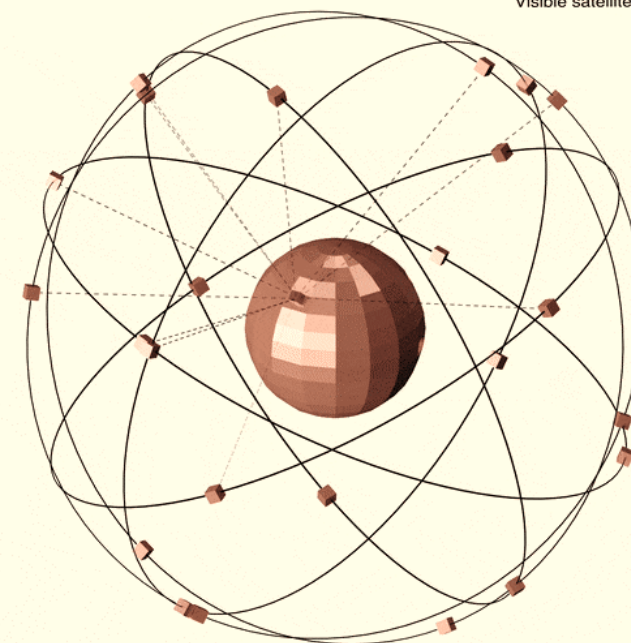


CUIDADO COM O NÚMERO “24”

24 descreve a arquitetura nominal de projeto. A operação real mantém ≈ 31 satélites GPS ativos para preservar disponibilidade e geometria mesmo durante manutenções.

Relógios atômicos embarcados (Cs/Rb): estabilidade da ordem de 1 s em $\sim 1,4$ milhão de anos — a base da medição de tempo do sistema.

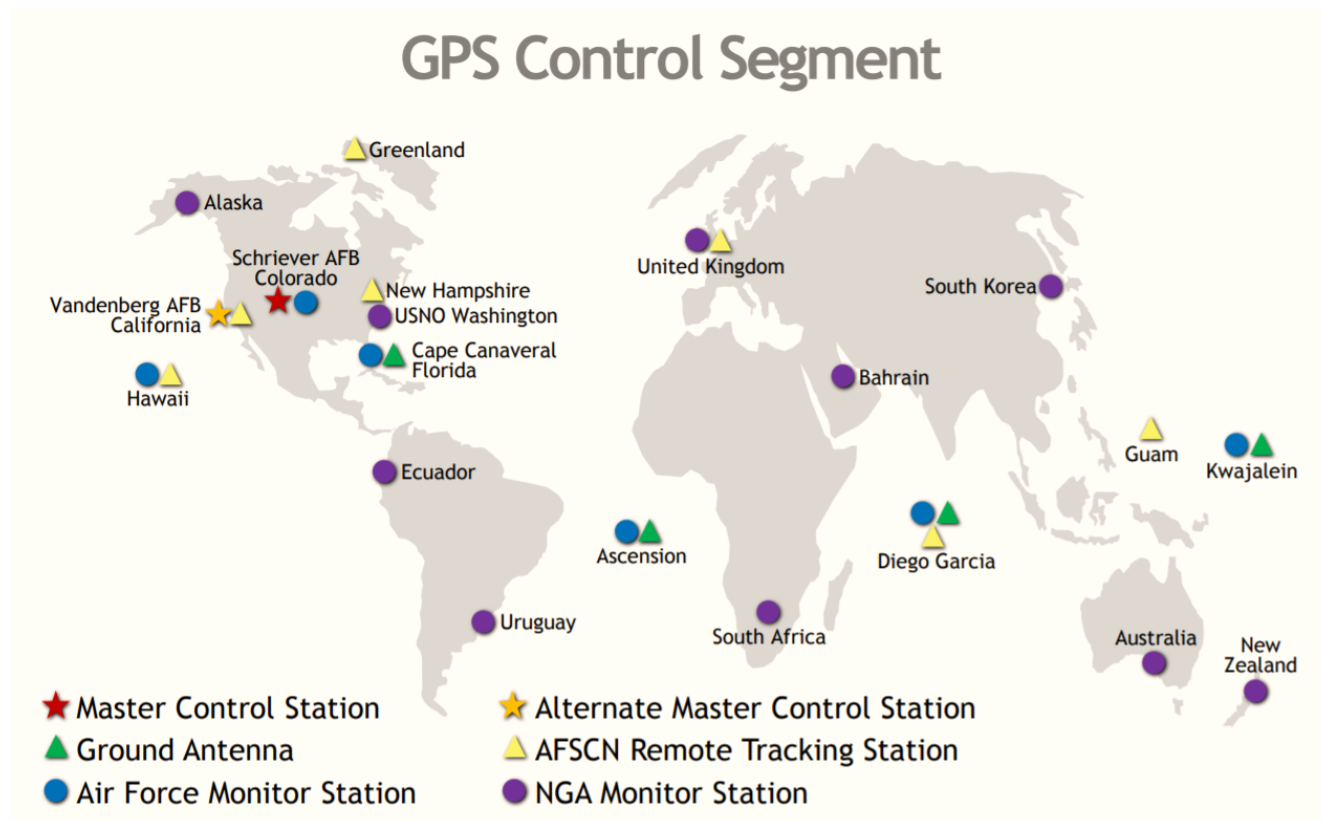
Fonte: gps.gov, Space Segment.



Traçado da constelação: qualquer ponto da superfície vê ao menos 4 satélites, 24 h por dia.

O segmento de controle mantém o sistema coerente

Estação mestre em Colorado Springs; estações de monitoramento e antenas distribuídas globalmente, próximas ao Equador.



Fonte: gps.gov, Control Segment.



Corrigir relógios atômicos e efemérides dos satélites



Estimar parâmetros orbitais e modelos ionosféricos



Garantir integridade, saúde e disponibilidade do sinal



Coordenar manobras e transmitir atualizações de navegação

SEM CONTROLE o sinal continua existindo — mas a solução perde referência, integridade e confiança.

02

Observáveis

código · fase · Doppler · equação de observação · geometria

Do sinal à posição: a cadeia de processamento

O receptor transforma ondas de rádio em observações, e observações em uma solução de posicionamento.



LEITURA CRÍTICA Cada elo da cadeia adiciona informação — e incerteza. A qualidade final depende do elo mais fraco, não do receptor mais caro.

O receptor resolve quatro incógnitas básicas

Três coordenadas descrevem o ponto; a quarta variável absorve o erro do relógio do receptor.



x, y, z

coordenadas tridimensionais no referencial geocêntrico (representáveis como ϕ, λ, h)



$\rho_1, \rho_2, \rho_3 \dots$

distâncias aparentes (pseudodistâncias) observadas a cada satélite rastreado



δt_r

erro do relógio do receptor — estimado junto com a posição, a cada época



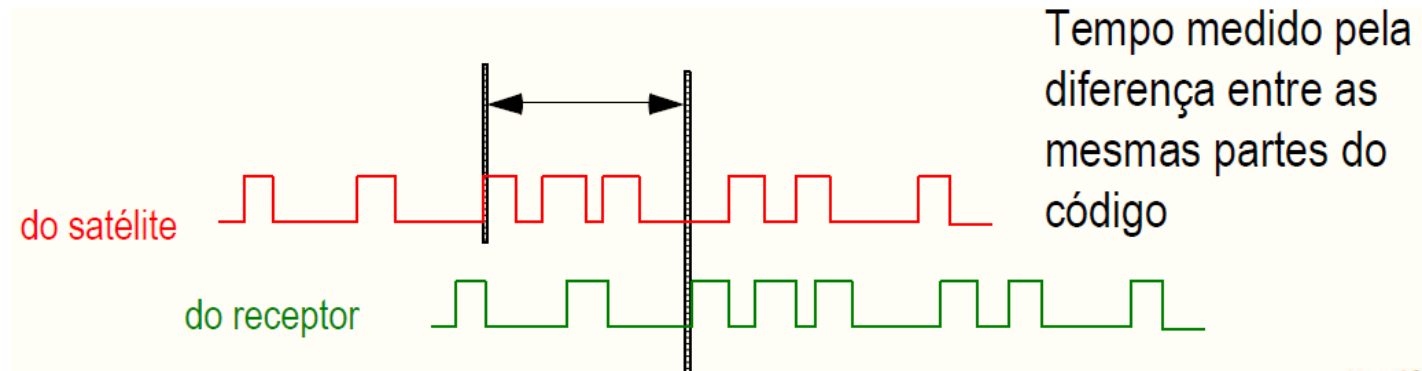
4 equações

quatro satélites fornecem o sistema mínimo para x, y, z e δt_r

ALÉM DO MÍNIMO Satélites adicionais tornam o sistema sobredeterminado: o ajuste por mínimos quadrados ganha redundância, controle de qualidade e estimativa de precisão.

Pseudodistância: tempo vira distância aparente

O receptor gera uma réplica do código do satélite e mede o deslocamento temporal necessário para o alinhamento.



Correlação código do satélite × réplica do receptor: o atraso Δt é a medida fundamental.

$$P = c \cdot \Delta t$$

$c \approx 299.792.458 \text{ m/s}$ (velocidade da luz no vácuo)

ORDEM DE GRANDEZA

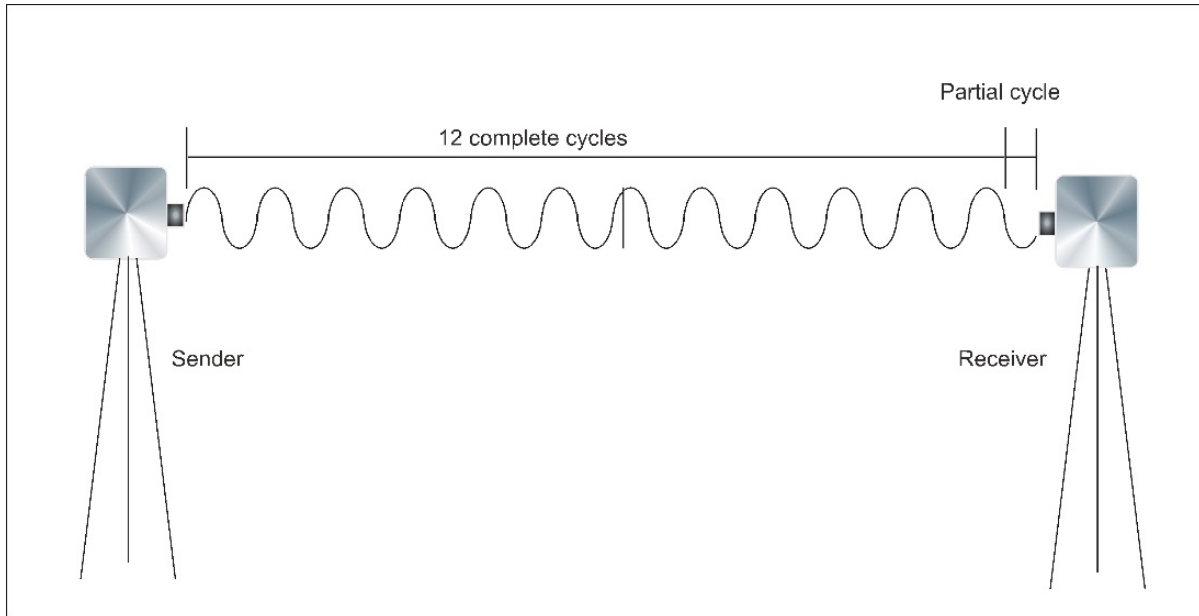
1 ns de erro de tempo $\approx$ 30 cm de erro de distância. O sistema exige sincronização em nível de nanossegundos.

POR QUE “PSEUDO”? P não é a distância geométrica pura: relógios, ionosfera, troposfera, atrasos instrumentais, multicaminhamento e ruído afastam P de ρ .

Fonte: ESA Navipedia, GNSS Basic Observables.

A portadora é mais precisa — e ambígua

λ da portadora (~19–24 cm) é ordens de grandeza menor que o comprimento do chip do código (~300 m no C/A).



Ciclos completos entre satélite e antena: a fração é medida com precisão milimétrica; o inteiro N é desconhecido.

$$\Phi = \rho + c(\delta t_r - \delta t^s) + T - I + \lambda N + \varepsilon$$

- N é a ambiguidade inteira da fase: o número de ciclos completos entre satélite e antena no início do rastreamento.
- Resolver (fixar) N converte a fase em uma “régua” centimétrica — é o coração do RTK e do PPP-AR.
- Perda de sintonia (cycle slip) reinicializa a ambiguidade e degrada a solução até nova fixação.

EVENTO CRÍTICO Sob dossel, viadutos e obstruções, monitore continuidade de rastreamento: a precisão da fase só existe enquanto N permanecer resolvido.

Fonte: ESA Navipedia, GNSS Basic Observables / Combining pairs of signals.

A equação de observação explica os erros

A pseudodistância observada reúne a geometria desejada e tudo o que o sinal acumula no caminho.

$$P = \rho + c(\delta t_r - \delta t^s) + T + I + b_r - b^s + M + \varepsilon$$

Geometria



ρ = distância geométrica satélite–antena: a grandeza que se deseja estimar.

Relógios e vieses



δt = erros de relógio (receptor e satélite); b = atrasos instrumentais de hardware.

Propagação



T = atraso troposférico; I = atraso/avanço ionosférico (dispersivo, depende da frequência).

Ambiente e ruído



M = multicaminhamento (reflexões locais); ε = ruído de medição e interferências.

SÍNTESE O modelo é o elo entre a medição bruta e a coordenada estimada: cada método de posicionamento é uma estratégia diferente para tratar estes termos.

Sinais modernos ampliam robustez e modelagem

As portadoras derivam da frequência fundamental $f_0 = 10,23$ MHz. Mais frequências = melhor separação dos efeitos de propagação.

Banda GPS	Derivação	Frequência	λ aprox.	Papel técnico
L1	$154 \times f_0$	1575,42 MHz	19 cm	Serviço civil tradicional (C/A) e modernizado (L1C)
L2	$120 \times f_0$	1227,60 MHz	24 cm	Dupla frequência: eliminação de 1ª ordem da ionosfera
L5	$115 \times f_0$	1176,45 MHz	25 cm	Sinal civil modernizado, maior potência e aplicações críticas

COMBINAÇÃO IONOSFERE-FREE

Como o atraso ionosférico é dispersivo ($\propto 1/f^2$), a combinação linear de duas frequências remove ~99% do efeito.

INTEROPERABILIDADE

L1/E1 (1575,42 MHz) e L5/E5a (1176,45 MHz) são compartilhadas entre GPS e Galileo — base dos receptores dual-frequency de massa.

Fontes: *gps.gov* (especificações de sinais GPS); *EUSPA/GSC* (plano de frequências Galileo).

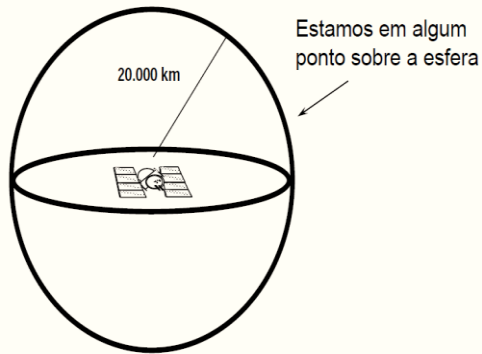
Trilateração: cada satélite restringe a posição

Sequência conceitual — na prática, o ajuste combina todas as observações e seus erros simultaneamente.

Com 1 satélite:

4 incógnitas:

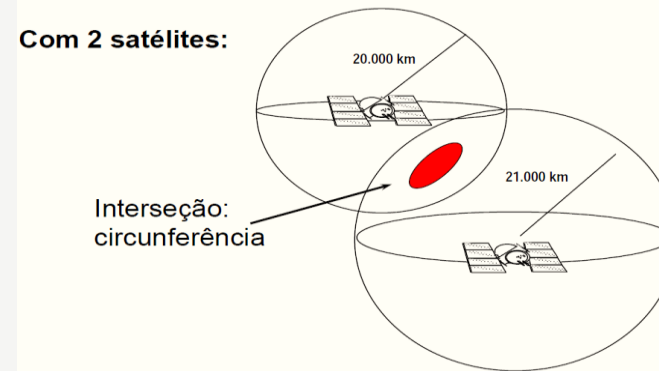
Latitude
Longitude
Altitude
Hora



1 · 1 satélite

estamos em algum ponto sobre uma esfera de raio P

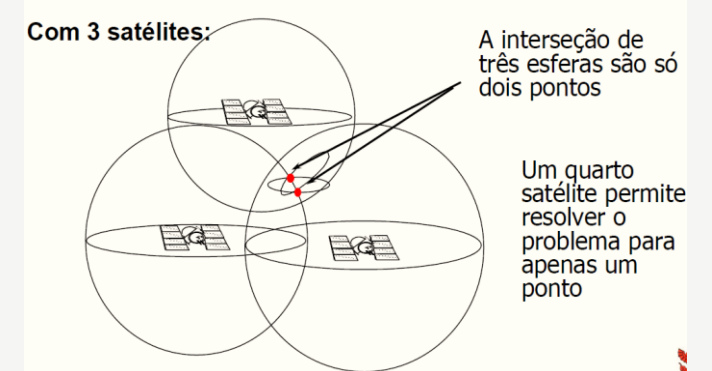
Com 2 satélites:



2 · 2 satélites

a interseção das esferas define uma circunferência

Com 3 satélites:



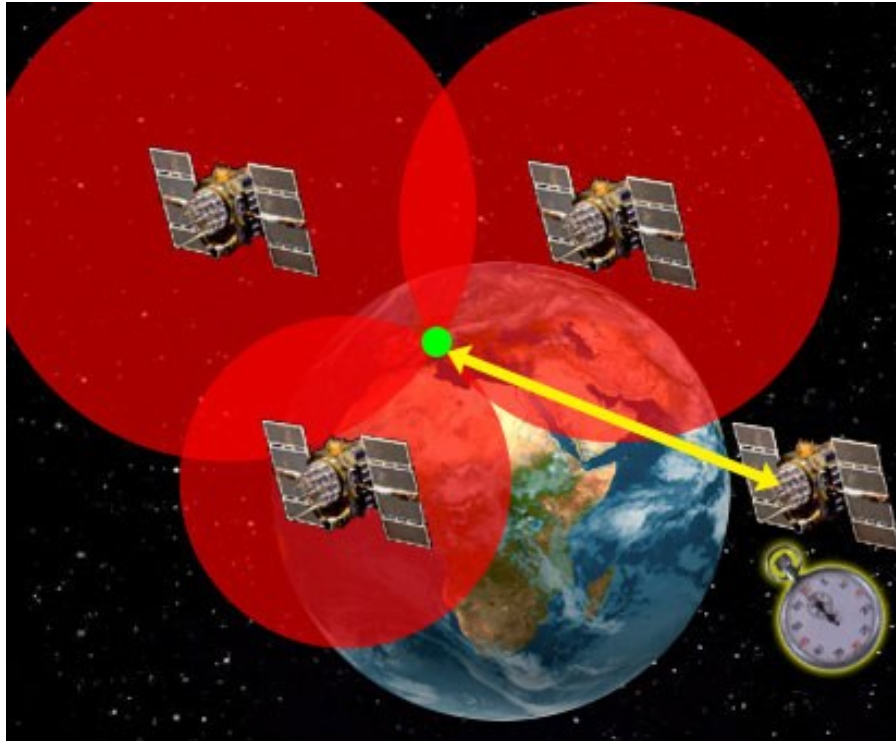
3 · 3 + 1 satélites

três esferas → dois pontos; o 4º satélite resolve posição e relógio

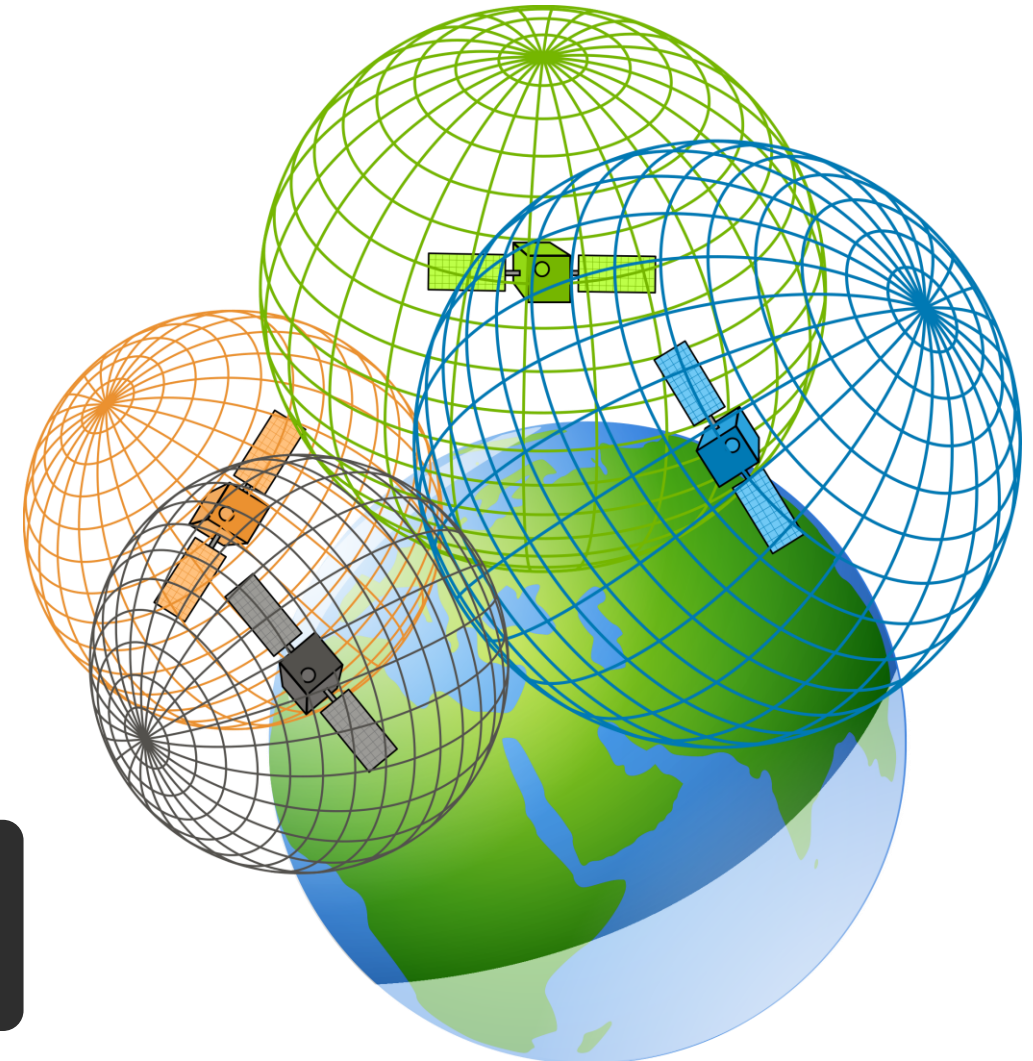
DEFINIÇÃO OPERACIONAL Trilaterar é ajustar muitas observações imperfeitas a uma única posição — a geometria e a qualidade das observações definem a confiabilidade.

Trilateração: cada satélite restringe a posição

Sequência conceitual — na prática, o ajuste combina todas as observações e seus erros simultaneamente.

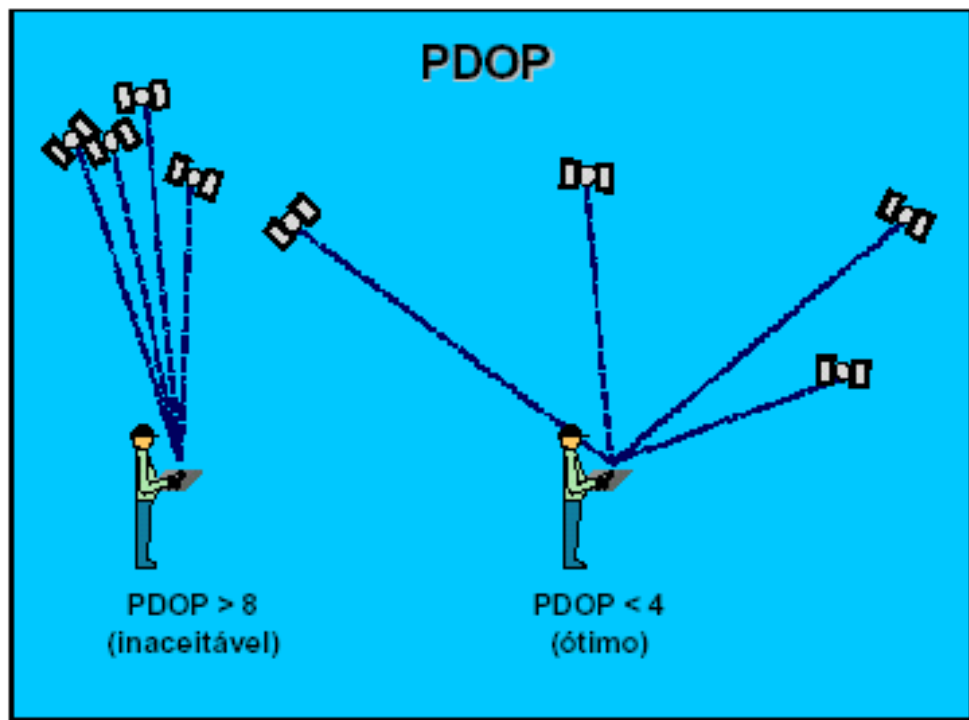


DEFINIÇÃO OPERACIONAL Trilaterar é ajustar muitas observações imperfeitas a uma única posição — a geometria e a qualidade das observações definem a confiabilidade.



Geometria importa: DOP quantifica o efeito

A Diluição da Precisão traduz a distribuição espacial dos satélites em um fator multiplicador da incerteza.



Fonte: GODOY, 2000

Satélites agrupados (esq.) vs. bem distribuídos (dir.). Fonte: Godoy (2000).

HDOP horizontal · VDOP vertical · PDOP posição 3D (combinação)

PDOP < 4

Ótimo — recomendado para levantamentos

$4 \leq \text{PDOP} < 6$

Aceitável para a maioria das aplicações

$6 \leq \text{PDOP} < 8$

Compromete o resultado — usar com cautela

PDOP ≥ 8

Inaceitável para posicionamento técnico

EM CAMPO Analise satélites visíveis + elevação + azimute + obstruções.
Planeje a janela de observação — o DOP varia ao longo do dia.

03

Referenciais

datum · época · elipsoide · geoide · projeções · alturas

Posição é uma relação com um referencial

A mesma localização admite representações diferentes — desde que o sistema de referência seja explicitado.

Representação	Componentes	Natureza	Melhor leitura
Geodésica	ϕ, λ, h	angular (esférica/elipsoidal)	Localização sobre o elipsoide; padrão de intercâmbio global
Cartesiana ECEF	X, Y, Z	linear, origem no geocentro	Modelagem espacial e vetores satélite–receptor
Projetada (UTM)	E, N, zona	plana, em metros	Distâncias, áreas e desenho em escala local



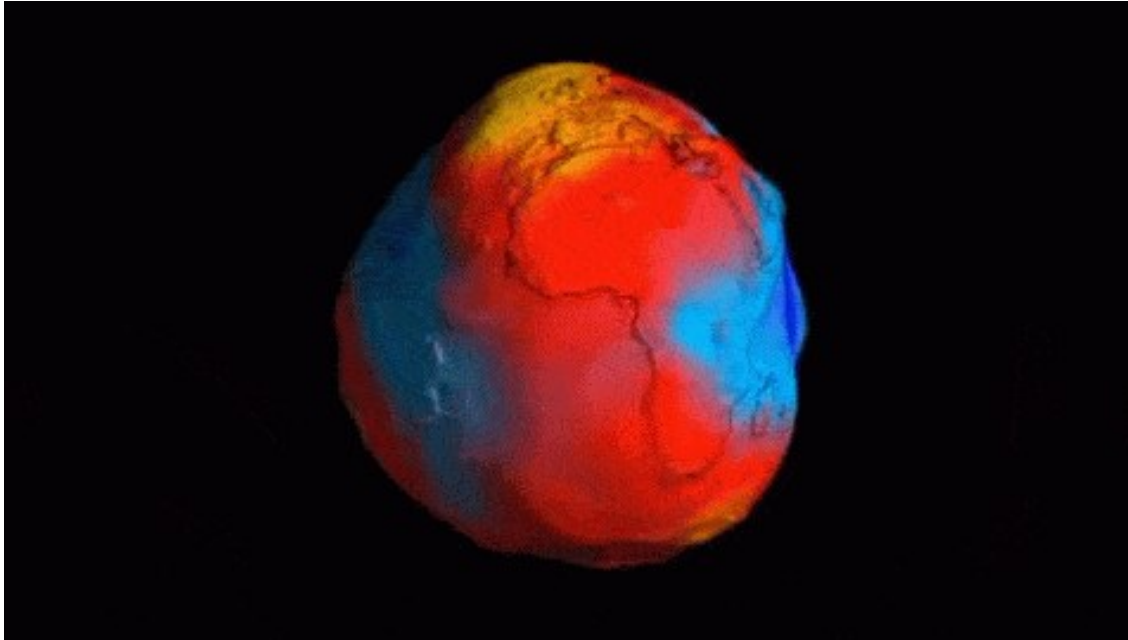
REGRA DE CAMPO — METADADOS OBRIGATÓRIOS

Todo produto deve declarar: referencial (datum), época de realização, unidades, sistema de projeção/zona e tipo de altura (elipsoidal ou ortométrica).

SÍNTESE Trocar de representação não é trocar de ponto — é trocar de linguagem.

Elipsoide, geoide e a questão das alturas

O GNSS mede alturas elipsoidais (h); a engenharia trabalha com alturas ortométricas (H , “nível do mar”).



Modelo exagerado do geoide (anomalias do campo de gravidade). Fonte: ESA.



Elipsoide

Modelo matemático regular que aproxima a forma da Terra; superfície de referência para ϕ , λ e h .



Geoide

Superfície equipotencial do campo de gravidade, ajustada ao nível médio dos mares; referência física para H .



Relação fundamental

$H \approx h - N$, onde N é a ondulação geoidal (no Brasil, obtida por modelos como o hgeoHNOR/MAPGEO).

ERRO CLÁSSICO DE PROJETO Usar h do GNSS como se fosse cota altimétrica: no Espírito Santo, a ondulação geoidal N é da ordem de metros — ignorá-la compromete qualquer projeto hidráulico.

Datum errado desloca o mapa em dezenas de metros

Exemplo real: a mesma estação, em coordenadas UTM, referenciada a dois data distintos.

Datum	Este — E (m)	Norte — N (m)	Altura (m)
SAD-69	721.564,498	7.701.820,194	675,316
WGS-84	721.520,710	7.701.775,634	672,938
Diferença	43,788	44,560	2,378

SIRGAS2000 referencial geocêntrico oficial do Brasil (obrigatório desde 2015)

WGS 84 sistema global associado ao GPS; compatível com SIRGAS2000 ao nível de poucos cm para a maioria das aplicações

SAD-69 / Córrego Alegre data topocêntricos legados — exigem transformação com parâmetros e época

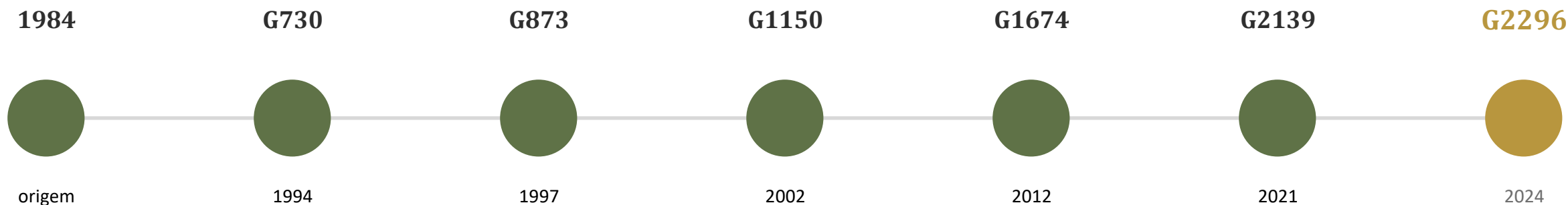
Desvio planimétrico resultante: ~62 m — maior que um talhão experimental inteiro.

PRINCÍPIO Uma coordenada sem referencial e sem época é um número sem contexto — e um risco jurídico em georreferenciamento de imóveis rurais (SIGEF).

Valores do exemplo: material didático DERU/UFES (marco X); IBGE — Resolução 1/2015 (SIRGAS2000).

WGS 84 continua sendo atualizado

WGS 84 não é uma lista imutável de coordenadas: é um sistema com realizações sucessivas, alinhadas ao ITRF.



O QUE MUDA ENTRE REALIZAÇÕES

Coordenadas das estações de controle, alinhamento ao ITRF vigente e tratamento do movimento de placas tectônicas (época de referência).

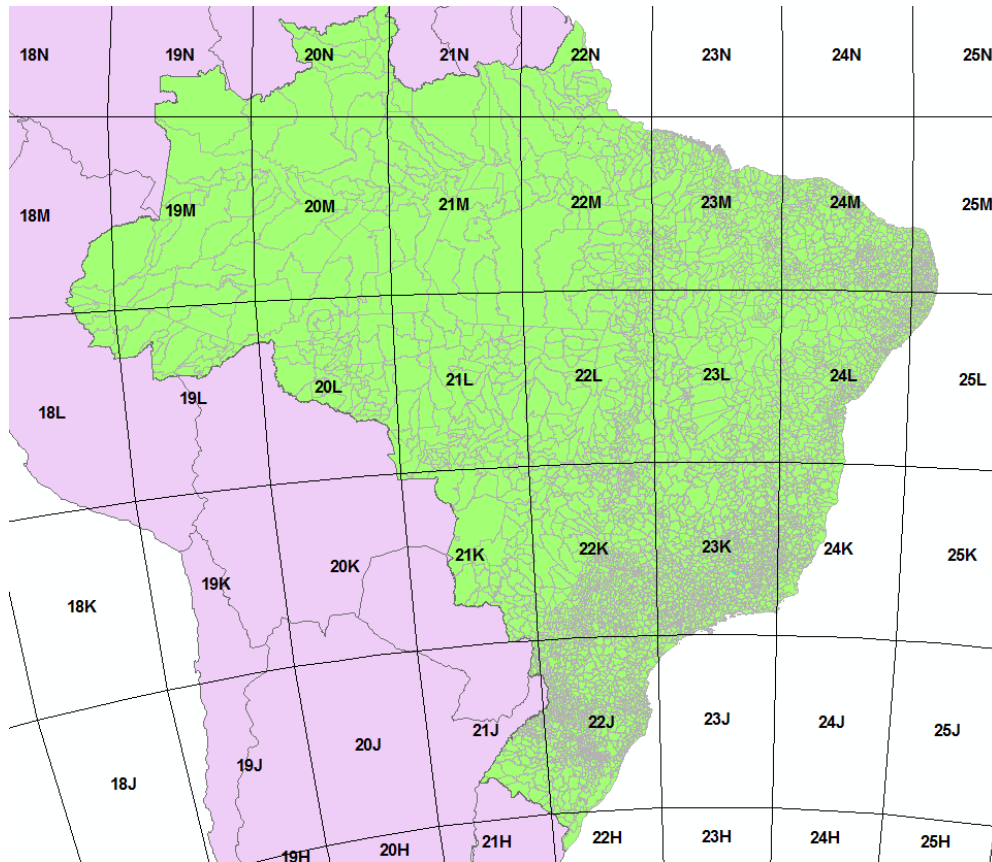
IMPACTO NO CAMPO

Em alta precisão (RTK/PPP), realização e época mudam a interpretação de centímetros — a placa Sul-Americana desloca-se ~1,2 cm/ano.

Fonte: Konyk et al., NAVIGATION (2025) — realização WGS 84 (G2296); NGA.

UTM troca escala global por leitura local

Zonas de 6° de longitude; o Brasil estende-se pelas zonas 18 a 25 (ES: zona 24 S).



- Coordenadas planas E (Este) e N (Norte), em metros — leitura direta de distâncias e áreas locais.
- Convenções indispensáveis: zona, hemisfério, meridiano central, falso Este (500.000 m) e falso Norte (10.000.000 m no hemisfério Sul).
- Fator de escala k varia na zona (0,9996 no MC): distâncias projetadas $\neq$ distâncias reais — relevante em áreas extensas.
- Trabalhos que cruzam o limite de zona exigem decisão explícita de projeção (zona estendida ou projeção local).

REPRODUTIBILIDADE Uma coordenada UTM sem zona, hemisfério e datum não é reproduzível — não existe “E, N” absoluto.

04

Métodos

autônomo · DGPS · RTK · PPP · serviços · infraestrutura

Métodos respondem a perguntas diferentes

Escolha a técnica pelo requisito de acurácia, latência, infraestrutura e ambiente — não pelo nome do equipamento.

Método	Observável principal	Referência externa	Acurácia típica	Dependência crítica
Autônomo (SPS)	código	não	metros	geometria, ambiente e qualidade do receptor
DGPS / SBAS	código corrigido	base ou satélite de correção	submétrica a métrica	disponibilidade da correção e distância à base
RTK / NRTK	fase (N fixado)	base + enlace de dados	centímetros	comunicação, fixação de ambiguidades e distância
PPP / PPP-AR	código + fase	órbitas e relógios precisos	dm a cm (após convergência)	modelos, produtos precisos e tempo de convergência

REGRA DE ESCOLHA A técnica adequada satisfaz o requisito com margem e rastreabilidade — desempenho real depende de método, ambiente e qualidade dos dados.

Síntese conceitual a partir de ESA Navipedia (RTK/PPP Fundamentals) e gps.gov (Performance Standards).

Quatro ordens de grandeza entre os métodos

Valores típicos de acurácia horizontal em condições favoráveis — a régua para dimensionar o levantamento.

± 3 m

Autônomo multi-GNSS

navegação, inventário expedito,
amostragem em malha larga

$\pm 0,5$ m

DGPS / SBAS

agricultura de precisão em faixas,
mapeamento temático

$\pm 2-5$ cm

PPP-AR convergido

alta precisão sem base local; áreas
remotas e embarcado

± 2 cm

RTK / NRTK

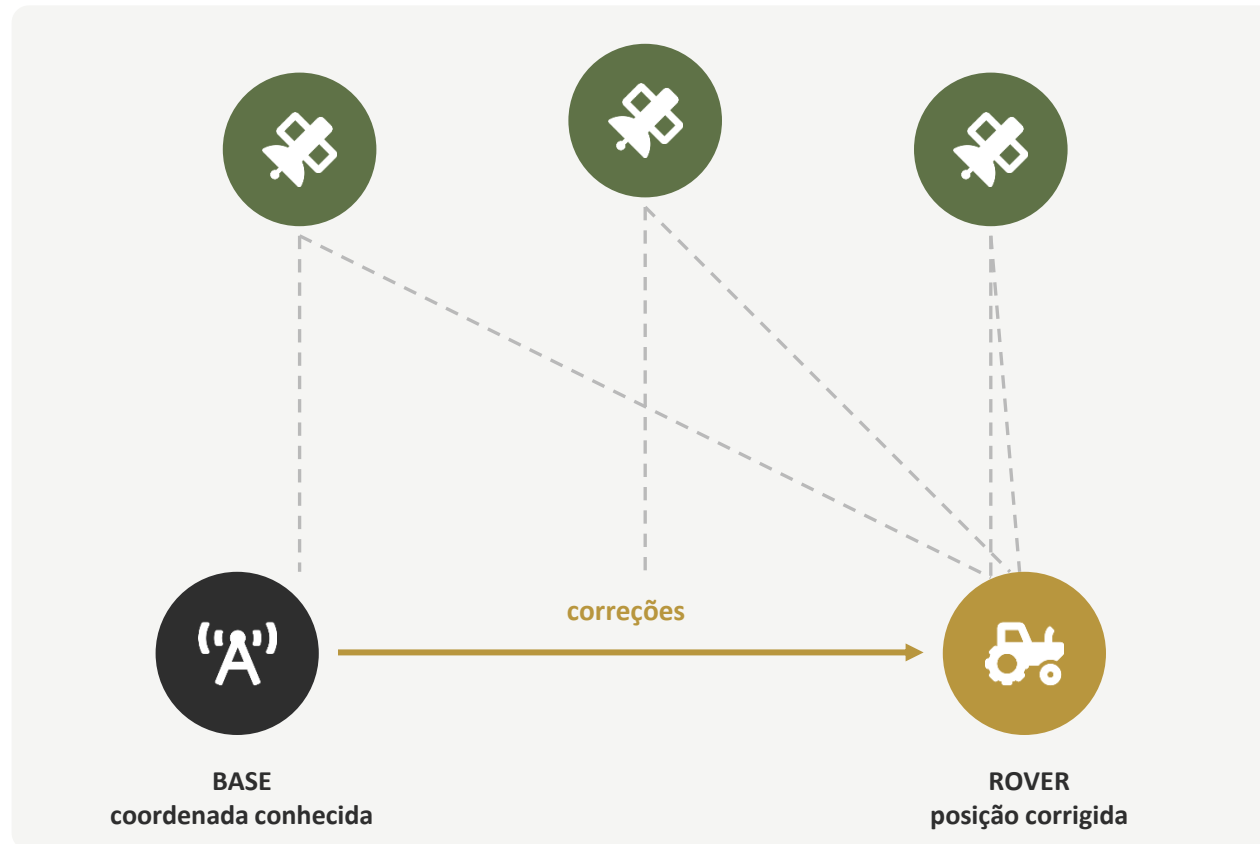
piloto automático, plantio localizado,
cadastro e obras

LEITURA DE ENGENHARIA Cada ordem de grandeza a menos na incerteza custa infraestrutura, tempo ou modelo. Pagar por precisão que a decisão não usa é desperdício de projeto.

Ordens de grandeza típicas; desempenho específico depende de serviço, ambiente e configuração (ESA Navipedia; gps.gov).

Correção diferencial cancela erros comuns

Base e rover observam os mesmos satélites, no mesmo instante: a diferença entre medições reduz componentes compartilhados.



REDUZIDOS PELA DIFERENÇA

relógio do satélite · erro orbital · grande parte dos atrasos atmosféricos (correlacionados espacialmente)

NÃO DESAPARECEM SOZINHOS

multicaminhamento local · ruído do receptor · interferência — cada estação tem o seu próprio ambiente

CONDIÇÃO DE EFICÁCIA A correção funciona melhor quando base e rover compartilham o mesmo ambiente de propagação — a distância degrada a correlação dos erros.

Tempo real ou pós-processado — e a que distância

Duas decisões operacionais definem a logística do levantamento diferencial.



Correção em tempo real (RTK/NRTK/SBAS)

A base (ou a rede) envia correções instantaneamente ao rover — via rádio, GSM/NTRIP ou satélite. Resultado disponível em campo, apto a guiar máquinas.



Correção pós-processada (PPK/estático)

Base e rover gravam observações (RINEX); o processamento em escritório resolve a linha-base. Máxima precisão e controle de qualidade — sem enlace em campo.

≈ 300 km

correção de código (DGPS)

erros de código mantêm correlação em longas linhas-base

≈ 50 km

pós-processamento de fase

resolução de ambiguidades ainda viável com dupla frequência

≈ 15–20 km

RTK convencional

fixação rápida e confiável exige atmosfera comum ao par

NRTK Redes de estações (VRS/MAC) diluem o limite de distância do RTK ao interpolar o erro atmosférico entre estações — base virtual próxima ao rover.

PPP: precisão sem base local

Código + fase + órbitas, relógios e vieses precisos → posição acurada em referencial global, sem infraestrutura própria.



código + fase

observações multi-GNSS e multifrequência



produtos precisos

órbitas, relógios e vieses (IGS, serviços comerciais)



modelagem rigorosa

marés, fase wind-up, centros de fase, troposfera



posição global

dm a cm; PPP-AR fixa ambiguidades e acelera

GALILEO HAS — CORREÇÕES NO PRÓPRIO SINAL

O High Accuracy Service transmite correções de órbita, relógio e vieses pela banda E6-B e pela Internet, gratuitamente — acurácia horizontal nominal da ordem de 20 cm.

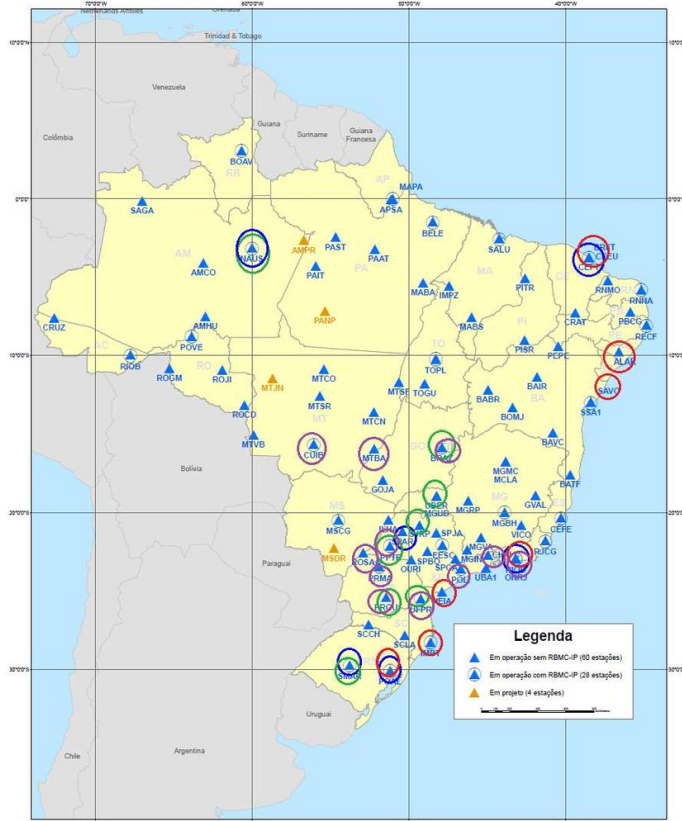
VANTAGEM × CUSTO

Vantagem: cobertura global e flexibilidade sem estação-base. Custo: tempo de convergência (minutos) e sensibilidade a interrupções de rastreamento — crítico sob dossel.

Fontes: ESA Navipedia, PPP Fundamentals; European GNSS Service Centre, Galileo HAS.

RBMC conecta o levantamento ao Sistema Geodésico Brasileiro

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (IBGE): estações GNSS de alto desempenho, materialização do SIRGAS no país.



Ocupação de marco geodésico em campo (acervo DERU/UFES).

15 s taxa dos dados RINEX diários disponibilizados

1 s alta taxa e fluxo NTRIP em estações participantes

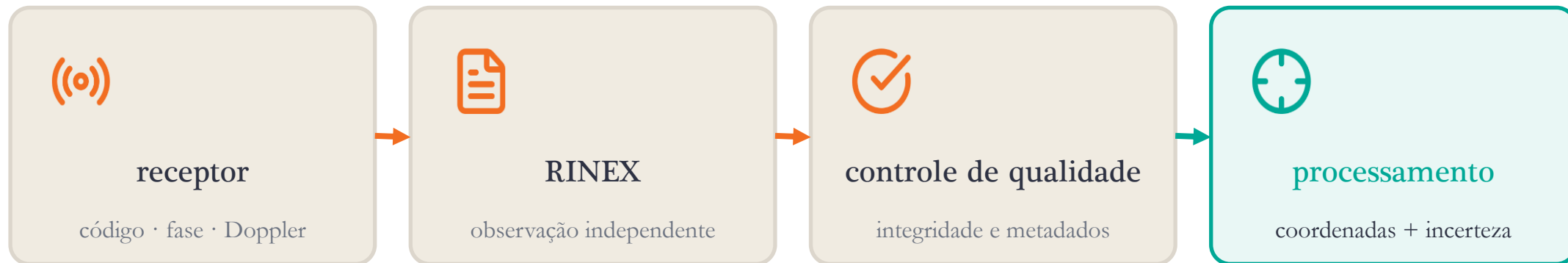
- Observações de código e fase, multi-GNSS, com dados diários gratuitos e serviços em tempo real (RBMC-IP).
- Substitui a base própria no PPK: qualquer levantamento pode ser amarrado ao SGB — inclusive reconstruções PPK de voos de drone.
- IBGE-PPP: serviço on-line oficial de pós-processamento no SIRGAS2000.
- RINEX é o formato independente de receptor que torna tudo isso interoperável — a versão 4 já estrutura sinais e mensagens das constelações modernas.

PONTO DE ATENÇÃO Verifique a distância à estação RBMC mais próxima e a taxa necessária antes do campo — ela define a viabilidade do PPK.

Fontes: IBGE, RBMC; IGS, RINEX.

RINEX transforma observações em dados reutilizáveis

O formato independente do receptor permite trocar, verificar e processar observações GNSS em diferentes ferramentas.



ATUALIZAÇÃO DE FORMATO

RINEX 4 foi criado para suportar sistematicamente constelações, sinais e mensagens GNSS modernas.

05

Campo

erros · ambiente · geometria · decisão · aplicações



O erro final é uma cadeia, não um número

Fonte física → observação → ambiente → geometria → algoritmo: controle o que pode ser controlado.



Satélite

relógio, órbita e saúde — mitigados por efemérides precisas e correções



Atmosfera

ionosfera (dispersiva) e troposfera — dupla frequência e modelos



Ambiente

obstrução e multicaminhamento — escolha do sítio e da antena



Instrumentação

ruído, centro de fase da antena e perdas de ciclo



Geometria

DOP, elevação e azimute — planejamento da janela de observação



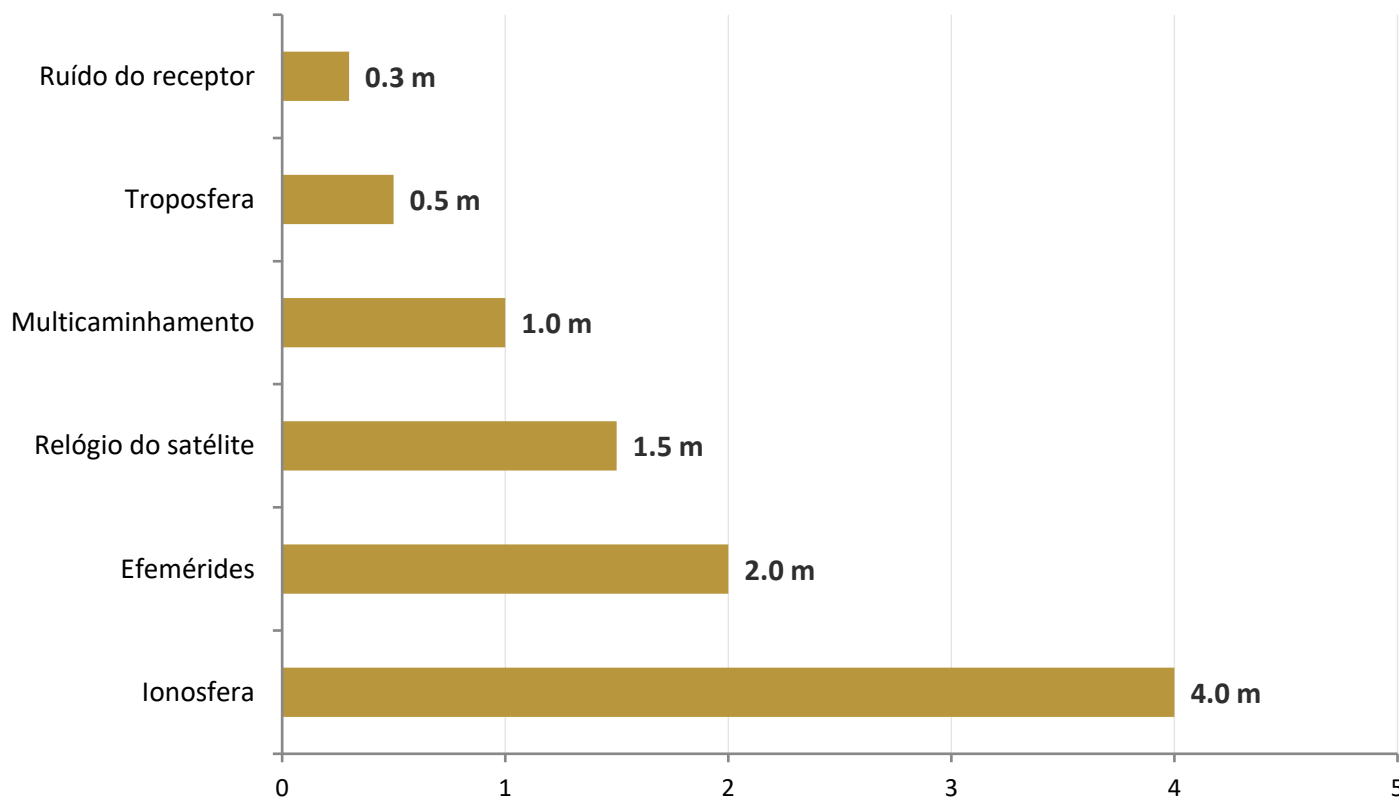
Método

correção, convergência e modelo — adequação ao requisito

PRINCÍPIO A acurácia do sinal no espaço não é automaticamente a acurácia do usuário — o ambiente e o método fecham (ou abrem) a conta.

Orçamento de erros: onde a incerteza nasce

Contribuições típicas (1σ , frequência única, sem correção diferencial) — a ionosfera domina o balanço.



Dupla frequência

elimina a 1ª ordem do erro ionosférico — reduz o maior termo do balanço a centímetros.



Diferenciação

cancela relógio do satélite, órbita e parte da atmosfera entre base e rover.



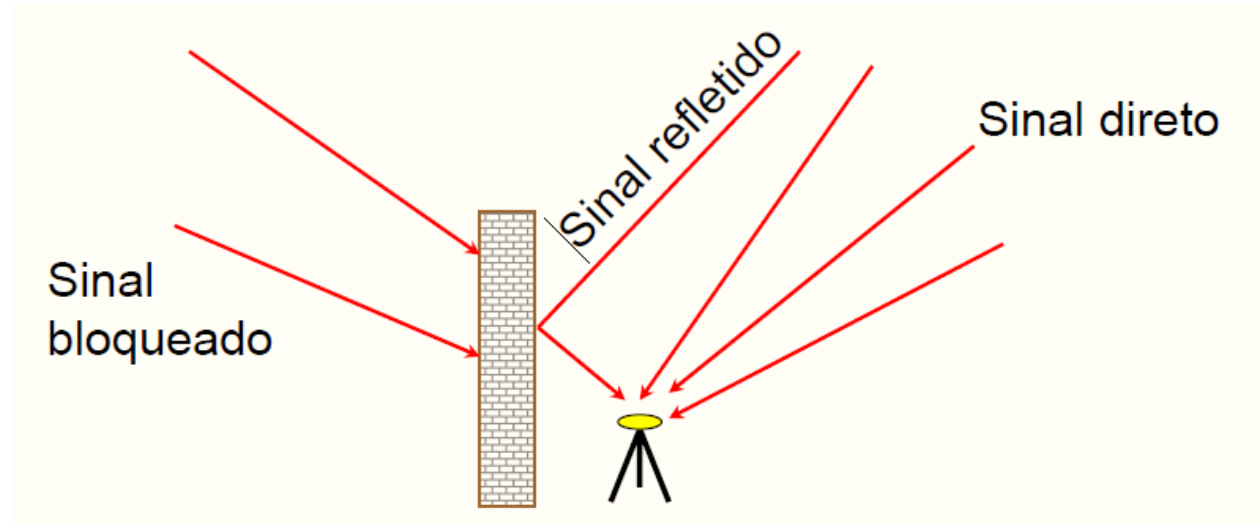
Só o ambiente resta

multicaminhamento e ruído não se corrigem por serviço algum — são decisão de campo.

Valores de referência da literatura (ex.: Kaplan & Hegarty, 2017; gps.gov) — magnitudes variam com atividade solar, elevação e ambiente.

Multicaminhamento é uma assinatura do ambiente

Cópias refletidas do sinal percorrem caminhos mais longos e deslocam a correlação no receptor.



Sinal direto, refletido e bloqueado: o receptor soma o que chega à antena.

Superfícies críticas água aberta · silos e galpões metálicos · paredes · solo exposto úmido · dossel denso

Mitigação em campo

- ✓ Escolha horizonte aberto e afaste a antena de superfícies refletoras
- ✓ Use máscara de elevação adequada (10–15°) e antena com plano de terra/choke ring
- ✓ Monitore qualidade do sinal (SNR), perdas de ciclo e resíduos do ajuste
- ✓ Em áreas críticas, prefira ocupações mais longas e horários de melhor geometria

POR QUE INSISTIR É o erro que nenhum serviço de correção remove: nasce a metros da antena — e morre na escolha do ponto.

Categorias de receptores: capacidade define o teto

O hardware determina quais observáveis existem — e, portanto, quais métodos são possíveis.



Navegação

≈ 3–10 m

código C/A; smartphones e coletores expedidos — sem correção diferencial de qualidade topográfica



Topográfico

< 1 m

código + fase L1 (ou L1/L2); pós-processamento e DGPS — cadastro e agricultura de precisão



Geodésico

< 1 cm

multifrequência e multiconstelação; RTK/PPK/estático — geodésia, obras e georreferenciamento legal

TENDÊNCIA Receptores multibanda de baixo custo (inclusive em drones e smartphones) estão comprimindo a fronteira entre as categorias.

Escolha a técnica pelo requisito, não pelo hábito

A melhor solução é a que atende à incerteza tolerada, à latência e à infraestrutura disponíveis — com margem.

Requisito	Solução coerente	Atenção operacional
Navegação e inventário	Autônomo multi-GNSS	ambiente e DOP
Precisão submétrica	DGPS / SBAS	disponibilidade e idade da correção
Centímetros em tempo real	RTK / Network RTK	base, enlace, fixação e distância
Alta precisão sem base local	PPP / PPP-AR (ex.: HAS)	convergência, órbitas e modelos
Referência oficial no Brasil	RBMC + relativo / IBGE-PPP	SGB, época e qualidade dos dados

EQUAÇÃO DA DECISÃO requisito + método + ambiente + rastreabilidade = decisão confiável (e defensável em auditoria).

GNSS sai do mapa e entra na operação

A mesma infraestrutura sustenta decisões com requisitos de precisão, continuidade e tempo muito diferentes.



Agricultura e silvicultura de precisão

orientação de máquinas, aplicação localizada, plantio e colheita georreferenciados



Aeronaves remotamente pilotadas

voo autônomo, PPK de imagens e LiDAR, aplicação por drone



Topografia e geodésia

levantamentos, georreferenciamento legal (SIGEF) e monitoramento de estruturas



Navegação e transporte

aérea, marítima e terrestre; logística e frotas



Automação e robótica

veículos autônomos e monitoramento de ativos



Tempo e redes

sincronização de telecom, energia e transações — o serviço invisível do GNSS

PERGUNTA-GUIA Qual nível de incerteza a decisão tolera? — é ela, não o equipamento, que dimensiona a solução.

Três compromissos do usuário técnico de GNSS



1 · Medir bem

entender as observáveis e o ambiente:
código, fase, geometria, multicaminhamento
e continuidade de rastreo.



2 · Referenciar corretamente

declarar datum, realização, época, projeção e
tipo de altura — sempre, em todo produto.



3 · Escolher o método certo

dimensionar a técnica pelo requisito da
decisão, com margem, rastreabilidade e
consciência dos limites.

senal imperfeito + modelo explícito + decisão dimensionada = confiança espacial

Fontes essenciais

Fontes oficiais e técnicas utilizadas para atualizar conceitos, sinais, referenciais, serviços e métodos.

GPS.GOV. GPS: The Global Positioning System — Space, Control & User Segments; GPS Accuracy; Performance Standards.

ESA NAVIPEDIA. GNSS Basic Observables; RTK Fundamentals; PPP Fundamentals.

IBGE. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC); serviço IBGE-PPP; Resolução nº 1/2015 (SIRGAS2000).

KONYK, S. et al. Updated realization of the World Geodetic System 1984: G2296. NAVIGATION, v. 72, 2025.

EUROPEAN GNSS SERVICE CENTRE (EUSPA/GSC). Galileo High Accuracy Service (HAS) — Service Definition Document.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. 3. ed. Artech House, 2017.

INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS). RINEX — The Receiver Independent Exchange Format, v. 4.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. Unesp, 2008.

Referências completas, com links e data de acesso, no material de apoio da disciplina.

Perguntas

medir bem · referenciar corretamente · escolher o método certo

Prof. Samuel de Assis Silva

LabMAP — Laboratório de Mecanização e Agricultura e Silvicultura de Precisão e Digital

Universidade Federal do Espírito Santo — UFES

+55 28
99988 2927


www.labmap.com.br


samuel.assisilva@gmail.com


in/samuel-assisilva



@SAMUEL.ASSILVA