



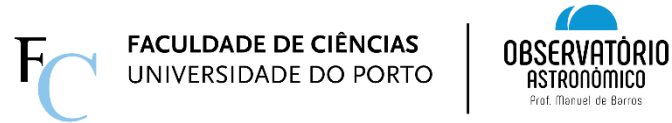
X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

02 – 03 NOVEMBRO 2023

# Posicionamento GNSS com smartphone em linhas de bases longas



Américo MAGALHÃES<sup>1</sup>, José Alberto GONÇALVES<sup>2,3</sup>, André PINHAL<sup>2</sup>, Dalmiro MAIA<sup>1</sup> e Luísa BASTOS<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> CIGGE, DGAOT, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto (Portugal)

<sup>2</sup> DGAOT, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto (Portugal)

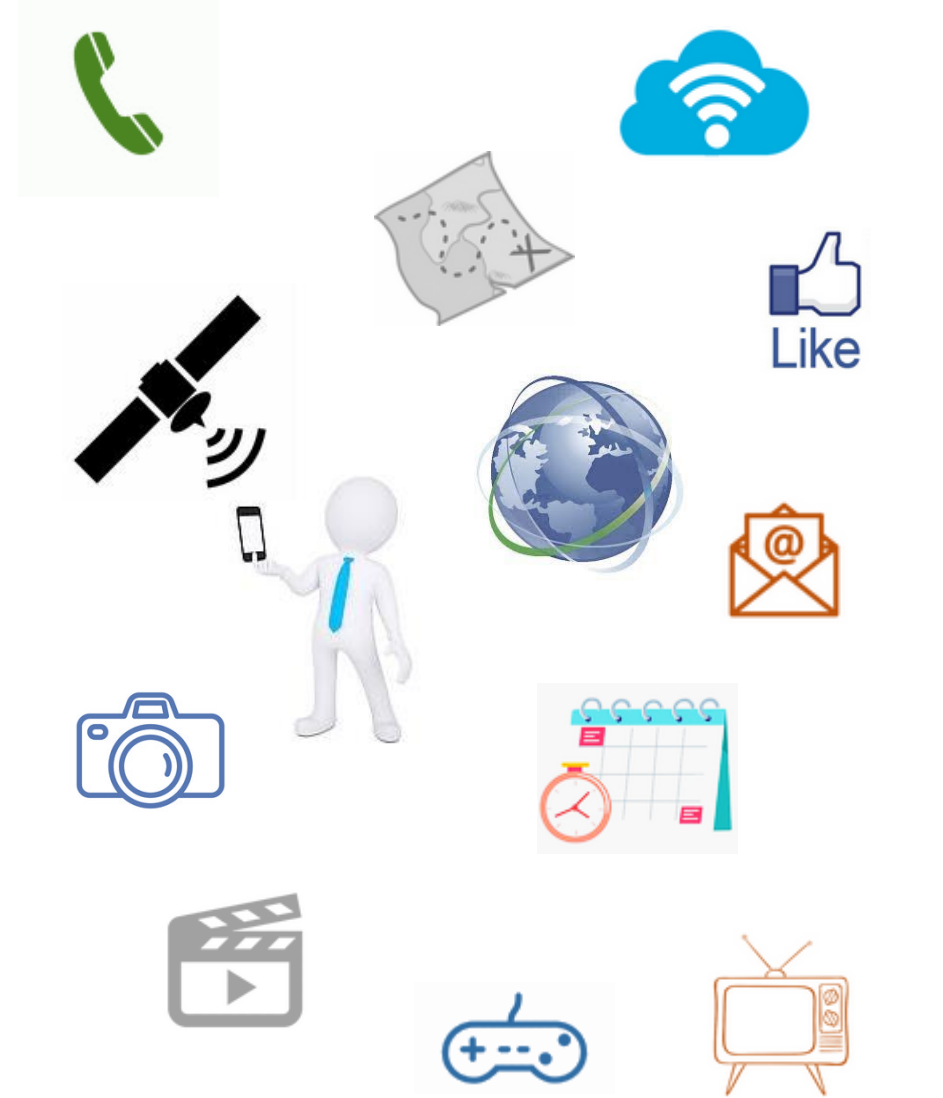
<sup>3</sup> CIIMAR, Universidade do Porto (Portugal)

(americo.magalhaes@fc.up.pt; jagoncal@fc.up.pt; apinhal@fc.up.pt; dmaia@fc.up.pt; lcbastos@fc.up.pt)

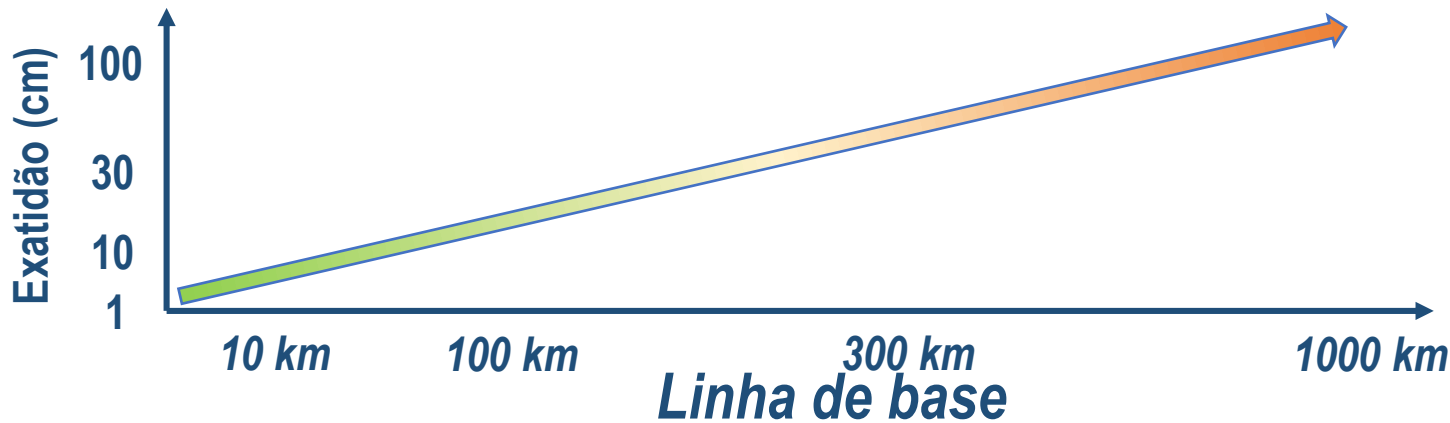


ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

- ⇒ A função do smartphone vai muito além do simples telefonar.
- ⇒ É um dos equipamentos mais indispensáveis no dia a dia.
- ⇒ De fácil manuseamento e custo competitivo.
- ⇒ Permite maior eficiência nos serviços e no bem-estar.
- ⇒ Acesso a um vasto número de funcionalidades.
- ⇒ **Como posicionamento GNSS.**



- O rigor posicional com recetores GNSS degradar-se com o aumento da distância às estações de referência.



- ✓ Alguns autores obtiveram com smartphones rigor centimétrico (5 cm) em modo estático, mas em linhas de base curtas.

**Mas como seria no caso de base longas?**



# Posicionamento relativo com smartphones



- Alguns modelos de smartphones permitem acesso:

- ✓ **Medidas GNSS brutas de fase e código** (2016 com sistema operativo Android 7)

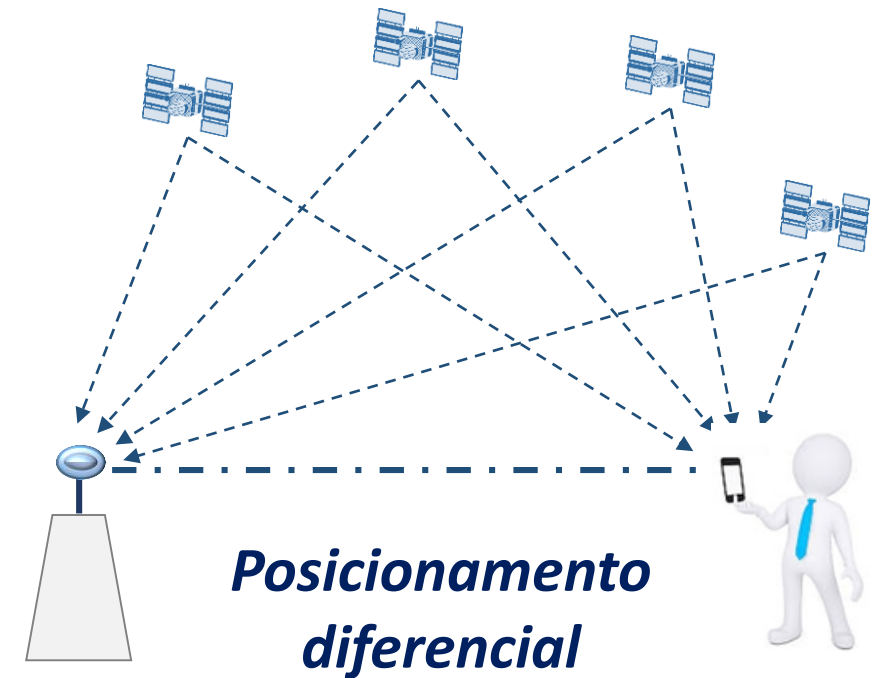
- ✓ **Medidas dupla-frequência** (2018 com chip BCM47755 da Broadcom), mas só ...

- **Sinais Galileo E1 e E5a**

- **Sinais GPS L1 e L5**

```

3.03      OBSERVATION DATA      M: Mixed      RINEX VERSION / TYPE
Geo++ RINEX Logger Geo++      20211119 183034 UTC PGM / RUN BY / DATE
*****COMMENT*****
This file was generated by the Geo++ RINEX Logger App
for Android devices (Version 2.1.6). If you encounter
any issues, please send an email to android@geopp.de
Filtering Mode: BEST
*****COMMENT*****
5
GEOETIC
Americo      FCUP
unknown      Xiaomi      MI 8
unknown      MI 8
4759013.7644 -718804.5207 4171579.1835
0.2900      0.0000      0.0000
G 8 C1C L1C L1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
R 4 C1C L1C L1C S1C
E 12 C1B L1B L1B S1B C1C L1C L1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
C 4 C2I L2I L2I S2I
J 8 C1C L1C L1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
2021 11 19 18 30 52.0001543 GPS
G L1C
G L5Q -0.25000
R L1C
E L1B
E L1C +0.50000
E L5Q -0.25000
C L2I
J L1C
J L5Q -0.25000
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000
> 2021 11 19 18 30 52.0001543 0 26
C11 23605373.340 122919373.1421 558.458 34.992
C20 25413035.522 132332344.0571 474.093 30.654
C25 23427461.506 121992939.4231 -2605.751 41.848
C32 23932213.373 124621314.3631 -2366.057 37.149
C34 24224050.539 126140987.9551 -827.780 32.037
C37 24852756.695 129414825.9261 1408.547 36.292
E05
E09
E24
E25
E31
E33
G06 25235339.238 132612601.9361 600.471 35.291 25235342.236 99028902.7061 448.372 30.769
G10 24034004.905 126299547.4491 -3201.431 37.067 24034012.399 94314626.5411 -2390.630 41.723
G12 20122052.993 105742101.9931 -1564.718 46.698
G15 25089023.730 131843709.4191 -4642.561 40.033
G24 21209361.864 111455948.1671 -2815.382 42.960 21209366.961 83230110.7091 -2102.425 35.631
G25 20475212.106 107597965.7401 646.685 42.525 20475211.506 80349127.2461 482.883 35.740
G29 23987126.658 126053200.9661 2917.584 35.830
G32 22130978.143 116299074.4631 1441.184 37.884 22130982.040 86846726.1231 1076.115 30.678
R05 22335433.001 119395689.5351 -5186.158 38.450
R07 22378292.530 119792751.1341 2028.414 26.951
R09 22868434.612 1855.138 25.207
R16 19955341.405 106597851.8901 -131.210 38.657
R17 21579110.892 115474181.1421 135.511 35.513
R18 22529802.842 120265616.7591 2896.236 36.266
    
```



23981715.104	126024763.2241	-2102.397	42.356	23981717.203	94109409.2181	-1570.034	35.989
24858615.838	130632907.8151	-3894.760	37.996	24858613.440		-2908.780	20.999
23890068.550	125543157.6941	-1642.926	44.670	23890065.252	93749746.6021	-1226.863	37.702
24968300.006	131209301.8491	691.920	32.665	24968307.800	97981002.5691	516.708	32.796
26606096.183	139815978.8951	-3106.487	39.028	26606100.980	104408054.8491	-2319.822	34.141
27782964.754	146000465.3321	-67.442	34.232	27782975.846	109026364.6591	-50.453	37.199



- As regras e metodologias são semelhantes aos levantamentos com recetores profissionais, mas recomendam-se alguns cuidados devido às características próprias deste tipo de equipamento, tal como a **antena de qualidade inferior**.

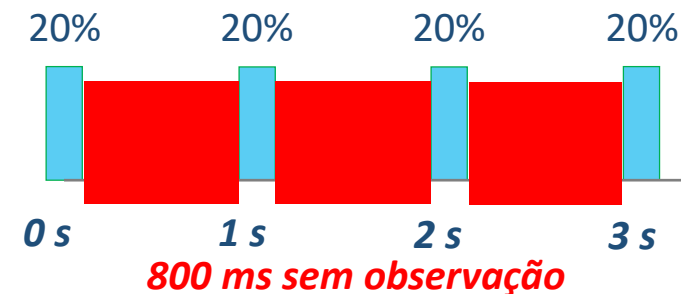
- Tipo PIFA - Planar Inverted F Antenna**, largura de banda estreita, polarização linear, recebe sinais de todo lado, baixa supressão ao multicaminho e interferências.

⇒ **minimização com a utilização de uma base metálica**

(Smartphone deitado sobre a placa mitiga mais multicaminho, mas há **quebras de 5-10 dBHz**)

- Ciclo de trabalho (“duty-cycle”)** economiza energia, mas tem implicações nos sinais GNSS, tais como descontinuidade do sinal (“*cycle-slips*”), pode provocar a não fixação da ambiguidade.

⇒ **desativação nas definições avançadas**



- Realizaram-se observações (1 Hz) nos pilares da base de calibração existente no Observatório Astronómico “Prof. Manuel de Barros”.

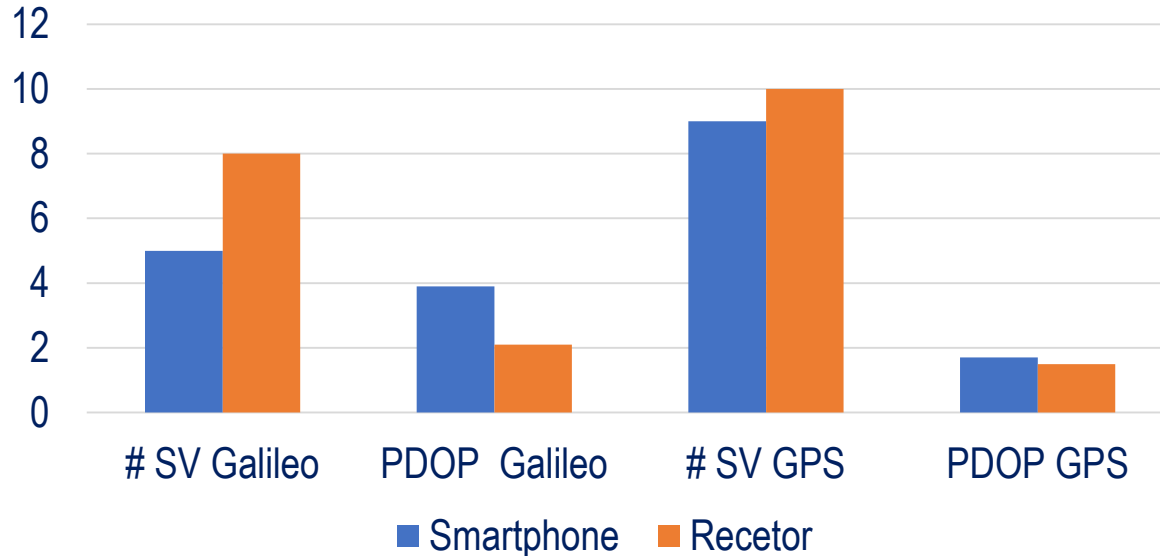
⇒ *Distribuídas por 6 testes em diferentes períodos usando 4 estações de referência da EUREF.*

Teste	Nº pontos	Hora início	Data	Duração	Equipamentos
1	5	22:00	12/02/2021	10 min	Mi8
2	1	15:30	25/02/2021	2 h	Mi8 e Alloy
3	3	21:30	13/03/2021	30 min	Mi8 e PolaRx5
4	1	16:30	18/11/2021	4 h	Mi8 e Alloy
5	1	18:30	19/11/2021	3 h	Mi8 e Alloy
6	1	08:15	22/11/2021	5 h	Mi8 e Alloy

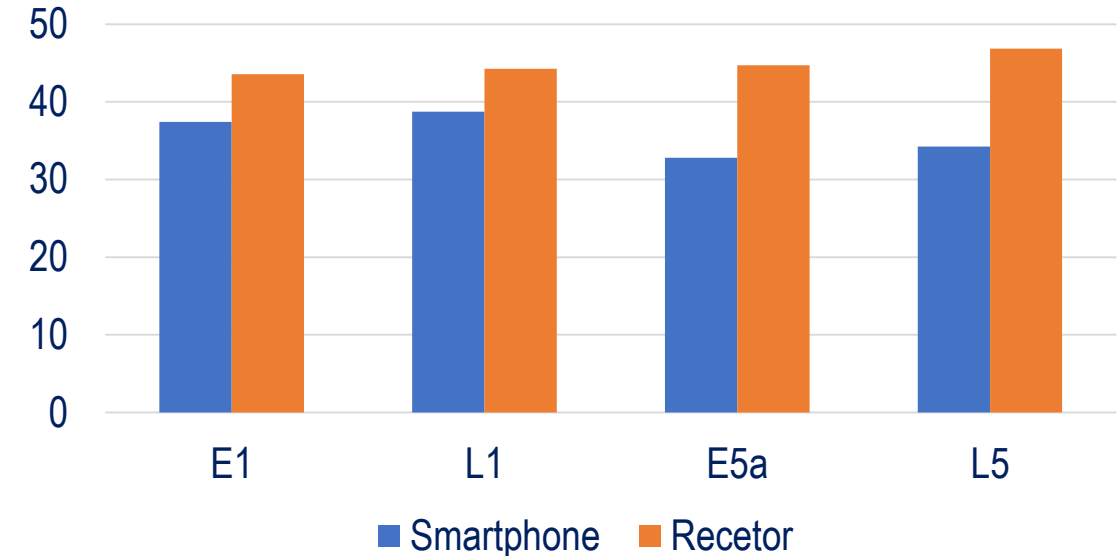


- A geometria e a intensidade do sinal das constelações Galileo e GPS foram alvo de avaliação.

### Nº satellites e PDOP



### SNR (dBHz)



- ✓ Smartphone *nº menor de satélites*
- ✓ Consequentemente *maior PDOP*
- ✓ *Mais expressivo no caso do Galileo*

- ✓ Smartphone com *intensidade do sinal menor*
- ✓ *SNR < 40 dBHz em todas os sinais*
- ✓ *E5a/L5 é inferior ao E1/L1, contrariamente ao recetor*

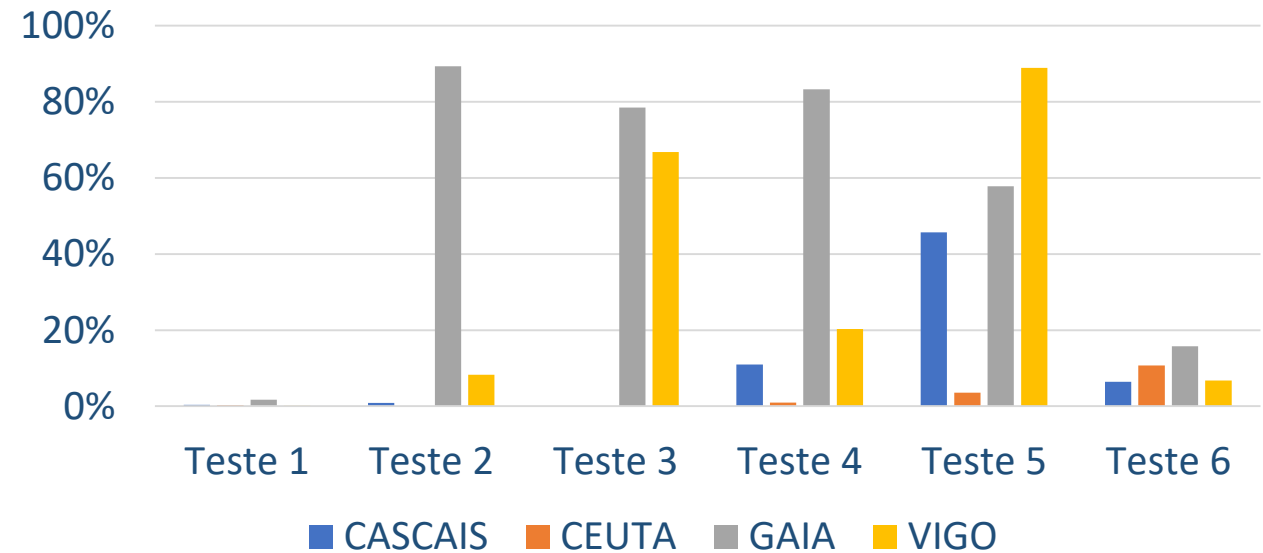


- As soluções foram processadas com o software RTKLib Demo5.

Devido à constelação do Galileo não se encontrar finalizada e a do GPS não estar totalmente modernizada (nem todos satélites transmitem L5) a melhor abordagem para ter o maior n.º de medidas de dupla-frequência foi:

**Combinação de medidas  
Galileo+GPS**

Taxa de resolução da ambiguidade



- Resolução ambiguidade maior:
  - ⇒ Linhas de base mais curtas
  - ⇒ Testes de maior duração
  - ⇒ Testes com maior n.º de satélites Galileo

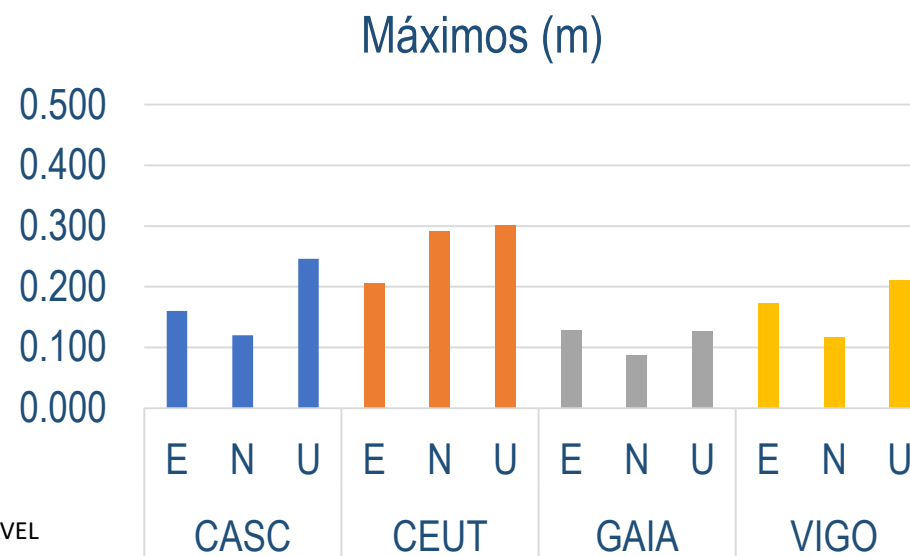




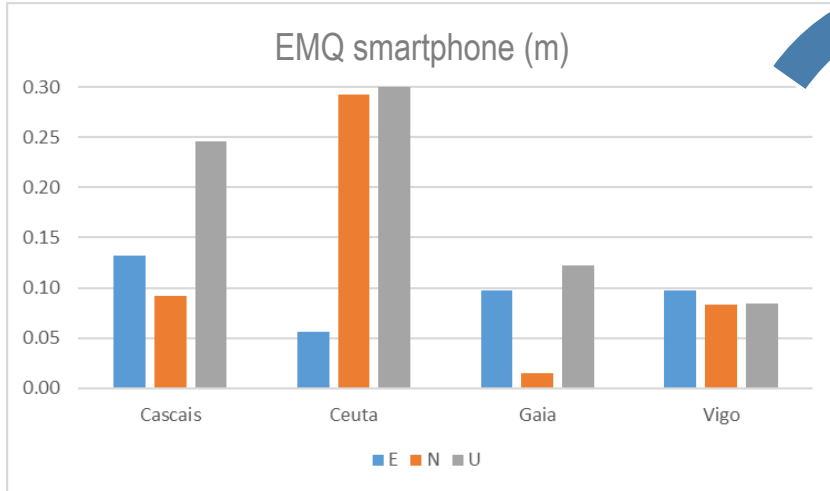
- As soluções Galileo+GPS do smartphone foram comparadas com as coordenadas conhecidas dos pilares.

EMQ (m)	CASCAIS (277 km)			CEUTA (645 km)			GAIA (0.2 km)			VIGO (121 km)		
	E	N	U	E	N	U	E	N	U	E	N	U
Teste 1	0.160	0.120	0.186	0.205	0.200	0.218	0.129	0.087	0.126	0.172	0.117	0.211
Teste 2	0.045	0.021	0.002	0.056	0.125	0.112	0.000	0.000	0.003	0.056	0.001	0.076
Teste 3	0.132	0.092	0.246	0.057	0.292	0.301	0.097	0.015	0.122	0.097	0.083	0.085
Teste 4	0.018	0.004	0.030	0.020	0.194	0.188	0.048	0.014	0.004	0.002	0.010	0.007
Teste 5	0.010	0.003	0.004	0.012	0.002	0.019	0.001	0.001	0.008	0.001	0.003	0.002
Teste 6	0.035	0.059	0.044	0.057	0.200	0.118	0.043	0.000	0.101	0.141	0.007	0.052

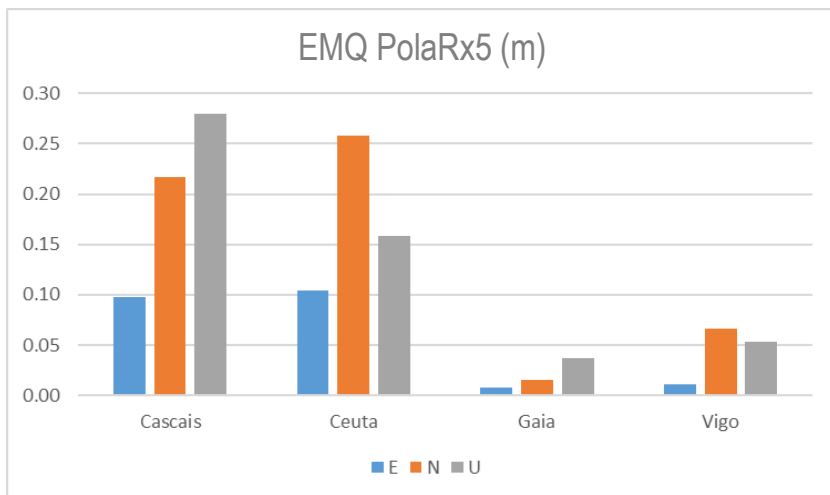
- Maior erro = 30 cm na base de Ceuta (645 km)**
- Melhores resultados no teste 5 (3h)  $\leq 2$  cm
- Testes de maior duração com melhores resultados



## Erros smartphone versus recetor geodésico

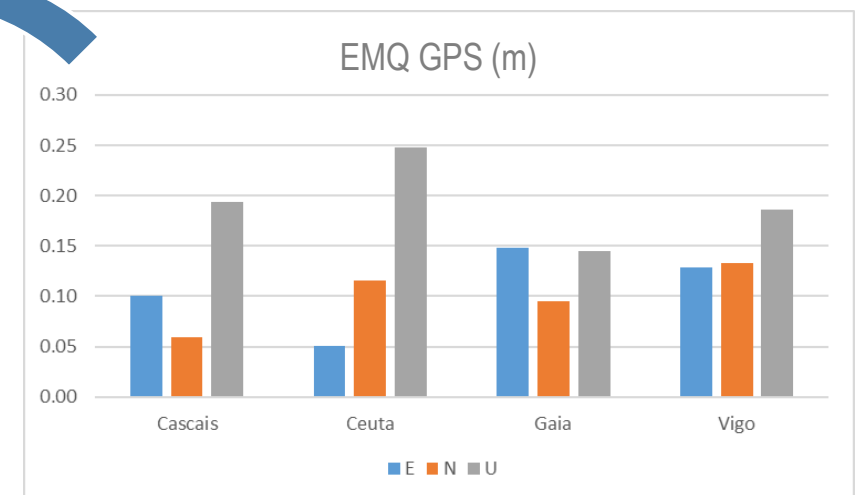
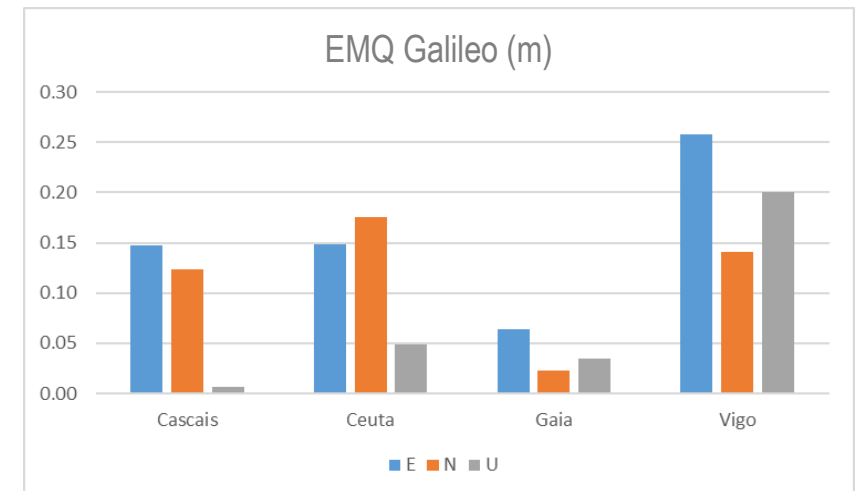


⇒ Erros no smartphone superiores  
 ⇒ Mas não muito distantes



⇒ Galileo ≈ GPS  
 ⇒ 75% erros < 15 cm

## Erros smartphone Galileo versus GPS



- ⇒ Os resultados Galileo+GPS, Galileo e GPS mostram ser possível obter-se **erros  $\leq 30$  cm em linhas de base longas**, utilizando smartphones de dupla frequência com acesso a medidas de fase e código.
- ⇒ Desta forma, este tipo de equipamento poderá ser uma mais valia como **ferramenta de georreferenciação**, por exemplo em trabalhos cadastrais, levantamento de redes de apoio topográfico ou verificação de cartografia.
- ⇒ Poderá dar um contributo **no desenvolvimento de comunidades em locais remotos** onde as redes de estações GNSS permanentes a disponibilidade financeira são recursos escassos devido à **facilidade de transporte e manuseamento, e custo competitivo**.
- ⇒ Com o fim dos condicionamentos dos sinais **E5a** e **L5** nas constelações Galileo e GPS, a **consistência dos resultados poderá ainda ser melhor**.
- *Publicação: Magalhães, A., Bastos, L., Maia, D., & Gonçalves, J. (2021). Relative positioning in remote areas using a GNSS dual frequency Smartphone. Sensors, 21(24), 8354. doi:<https://doi.org/10.3390/s21248354>*



# Obrigado pela atenção!



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS