

Metrologia Instrumental e Processamento de Dados com AstGeoTop para Redes Topográficas de Precisão

Juyara Bezerra de ARAUJO, Janaína Carvalho Peixoto CRUZ, Andréa DE SEIXAS, Lucas Gonzales Lima Pereira CALADO, Isaac RAMOS JUNIOR, Brasil

Palavras-chaves: Metrologia Geodésica, Redes Topográficas de Precisão, Método da Poligonação, Parcelas Territoriais.

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação do software AstGeoTop no processamento de uma rede topográfica de precisão. O objetivo foi detalhar o processamento da poligonal, avaliar a acurácia e confiabilidade dos dados e analisar a compatibilização entre técnicas topográficas e geodésicas, em conformidade com normas atualizadas. A análise comparativa evidenciou discrepâncias significativas entre os métodos, com variações de até 11,61 cm na coordenada X e 4,24 cm na coordenada Y, além de diferenças em ângulos internos, distâncias, perímetro e área. Fatores como tempo de rastreamento, obstruções físicas e efeitos de multicaminho afetaram o desempenho do GNSS PPP, enquanto a estação total apresentou limitações relacionadas a erros de fechamento angular de $-1'30,8''$ para uma poligonal com amplitude linear mínima de 3,311m e máxima de 9,860m. Os resultados confirmam a viabilidade e eficiência da integração entre métodos terrestre e espacial na definição de redes de alta precisão, destacando o potencial do AstGeoTop para otimizar o processamento, análise e visualização de dados. Sendo útil para aplicações de cadastros territoriais, monitoramento de estruturas, projetos de infraestrutura e atividades acadêmicas.

ABSTRACT

This paper presents the application of AstGeoTop software to the processing of a precision topographic network. The objective was to detail the polygon processing, evaluate the accuracy and reliability of the data, and analyze the compatibility between topographic and geodetic techniques, in accordance with updated standards. The comparative analysis revealed significant discrepancies between the methods, with variations of up to 11.61 cm in the X coordinate and 4.24 cm in the Y coordinate, as well as differences in internal angles, distances, perimeter, and area. Factors such as tracking time, physical obstructions, and multipath effects affected the GNSS PPP performance, while the total station presented limitations related to angular closure errors of $-1'30.8''$ for a polygon with a minimum linear amplitude of 3,311m and a maximum of 9,860m. The results confirm the feasibility and efficiency of integrating terrestrial and space-based methods in defining high-precision networks, highlighting the potential of AstGeoTop to optimize data processing, analysis, and visualization. It is useful for land registry applications, structural monitoring, infrastructure projects, and academic activities.

Metrologia Instrumental e Processamento de Dados com AstGeoTop para Redes Topográficas de Precisão

Juyara Bezerra de ARAUJO, Janaína Carvalho Peixoto CRUZ, Andréa DE SEIXAS, Lucas Gonzales Lima Pereira CALADO, Isaac RAMOS JUNIOR, Brasil

1. INTRODUÇÃO

A implantação de uma rede topográfica de precisão é útil para diversas áreas da Topografia e Geodésia, como o monitoramento de estruturas, levantamento topográfico ou geodésico, cadastro territorial, projetos de infraestruturas, além de servir como experimento utilizado nas aulas práticas de Topografia (Araujo et al., 2025).

Esse estudo tem como principal objetivo apresentar a aplicação do software AstGeoTop (Garnés, 2025), nos diversos módulos computacionais desenvolvidos, envolvendo o processamento, por exemplo, neste trabalho, de uma rede topográfica, no caso singular do método da poligonação, com dados advindos de medições realizadas com estação total, detalhando o passo a passo do processamento nas suas diferentes fases. Ressaltando-se o processamento dos dados e como este software pode ser aplicado na definição e no controle de redes topográficas de precisão, otimizando o processamento dos dados e visualização dos resultados. O Georreferenciamento da poligonal implantada foi realizada com a utilização de receptores de dupla frequência L1 e L2 no modo GNSS PPP. Este último método espacial foi escolhido inicialmente uma vez que este modo pode ser utilizado quando não existem bases de apoio passivas ou ativas nas imediações da implantação das redes.

O uso combinado da estação total e dos receptores GNSS é essencial para a comparação dos resultados obtidos em ambos levantamentos e minimização de erros sistemáticos, pois enquanto a estação total traz medições precisas de ângulos e distâncias em áreas com visibilidade direta, o GNSS traz coordenadas precisas sem a necessidade de visada entre os pontos, sendo útil em levantamentos de grande escala e em locais de difícil acesso (Cruz et al., 2025).

A comparação e compatibilização dos métodos topográfico e geodésico, que apesar de se correlacionarem são diferentes, é essencial para análise da eficiência e a acurácia de cada método. O método topográfico com o uso da estação total tem a finalidade de medir pequenas áreas desprezando a curvatura terrestre. O método geodésico com o uso de GNSS, no entanto, é aplicado ao levantamento de grandes áreas, levando em consideração um elipsóide de revolução. Ambas as técnicas são vinculadas a um Sistema Geodésico de Referência (SGR), que para o Brasil é utilizado o SIRGAS2000, na época 2000,4 (IBGE, 2005).

Neste trabalho são apresentados os passos necessários para a medição, análise dos dados coletados, processamento e conversão das coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL), considerando os dois sistemas de medição, o primeiro realizado com estação total e o segundo com receptores GNSS. Embora a área de estudo seja uma área rica em pontos de apoio geodésico, optou-se nessa primeira situação evidenciar o cuidado que se deve ter quando são

realizadas medições no modo PPP considerando o tempo de rastreamento de acordo com a norma IBGE (2020) para obtenção de precisão milimétrica.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos envolvendo a temática de redes geodésicas aplicadas para o cadastro rural e cadastro urbano, com propostas para levantamento das parcelas territoriais, como por exemplo, Bonifácio et al. (2006 e 2007), Gama et al. (2012 e 2015), Camilo Neto & Seixas. (2021) e Naves et al. (2022). Mesmo assim, é importante esta discussão, uma vez que, novos modos de levantamentos GNSS estão mais aprimorados e normas de levantamentos geodésicos (IBGE, 2017), e normas de levantamentos topográficos e de redes de referências cadastrais foram atualizadas (NBR 13133 (2021) e NBR 14166 (2022)), assim como a norma do INCRA de georreferenciamento de imóvel rural (2022) e depois do REALT 2018 do IBGE foi definido um modelo hgeoHnor desenvolvido para a conversão altimétrica de altitudes geométricas em altitudes normais definido também pelo IBGE. O que mostra outras possibilidades de metodologias de levantamentos cadastrais e integração de técnicas terrestres, espaciais e aéreas aprimoradas e desenvolvidas envolvendo as Ciências Geodésicas e Cartográficas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os recursos tecnológicos, a área de estudo e os métodos empregados.

2.1 Recursos Tecnológicos

Abaixo estão apresentados os equipamentos utilizados com suas respectivas especificações.

2.1.1 Estação Total GD2i – Geodetic

A leitura com prisma, como mostra tem precisão linear de $\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$ e sem o prisma de $\pm(5\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$. A precisão da medição angular especificada no equipamento é de $\pm 2''$. (CPEtecnologia, 2025).

2.1.2 Receptores GNSS i50 CHC

Trata-se de um equipamento de dimensões reduzidas e especificações para operação em condições adversas, com tecnologia RTK Full GNSS e rastreamento de múltiplos sistemas (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou e QZSS). Possuem 624 canais, garantindo maior confiabilidade e precisão nas medições, com precisão horizontal de $3\text{ mm} + 0,5\text{ ppm} \times D$ e vertical de $5\text{ mm} + 0,5\text{ ppm} \times D$ (CHCNAV, 2025).

2.1.3 Receptor GNSS Hiper V – Topcon

Este modelo conta com 226 canais para rastreamento das constelações GPS e GLONASS nas portadoras L1, L2, L2C e SBAS, com precisão horizontal de $3\text{ mm} + 1\text{ ppm} \times D$ e vertical de $15\text{ mm} + 1\text{ ppm} \times D$ (Topcon, 2025), permitindo a determinação de coordenadas cartesianas geocêntricas precisas a partir de observações de satélites espaciais (Topcon, 2025).

2.1.4 Software AstGeoTop

O software AstGeoTop (Garnés, 2025), utilizado para o processamento dos dados obtidos com a estação total, apresenta diversos módulos de cálculo que permitem a análise dos dados

coletados, o processamento dos dados, a compensação pelo MMQ, o georreferenciamento de estruturas, a conversão de coordenadas planas em geodésicas e vice-versa, assim como o controle de redes topográficas de precisão. Além disso, este software também foi utilizado para converter as coordenadas geodésicas obtidas com os receptores em coordenadas planas no SGL. Estes módulos oferecem recursos que auxiliam na detecção de inconsistências, na otimização do tempo de processamento e na integração de técnicas topográficas e geodésicas, possibilitando maior confiabilidade nos levantamentos.

2.1.5 Serviços

A plataforma online do IBGE-PPP (IBGE, 2025) foi empregada para o pós-processamento dos dados GNSS, possibilitando a obtenção de coordenadas com alta precisão e contribuindo para a integração entre diferentes técnicas de levantamento.

2.2 Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na estrutura de curtos alcances composta por pilares, localizada no Laboratório de Topografia (LATOP) e no Laboratório de Metrologia e Posicionamento Espacial (LAMEP), próximos à fachada de calibração de câmeras de pequeno formato e à uma das áreas destinada à aplicação de métodos geodésicos de monitoramento de estruturas da UFPE – Campus Recife, Figura 1.



Figura 1. Área de Estudo - Campus Joaquim Amazonas – UFPE

As observações foram feitas nos quatro pilares com centragem fixa, os quais são intervisíveis e apresentam pequenas distâncias entre si.

2.3 Métodos

O trabalho foi estruturado em duas fases principais. Na Figura 2 estão apresentados os passos da metodologia aplicada descrita nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3.

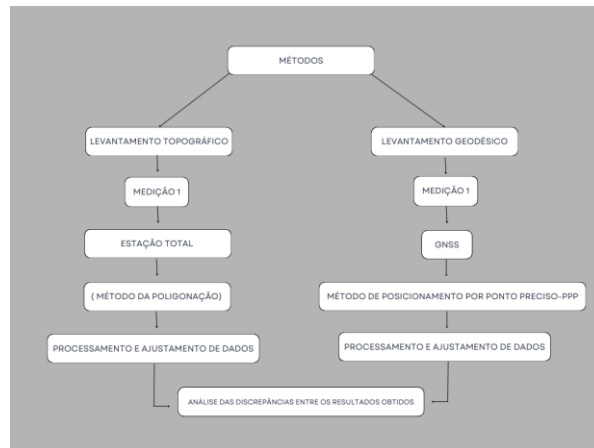


Figura 2. Fluxograma dos métodos
Fonte: Os autores (2025)

2.3.1 Levantamento Topográfico – Estação Total

Na primeira fase, as observações tridimensionais foram feitas com estação total e prismas, empregando o método das direções com observações conjugadas PD e PI em um polígono de quatro vértices, seguindo o caminhamento no sentido anti-horário. Foram realizadas três séries de medições com o equipamento ajustado nos ângulos de 0° , 60° e 120° . Inicialmente, a estação total foi instalada sobre o pilar E1, enquanto os demais pilares (E2, E3 e E4) receberam os prismas como alvos. A primeira série de medições consistiu na leitura dos três prismas a partir do ângulo de 0° . Em seguida, o equipamento foi girado em 180° no sentido contrário, e as observações foram repetidas no sentido anti-horário. Esse mesmo procedimento foi realizado para os ângulos de 60° e 120° . Posteriormente, a estação total foi reposicionada sucessivamente nos pilares E2, E3 e E4, repetindo o mesmo processo de medição descrito para o pilar E1.

2.3.2 Levantamento Geodésico – Receptores GNSS

Na segunda fase, foram empregados quatro receptores GNSS de dupla frequência, instalados de forma independente nos pilares E1, E2, E3 e E4, como demonstrado na Figura 4, garantindo rastreamento contínuo dos sinais dos satélites e maior confiabilidade na determinação das coordenadas. Após o levantamento, os dados foram transferidos a partir dos cartões de memória de cada equipamento. Nos pilares E1 e E2 foram utilizados receptores CHC i50, configurados com intervalo de observação de 1 segundo, enquanto nos pilares E3 e E4 foram posicionados os receptores HIPER V, com intervalo de 1 segundo em E3 e 5 segundos em E4. Na Figura 3 visualiza-se possíveis obstruções aos sinais GNSS, comuns em áreas urbanas.



Figura 3. Receptores GNSS instaladas nos pilares

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Processamento e ajustamento dos dados – AstGeoTop

O software AstGeoTop possui alguns módulos específicos. O primeiro módulo do software utilizado foi o “Módulo de Cálculo de Ângulos Horizontais e Zenitais Versão 2012.06.08” resultando na média das 3 séries observadas. O segundo módulo utilizado foi o “Planialtimetria© Versão 2013.04.25” com o gerreferenciamento da poligonal implantada no SGL do Campus Recife da UFPE, o terceiro módulo foi o “Lev. Planimétrico©Versão 2012.11.11” com o cálculo da poligonal pelo MMQ, o quarto módulo utilizado foi de “Transformações das coordenadas” geodésicas (latitude, longitude e altitude geodésica) para coordenadas planas no SGL. E após a obtenção das coordenadas no SGL provindos das duas técnicas de medição, utilizou-se um quinto módulo para a conversão das coordenadas retangulares no SGL para azimutes e distâncias (“Coordenadas Retangulares para azimutes e distâncias”) indicadas no item 3.2.

No **primeiro módulo** foi utilizado apenas a primeira medição para apresentação das fases do módulo, a caderneta de entrada de dados do módulo foi preenchida com os dados coletados com base na metodologia utilizada, permitindo a escolha do número de séries e de alvos. Em seguida, foram inseridos os dados das direções horizontais e ângulos verticais. O módulo computacional então calcula as médias de cada direção horizontal e ângulo vertical por série. O Módulo contém algumas fases para o cálculo dos dados como a primeira fase do módulo que calcula a média das 3 séries de cada estação exceto a estação 2 que foi considerado apenas 2 séries, como os valores mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da Primeira Fase Discrepâncias Ângulos Horizontais e Zenitais

Est	Séries	Discrepância de ângulos horizontais				Discrepância de ângulos zenitais			
1	1	7,00"	4,00"	5,33"	1,53"	23,00"	11,00"	15,67"	6,43"
	2	5,00"	-5,00"	1,00"	5,29"	44,00"	25,00"	34,00"	34,00"
	3	3,00"	-5,00"	-1,67"	4,16"	50,00"	7,00"	28,00"	21,52"
2	1	12,00"	-10,00"	2,67"	11,37"	64,00"	59,00"	61,00"	2,65"
	2	22,00"	-3,00"	6,33"	13,65"	74,00"	60,00"	66,33"	7,09"
	3	-1,00"	-15,00"	-8,33"	7,02"	68,00"	53,00"	62,00"	7,94"
3	1	-4,00"	-12,00"	-7,33"	4,16"	103,00"	69,00"	83,33"	17,62"
	2	-1,00"	-4,00"	-2,33"	1,53"	81,00"	73,00"	73,67"	4,04"
	3	-1,00"	-3,00"	-2,00"	1,00"	72,00"	66,00"	68,33"	3,21"
4	1	11,00"	0,00"	4,33"	5,86"	92,00"	61,00"	79,67"	16,44"
	2	7,00"	-11,00"	-4,33"	9,87"	97,00"	84,00"	91,33"	6,66"

Fonte: Adaptado AstGeoTop (2025)

A segunda fase realiza a verificação de discrepâncias entre os valores observados e as médias obtidas como os valores demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da Segunda Fase Ângulos Ajustados por Mínimos Quadrados

Est	Ângulos Horizontais ajustados por MMQ			Ângulos zenitais ajustados por MMQ		
E1	X0	0°00'00,0"	± 0,0"	Z1	89°10'48,7"	±4,9"
	X1	31°54'31,8"	± 2,3"	Z2	89°52'10,5"	±4,9"
	X2	124°04'03,8"	± 2,3"	Z3	89°51'39,0"	±4,9"
E2	X0	0°00'00,0"	±0,0"	Z1	89°52'40,5"	±3,5"
	X1	20°48'49,7"	±5,0"	Z2	89°39'49,5"	±3,5"
	X2	54°53'39,2"	±5,0"	Z3	89°54'15,0"	±3,5"
E3	X0	0°00'00,0"	±0,0"	Z1	90°04'53,7"	±5,8"
	X1	32°57'22,5"	±1,9"	Z2	90°02'14,2"	±5,8"
	X2	51°22'06,7"	±1,9"	Z3	89°41'20,0"	±5,8"
E4	X0	0°00'00,0"	±0,0"	Z1	90°08'09,3"	± 5,4"
	X1	94°34'02,2"	±3,0"	Z2	90°15'59,2"	± 5,4"
	X2	129°42'22,8"	±3,0"	Z3	90°28'40,7"	± 5,4"

Fonte: Adaptado AstGeoTop (2025)

A terceira fase trata da consistência interna dos dados, com base nos limites aceitáveis de erro, como os valores demonstrados na Tabela 3 e a quarta fase apresenta os valores finais validados a serem utilizados nas etapas seguintes, como os valores demonstrados na Tabela 4.

Tabela 3. Resultado da Terceira Fase Resíduos Estimados

Estação 1				Estação 2				Estação 3				Estação 4			
D.H		D.V		D.H		D.V		DH		DV		DH		DV	
v1	0°00'00,4"	-0°00'10,8"		v1	0°00'02,1"	-0°00'03,5"		v1	0°00'00,3"	0°00'02,2"		v1	0°00'01,3"	-0°00'00,7"	
v2	-0°00'01,2"	0°00'00,0"		v2	0°00'03,7"	-0°00'03,5"		v2	0°00'01,8"	0°00'00,2"		v2	0°00'01,1"	0°00'01,3"	
v3	0°00'00,8"	0°00'04,5"		v3	-0°00'05,8"	0°00'00,5"		v3	-0°00'02,1"	0°00'01,5"		v3	-0°00'02,4"	-0°00'05,3"	
v4	0°00'00,8"	0°00'07,2"		v4	0°00'00,6"	-0°00'03,5"		v4	-0°00'01,2"	-0°00'06,3"		v4	-0°00'01,3"	0°00'00,7"	
v5	-0°00'02,4"	0°00'01,0"		v5	-0°00'06,8"	0°00'04,5"		v5	-0°00'01,7"	0°00'10,7"		v5	0°00'01,1"	0°00'01,3"	
v6	0°00'01,6"	-0°00'02,0"		v6	0°00'06,2"	0°00'00,5"		v6	0°00'02,9"	0°00'00,5"		v6	0°00'02,4"	0°00'05,3"	
v7	-0°00'01,2"	0°00'03,7"		v7	-0°00'02,6"	0°00'07,0"		v7	0°00'00,9"	0°00'04,2"		v7	0°00'01,3"	-0°00'00,7"	
v8	0°00'03,6"	-0°00'01,0"		v8	0°00'03,1"	-0°00'01,0"		v8	-0°00'00,1"	-0°00'10,8"		v8	0°00'01,1"	0°00'00,7"	
v9	-0°00'02,4"	-0°00'02,5"		v9	-0°00'00,4"	-0°00'01,0"		v9	-0°00'00,9"	-0°00'02,0"		v9	-0°00'02,4"	-0°00'05,3"	

Fonte: Adaptado AstGeoTop (2025)

Tabela 4. Resultado da quarta fase classificação da precisão angular horizontal e vertical

Estação	Desvio padrão horizontal	Desvio padrão vertical
1	2,8"	8,5"
2	6,2"	6,0"
3	2,4"	10,0"
4	3,0"	7,7"

Fonte: Adaptado AstGeoTop (2025)

No **segundo módulo** a caderneta de entrada foi preenchida com os dados coletados com base na metodologia utilizada, permitindo a escolha do número de séries e de alvos (Tabela 5). Os dados coletados em campo foram inseridos no software, iniciando pela organização das observações no formato compatível (Tabela 5), seguida da redução dos ângulos à Ré, com origem no ponto de ré (Tabela 6), e do cálculo dos ângulos médios reduzidos (Tabela 7).

Tabela 5. Início da Primeira Fase (Organização dos dados no formato AstGeoTop)

***** Início da Primeira Fase (Organização dos dados no formato AstGeoTop) *****									
EST	RÉ	ANG HOR	dist Hor	dh	VANTE	ANG HOR	dist Hor	dh	PD/PI
E1	E4	0°00'00,0"	3,312	0,066	E2	124°03'40,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	180°00'05,0"	3,311	0,064	E2	304°03'33,0"	5,367	0,024	PI
E1	E4	60°00'00,0"	3,312	0,066	E2	184°03'36,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	240°00'01,0"	3,311	0,064	E2	4°03'35,0"	5,367	0,024	PI
E1	E4	120°00'00,0"	3,313	0,066	E2	244°03'31,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	299°59'54,0"	3,311	0,064	E2	64°03'33,0"	5,367	0,024	PI
E2	E1	359°59'58,0"	5,366	-0,002	E3	54°52'05,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	179°59'57,0"	5,365	-0,003	E3	234°52'02,0"	9,860	0,013	PI
E2	E1	60°00'00,0"	5,366	-0,002	E3	114°52'13,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	239°59'57,0"	5,365	-0,097	E3	294°52'09,0"	9,860	0,012	PI
E2	E1	119°59'55,0"	5,366	-0,002	E3	174°51'54,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	299°59'49,0"	5,366	-0,004	E3	354°51'47,0"	9,860	0,012	PI
E3	E2	0°00'00,0"	9,858	-0,010	E4	51°22'09,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	179°59'52,0"	9,858	-0,014	E4	231°22'11,0"	5,541	0,022	PI
E3	E2	60°00'00,0"	9,859	-0,010	E4	111°22'08,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	239°59'59,0"	9,859	-0,013	E4	291°22'11,0"	5,541	0,022	PI
E3	E2	120°00'00,0"	9,859	-0,010	E4	171°22'21,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	300°00'02,0"	9,859	-0,013	E4	351°22'19,0"	5,541	0,022	PI
E4	E3	359°59'58,0"	5,541	-0,017	E1	129°40'37,0"	3,310	-0,033	PD
E4	E3	179°59'59,0"	5,542	-0,020	E1	309°40'32,0"	3,309	-0,035	PI
E4	E3	60°00'01,0"	5,541	-0,018	E1	189°40'33,0"	3,310	-0,033	PD
E4	E3	239°59'55,0"	5,542	-0,019	E1	9°40'28,0"	3,309	-0,035	PI
E4	E3	120°00'00,0"	5,541	-0,017	E1	249°40'31,0"	3,310	-0,034	PD
E4	E3	299°59'59,0"	5,542	-0,020	E1	69°40'38,0"	3,309	-0,035	PI

----- Fim da Primeira Fase -----

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

Tabela 6. Início da Segunda Fase (Redução dos ângulos à Ré = Origem no Ponto de Ré)

***** Início da Segunda Fase (Redução dos ângulos à Ré = Origem no Ponto de Ré) *****									
EST	RÉ	ANG HOR	dist Hor	dh	VANTE	ANG HOR	dist Hor	dh	PD/PI
E1	E4	0°00'00,0"	3,312	0,066	E2	124°03'40,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	0°00'00,0"	3,311	0,064	E2	124°03'28,0"	5,367	0,024	PI
E1	E4	0°00'00,0"	3,312	0,066	E2	124°03'36,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	0°00'00,0"	3,311	0,064	E2	124°03'34,0"	5,367	0,024	PI
E1	E4	0°00'00,0"	3,313	0,066	E2	124°03'31,0"	5,366	0,026	PD
E1	E4	0°00'00,0"	3,311	0,064	E2	124°03'39,0"	5,367	0,024	PI
E2	E1	0°00'00,0"	5,366	-0,002	E3	54°52'07,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	0°00'00,0"	5,365	-0,003	E3	54°52'05,0"	9,860	0,013	PI
E2	E1	0°00'00,0"	5,366	-0,002	E3	54°52'13,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	0°00'00,0"	5,365	-0,097	E3	54°52'12,0"	9,860	0,012	PI
E2	E1	0°00'00,0"	5,366	-0,002	E3	54°51'59,0"	9,860	0,015	PD
E2	E1	0°00'00,0"	5,366	-0,004	E3	54°51'58,0"	9,860	0,012	PI
E3	E2	0°00'00,0"	9,858	-0,010	E4	51°22'09,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	0°00'00,0"	9,858	-0,014	E4	51°22'19,0"	5,541	0,022	PI
E3	E2	0°00'00,0"	9,859	-0,010	E4	51°22'08,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	0°00'00,0"	9,859	-0,013	E4	51°22'12,0"	5,541	0,022	PI
E3	E2	0°00'00,0"	9,859	-0,010	E4	51°22'21,0"	5,540	0,024	PD
E3	E2	0°00'00,0"	9,859	-0,013	E4	51°22'17,0"	5,541	0,022	PI
E4	E3	0°00'00,0"	5,541	-0,017	E1	129°40'39,0"	3,310	-0,033	PD
E4	E3	0°00'00,0"	5,542	-0,020	E1	129°40'33,0"	3,309	-0,035	PI
E4	E3	0°00'00,0"	5,541	-0,018	E1	129°40'32,0"	3,310	-0,033	PD
E4	E3	0°00'00,0"	5,542	-0,019	E1	129°40'33,0"	3,309	-0,035	PI
E4	E3	0°00'00,0"	5,541	-0,017	E1	129°40'31,0"	3,310	-0,034	PD
E4	E3	0°00'00,0"	5,542	-0,020	E1	129°40'39,0"	3,309	-0,035	PI

----- Fim da Segunda Fase -----

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

Tabela 7. Início da Terceira Fase (Ângulos Médios Reduzidos)

***** Início da Terceira Fase (Ângulos Médios Reduzidos) *****								
EST	RÉ	ANG HOR	dist Hor	dh	VANTE	ANG HOR	dist Hor	dh
E1	E4	0°00'00,0"	3,312	0,065	E2	124°03'34,7"	5,366	0,025
E2	E1	0°00'00,0"	5,366	-0,018	E3	54°52'05,7"	9,860	0,014
E3	E2	0°00'00,0"	9,859	-0,012	E4	51°22'14,3"	5,540	0,023
E4	E3	0°00'00,0"	5,542	-0,018	E1	129°40'34,5"	3,309	-0,034

----- Fim da Terceira Fase -----

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

A poligonal foi classificada como fechada, com 4 vértices, sem pontos irradiados, soma angular de 359°58'29,2" e perímetro de 24,0775 m. O erro de fechamento angular foi de -0°01'30,8", e os erros lineares sem compensação foram baixos, com $E_x = 0,0030$ m, $E_y = 0,0004$ m, erro linear horizontal de 0,0031 m e precisão relativa de 1/7834,36, indicando a classificação IIIP da poligonal.

A Figura 4, apresenta a caderneta do módulo onde é possível pôr os parâmetros de georreferenciamento. Neste trabalho utilizou-se as estações E2 e E3 como referência, por apresentarem menores valores de desvios padrão para as incertezas das coordenadas obtidas com o modo GNSS PPP (item 3.2).

Figura 4. Georreferenciamento

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

A planilha topográfica de cálculo analítico (Tabela 8) apresentou os ângulos, distâncias, azimutes, coordenadas parciais e totais em X, Y e H para todos os vértices da poligonal, e os resultados consolidados do módulo confirmaram a coerência dos dados processados, servindo de base para as etapas seguintes do trabalho. Ressalta-se aqui, que a altitude dos pilares utilizados ainda não está vinculada ao Datum Vertical de Imbituba - SC. As altitudes utilizadas são as geodésicas, providas do Levantamento GNSS.

Tabela 8. Planilha Topográfica de Cálculo Analítico – Poligonal Fechada

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coordenadas Parciais		Coordenadas Totais Tridimensionais		
					X	Y	X	Y	H
E1	E2	124°03'34,7"	5,366	219°35'22,5"	-3,4197	-4,1352	149680,0946	249590,1726	4,9180
E2	E3	54°52'05,7"	9,860	94°27'28,2"	9,8302	-0,7664	149676,6749	249586,0374	4,9400
E3	E4	51°22'14,3"	5,541	325°49'42,5"	-3,1122	4,5844	149686,5051	249585,2710	4,9530
E4	E1	129°40'34,5"	3,311	275°30'17,0"	-3,2952	0,3176	149683,3929	249589,8554	4,9740

S. ang = 359°58'29,2" Ex=0,0030 Ey=0,0004

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

No **terceiro módulo** foi utilizado para o cálculo das coordenadas dos vértices da rede por meio do método da poligonação, composto por seis fases, nas quais os dados coletados em campo foram organizados e processados. Na primeira fase (Tabela 9), foram determinados os vetores dos resíduos do ajustamento ($V = AX - L$), indicando pequenas variações angulares e distâncias residuais.

A segunda fase (Tabela 10) fornece os parâmetros ajustados com seus respectivos desvios-padrão e erros posicionais, evidenciando boa precisão nas coordenadas dos pontos.

Tabela 9. Resultado da primeira fase vetor dos resíduos do ajustamento ($V = AX - L$)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância
E1	E2	34,7226"	0,0016
E2	E3	11,4386"	-0,0013
E3	E4	10,8498"	-0,0001
E4	E1	33,7890"	0,0013

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

Tabela 10. Resultado da segunda fase parâmetros ajustados X_a , Desvios-padrão e Erro Posicional ($1 \cdot \sigma$)

Est.	X (m)	SigmaX (m)	Y (m)	SigmaY (m)	P. Posição (m)
E1	149680,0955	0,0000	249590,1741	0,0000	0,0000
E2	149676,6750	0,0042	249586,0374	0,0051	0,0066
E3	149686,5039	0,0079	249585,2712	0,0055	0,0096
E4	149683,3919	0,0089	249589,8557	0,0010	0,0089

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

A terceira fase (Tabela 11) apresentou os ângulos e distâncias ajustados com base em seus desvios padrão.

Tabela 11. Resultado da terceira fase observações ajustadas L_a e Desvios-padrão ($1 \cdot \sigma$)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Sigma Âng. "	Distância (m)	Sig. Dist. (m)
E1	E2	124°04'08,8"	25,6525	5,368	0,0066
E2	E3	54°52'16,3"	17,5132	9,859	0,0089
E3	E4	51°22'24,9"	17,2138	5,541	0,0070
E4	E1	129°41'10,0"	25,5377	3,312	0,0089

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

Na quarta fase (Tabela 12), os elementos da poligonal foram ajustados pelo método dos Mínimos Quadrados (MMQ), com obtenção das coordenadas totais ajustadas e, ao final, a poligonal apresentou perímetro de 24,080 m e área de 28,701 m².

Tabela 12. Resultado da quarta fase com elementos da poligonal ajustados por MMQ

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
E1	E2	124°04'08,8"	5,368	219°35'10,4"	149680,0955	249590,1741
E2	E3	54°52'16,3"	9,859	94°27'26,7"	149676,6750	249586,0374
E3	E4	51°22'24,9"	5,541	325°49'51,5"	149686,5039	249585,2712
E4	E1	129°41'10,0"	3,312	275°31'01,5"	149683,3919	249589,8557

Perímetro = 24,080 m
 Área = 28,701 m²
 Área = 0,0028701 ha
 Área = 0,0011860 Alq.SP

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

A quinta fase (Tabela 13) aplicou o método tradicional para novo ajuste, mantendo as coordenadas similares, e resultando em perímetro de 24,077 m e área de 28,695 m².

Na sexta e última fase (Tabela 14), foram analisadas as discrepâncias entre os métodos MMQ e tradicional, revelando diferenças mínimas nos ângulos, distâncias, azimutes e coordenadas, com um desvio final de perímetro de 0,003 m e de área de 0,006 m², confirmando a qualidade do ajustamento.

Tabela 13. Resultado da quinta fase do módulo com elementos da poligonal ajustados pelo método tradicional.

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
E1	E2	124°04'35,4"	5,367	219°35'10,0"	149680,0955	249590,1741
E2	E3	54°52'15,0"	9,858	94°27'25,0"	149676,6756	249586,0381
E3	E4	51°21'46,5"	5,541	325°49'11,5"	149686,5043	249585,2720
E4	E1	129°41'23,1"	3,311	275°30'34,6"	149683,3912	249589,8562

Perímetro = 24,077 m
 Área = 28,695 m²

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

Tabela 14. Planilha de Discrepâncias do ajustamento (MMQ - Método Tradicional).

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
E1	E2	-0°00'26,6"	0,001	0°00'00,4"	0,0000	0,0000
E2	E3	0°00'01,3"	0,000	0°00'01,6"	-0,0006	-0,0007
E3	E4	0°00'38,4"	0,000	0°00'40,0"	-0,0004	-0,0008
E4	E1	-0°00'13,0"	0,001	0°00'27,0"	0,0007	-0,0005

Perímetro = 0,003 m
 Área = 0,006 m²

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

O **quarto módulo** do software Coordenadas Retangulares em Azimute e Distâncias provenientes da estação total no SGL, como demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15. Cálculos de Ângulos, Azimutes, Rumos, Lados, Área e Perímetro - Estação Total.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Rumo	distância	X	Y
E1	E2	124°04'08,831"	219°35'10,380"	39°35'10"SW	5,368	149680,0955	249590,1741
E2	E3	54°52'16,292"	94°27'26,672"	85°32'33"SE	9,859	149676,6750	249586,0374
E3	E4	51°22'24,874"	325°49'51,546"	34°10'08"NW	5,541	149686,5039	249585,2712
E4	E1	129°41'10,003"	275°31'01,549"	84°28'58"NW	3,312	149683,3919	249589,8557
Perímetro = 24,080 m							
Area = 28,701 m2 0,0028701 ha							

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

3.2 Processamento e ajustamento dos dados – Serviço IBGE PPP

O processamento dos dados obtidos com os receptores GNSS foi realizado, prioritariamente, por meio do método relativo estático, assegurando elevada precisão posicional. No entanto, em situações em que não havia disponibilidade de base local para apoio, adotou-se o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), por meio do serviço on-line do IBGE, como demonstrado na Figura 6. Essa escolha é justificada pelo fato de o PPP permitir a determinação de coordenadas com boa acurácia sem a necessidade de estações de referência locais, conforme já discutido em estudos recentes (Araújo et al., 2025; Cruz et al., 2025).

Este **quinto módulo** tem como objetivo apresentar e aplicar a conversão das coordenadas geodésicas (latitude e longitude) obtidas pelo método GNSS PPP para coordenadas planas no Sistema Geodésico Local (SGL), a fim de realizar o cálculo analítico de distâncias, azimutes e área, como demonstrado na Tabela 16.

Tabela 16. Cálculos de Ângulos, Azimutes, Rumos, Lados, Área e Perímetro - GNSS PPP

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Rumo	distância	X	Y
E1	E2	123°25'37,280"	219°32'45,892"	39°32'46"SW	5,371	149680,095	249590,179
E2	E3	54°54'41,547"	94°27'27,439"	85°32'33"SE	9,920	149676,675	249586,037
E3	E4	51°38'15,599"	326°05'43,038"	33°54'17"NW	5,479	149686,565	249585,266
E4	E1	130°01'25,574"	276°07'08,612"	83°52'51"NW	3,434	149683,509	249589,813
Perímetro = 24,204 m							
Area = 29,003 m2 0,0029003 ha							

Fonte: Software AstGeoTop (2025)

3.3 Análise das discrepâncias entre os resultados obtidos

A comparação entre os métodos terrestre (estação total) e espacial (GNSS PPP) evidenciou discrepâncias significativas nos resultados obtidos. Na análise do modelo 3D georreferenciado, as diferenças variaram de 0,01 cm na coordenada X (vértice E2) até 11,61 cm (vértice E4), enquanto para a coordenada Y a variação foi de 0,04 cm (E2) a 4,24 cm (E4). No modelo 2D ajustado pelo método dos Mínimos Quadrados, as discrepâncias foram

semelhantes, variando de 0,05 cm (vértice E2) a 11,71 cm na coordenada X (vértice E4) e de 0,04 cm (vértice E2) a 4,27 cm na coordenada Y (vértice E4).

Além das coordenadas, também foram observadas diferenças em outros elementos geométricos. Nos ângulos internos, as discrepâncias oscilaram entre 0°38'31,551" (E1) e 0°02'25,255" (E4), comprometendo a consistência angular da poligonal. Quanto às distâncias lineares, a maior diferença foi de 0,122 m no segmento E4–E1 e a menor de 0,003 m em E1–E2. Em termos de área, verificou-se uma diferença de 0,302 m² entre os métodos, sendo 28,701 m² pela estação total e 29,003 m² pelo GNSS PPP. Já o perímetro apresentou discrepância de 0,124 m, com valores de 24,080 m (terrestre) e 24,204 m (espacial).

Esses resultados demonstram que, embora ambos os métodos apresentem elevado nível de precisão, fatores como tempo de rastreamento (6h), obstruções do prédio do CTG e prováveis efeitos de multicaminho comprometeram o desempenho do GNSS PPP, enquanto a estação total, apesar da boa precisão linear e angular, apresentou limitações decorrentes da instrumentação e do erro de fechamento angular. Recomenda-se, portanto, o uso de equipamentos mais avançados, como estações totais robóticas, e métodos espaciais alternativos, como o posicionamento relativo estático com estação base, a fim de reduzir as discrepâncias e garantir maior confiabilidade dos resultados.

Embora o método tenha se mostrado eficiente na definição de redes de alta precisão em áreas de pequena extensão, sua aplicação em áreas urbanas maiores ainda deve ser avaliada, especialmente para atender às demandas de gestão territorial. Trabalhos anteriores, como os de Bonifácio et al. (2007), Gama et al. (2012), Pereira et al. (2014), Camilo Neto et al. (2021) e Naves et al. (2022), já demonstraram experiências bem-sucedidas nesse contexto, reforçando a importância de ampliar o escopo em futuras investigações.

Segundo o Land Administration Domain Model (LADM), a estruturação de dados cadastrais deve seguir padrões que permitam interoperabilidade e integração em diferentes níveis. Estudos nacionais, como os de Purificação (2020) e França et al. (2021), destacam a relevância da aplicação desse modelo em diferentes contextos, evidenciando a necessidade de metodologias que promovam a integração entre dados geodésicos e topográficos.

Embora este estudo não tenha realizado comparações diretas do software AstGeoTop com outros softwares, como o Adjust (Wolf & Ghilani, 1997) e (Niemeier, 2002).

4. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida neste trabalho reafirma a relevância da implantação de redes topográficas de precisão para a Topografia e a Geodésia, destacando a importância da integração entre métodos terrestres e espaciais. Verificou-se que, embora a estação total forneça medições precisas de ângulos e distâncias, e o GNSS PPP proporcione coordenadas com acurácia centimétrica e milimétrica, ainda podem ocorrer discrepâncias significativas em determinados vértices, influenciadas por fatores ambientais e limitações instrumentais. Esses resultados evidenciam a necessidade de rigor metodológico, repetição de medições e exploração de diferentes técnicas de posicionamento GNSS.

Neste artigo, a utilização do software AstGeoTop representou um avanço ao permitir o processamento detalhado da poligonal em suas diversas fases, otimizando a análise, compatibilização e visualização dos resultados obtidos. A comparação entre os métodos mostrou-se fundamental não apenas para a verificação da precisão, mas também para o

fortalecimento das práticas acadêmicas, ao fornecer subsídios concretos para atividades de ensino e pesquisa.

Assim, a combinação dos métodos topográfico e geodésico, associada ao uso de ferramentas computacionais especializadas e alinhada às normas atualizadas, confirma-se como um caminho viável e eficiente para a implantação de redes de referência com alta confiabilidade. Além de contribuir para projetos de cadastro territorial e infraestrutura, essa abordagem reforça o potencial das práticas integradas em Ciências Geodésicas, abrindo perspectivas para novos experimentos em cenários mais complexos e exigentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR - 13133. (2021). Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos.
- ABNT. NBR - 14166. (2022). Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Araujo, J. B.; Cruz, J. C. P.; Seixas, A., Calado, L. G. L. P., & Ramos Junior, I. (2025). Comparação entre Método Terrestre da Poligonação e Método Espacial GNSS PPP na Implantação de Rede Topográfica de Precisão. I Congresso Internacional de Regularização Fundiária & VIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (I CIRF & VIII SIMGEO), Recife, PE, Brazil. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17162402>
- Franca, L. L. S., Seixas, A., Gama, L. F., & Moraes, J. N. (2021). Optimized Determination of 3D Coordinates in the Survey of Inaccessible Points of Buildings - Example of Application Implemented in Free Software. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 27, p. 1-21.
- Bonifácio, M. B., & SÁ, L. A. C. M. (2006). A utilização de Redes Geodésicas para o Cadastro Rural. In: Primeiro Simpósio Geopantanal, Mato Grosso do Sul.
- Bonifácio, M. B., [Seixas, A.](#), & [Carneiro, A. F. T.](#) (2007). Sistemas de medição híbridos aplicados ao georreferenciamento de imóveis. In: V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas e II Simpósio Brasileiro de Geomática, 2007, Presidente Prudente. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas e II Simpósio Brasileiro de Geomática.
- Camilo Neto, R. N. ; Seixas, A. (2021). Metodologia desenvolvida para o posicionamento geodésico de Zona Especial Aeroportuária: Estudo de caso do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre. RBC. REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (ONLINE), v. 73, p. 556-573.
- CHCNAV. (2025). Manual do GPS Centimétrico I50. 68 p. Acessado março 17, 2025. <https://www.manuaislib.com/manual/1598232/Chcnave-I50.html>.
- CPETecnologia. Estação Total Geodetic GD2i-8. Disponível em: <https://www.cpetecnologia.com.br/estacao-totalgeodetic-gd2i-8/p>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- Cruz, J. E. C. P., De Araújo, J. B., Seixas, A., Calado, L. G. L. P., & Ramos Júnior, I. (2025). Compatibilização de Elementos Geométricos de uma Poligonal Implantada por Técnicas de Medição Terrestre e Espacial. I Congresso Internacional de

- Regularização Fundiária & VIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (I CIRF & VIII SIMGEO), Recife, PE, Brazil. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17162485>
- Gama, L. F., [Seixas, A.](#), & Souza, A. M. B. (2012). Implantação e Análise de Estruturas Geodésicas Planimétricas Obtidas por GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 64, p. 227, 2012.
- Gama, L. F.; [Seixas, A.](#), Moraes, J. N., Silva, E. V., & Galvao, T. B. (2015). Controle de Qualidade de Levantamentos Cadastrais para a Homogeneização de Parcelas Territoriais Urbanas. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 67, p. 411-433.
- Garnés, A. (2025) AstGeoTop – Aplicativo para Cálculos Astronômicos, Geodésicos e Topográficos. Versão 2025. [S.l.]: A. Garnés.
<https://www.manualslib.com/manual/817243/Topcon-Hiper-V.html>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- IBGE. (2017). Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Coordenação de Geodésia, Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf. Acesso em: 29 set. 2025.
- IBGE. (2023). Manual do Usuário – IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf> . Acesso em: 29 ago. 2025.
- INCRA. (2022). Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, Segunda Edição, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
- Moraes, J. N., Seixas, A., Garnés, S. J. A., Gama, L. F., & França, L. L. S. (2022). Definição de Vértices de Referência com uso dos Métodos Terrestres de Medição Planialtimétrica com Estação Total (MTMs) e Posicionamento GNSS. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e07111233573, 2022.
- Niemeier, W. (2002). Einführung in die Ausgleichungsrechnung. 2. ed. Berlin/New York: Walter de Gruyter.
- Purificação, N. R. S. (2020). Proposta de modelagem e implementação de um sistema integrado para os cadastros brasileiros e projetos de regularização fundiária urbana de acordo com a ISO 19.152 – LADM. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- TOPCON. (n. d.). Manual do GPS Hiper V. 122 p. Disponível em:
- Wolf, Paul R., & Ghilani, C. D. (1997). Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Juyara Bezerra de Araujo, Janaína Carvalho Peixoto Cruz, Andréa de Seixas, Lucas Gonzales Lima Pereira Calado, Isaac Ramos Junior
 Metrologia Instrumental e Processamento de Dados com AstGeoTop para Redes Topográficas de Precisão

FIG Brazil Joint Land Administration Conference (3DLA2025, UN-Habitat STDm, FIG Commissions 7+8 AM) 3-5 November 2025, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

A autora Juyara tem trabalhos publicados nos *Anais do I CIRF & VIII SIMGEO* (2025), incluindo estudos sobre compatibilização de poligonais, calibração de distanciômetros eletrônicos, topográfico e comparação entre métodos terrestre e GNSS PPP em redes.

CONTATOS

Juyara Bezerra, Janaína Peixoto, Andréa de Seixas, Lucas Gonzales Lima Pereira Calado, Isaac Ramos Junior

Universidade Federal de Pernambuco

Rua Av. da Arquitetura, s/n° CEP- 50740-550 - Cidade Universitária

Recife

BRASIL

Phone: +5581987841229

E-mail: juyara.araujo@ufpe.br, janaina.peixoto@ufpe.br, andrea.seixas@ufpe.br, calado.lucas@ufpe.br, isaacramos@unipampa.edu.br

Website: www.ufpe.br/decart