



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0317446-8 B1



(22) Data do Depósito: 16/12/2003

(45) Data de Concessão: 03/11/2020

(54) Título: PROCESSO E SISTEMA DE NAVEGAÇÃO EM TEMPO REAL, COM O AUXÍLIO DE SINAIS RADIOELÉTRICOS COM TRÊS PORTADORAS EMITIDOS POR SATÉLITES E DE CORREÇÕES IONOSFÉRICAS

(51) Int.Cl.: G01S 5/14.

(30) Prioridade Unionista: 19/12/2002 FR 02 16227.

(73) Titular(es): ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE DITE AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE.

(72) Inventor(es): MANUEL HERNANDEZ-PAJARES; JOSÉ MIGUEL JUAN-ZORNOZA; JAUME SANZ-SUBIRANA; ALBERTO GARCIA-RODRIGUEZ.

(86) Pedido PCT: PCT FR2003050176 de 16/12/2003

(87) Publicação PCT: WO 2004/057364 de 08/07/2004

(85) Data do Início da Fase Nacional: 17/06/2005

(57) Resumo: "PROCESSO E SISTEMA DE NAVEGAÇÃO EM TEMPO REAL, COM O AUXÍLIO DE SINAIS RADIOELÉTRICOS COM TRÊS PORTADORAS EMITIDOS POR SATÉLITES E DE CORREÇÕES IONOSFÉRICAS". A invenção refere-se a um processo de navegação em tempo real para localizar um nômade (SUR) com o auxílio de sinais radioelétricos com três portadoras de três frequências distintas, para determinar a posição de um usuário, emitidos por satélites STA- 1-GPS- E1- a SAT- N- - GPS- EN-). O processo compreende uma primeira etapa de determinação de ambigüidade de fase de portadora de 'trajetória extralonga', uma segunda etapa de estimativa de ambigüidade de fase de 'trajetória longa' e uma terceira etapa de resolução da ambigüidade de fase de uma das frequências. Uma etapa suplementar consiste na aplicação de correções ionosféricas em tempo real, durante a terceira etapa, essas correções ionosféricas sendo baseadas em um modelo ionosférico dessa camada ionosférica continuamente aproveitado e calculado por uma estação terrestre fixa de referência (REF-REF- E-), combinado com dados geodésicos calculados por uma estação terrestre fixa de referência, dita mestra (REF- M--REF- ME-). A invenção refere-se também a um sistema para a aplicação do processo.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO E SISTEMA DE NAVEGAÇÃO EM TEMPO REAL, COM O AUXÍLIO DE SINAIS RADIOELÉTRICOS COM TRÊS PORTADORAS EMITIDOS POR SATÉLITES E DE CORREÇÕES IONOSFÉRICAS"**.

[001] A invenção refere-se a um processo e a um sistema de navegação em tempo real com o auxílio de sinais radioelétricos com três portadoras emitidos por satélites e de correções ionosféricas, mais precisamente correções obtidas com o auxílio de um modelo ionosférico em tempo real, continuamente desenvolvido, o modelo sendo baseado em dados de um sistema de navegação por satélite, por exemplo implementado como um modelo de voxels em três dimensões.

[002] Ela encontra uma aplicação particular, embora não exaustiva, no domínio da navegação instantânea muito precisa, tipicamente com uma precisão inferior ao decímetro conforme será mostrado a seguir, isto em distâncias da ordem de centenas de quilômetros ou mais.

[003] Para fixar as idéias, colocar-se-á no que se segue nesse caso da aplicação preferida da invenção, sem limitar-lhe no que quer que seja seu alcance.

[004] Uma das técnicas atualmente comumente aplicadas para se obter um posicionamento preciso de um "objeto", fixo ou móvel, e, no primeiro caso, dados relativos à sua posição, seu deslocamento, a direção desse deslocamento, e/ou sua velocidade, é de utilizar sinais radioelétricos emitidos por satélites artificiais girando em torno da terra. O termo objeto deve estar compreendido em seu sentido o mais geral, notadamente um veículo terrestre, marítimo ou aéreo. Para simplificar, denominar-se-á "nômade" esse "objeto" no que se segue.

[005] Diversas técnicas são conhecidas para se obter o posicionamento precitado. Elas são notadamente baseadas no conhecimento da posição instantânea de vários satélites no espaço (ou constelação de satélites, esses satélites podendo ser geoestacionários ou não) e

da velocidade de propagação das ondas radioelétricas. Relógios muito precisos são embarcados a bordo dos satélites e os sinais emitidos compreendendo informações horodatadas, o que permite conhecer precisamente também o instante de emissão e de recepção. Então, é possível determinar a distância teórica que separa um satélite com vistas ao nômade em um instante determinado deste, conhecendo a velocidade de propagação das ondas e o tempo gasto para atingir o nômade. Se satélites em número suficiente forem observáveis, poder-se-ão determinar assim as coordenadas do nômade em relação a um referencial, em duas dimensões (longitude e latitude sobre o globo terrestre), até mesmo em três dimensões (longitude, latitude e altitude: vertical).

[006] Todavia, conforme vai ser mostrado, devido ao acúmulo de erros nas medidas devido a diversas causas, as distâncias calculadas são apenas aproximativas e a determinação da posição do nômade sofre de uma imprecisão mais ou menos importante, segundo as tecnologias aplicadas.

[007] Um dos sistemas de navegação por satélite os mais conhecidos é o sistema dito "GPS" para "*Global Positioning system*" ou "Sistema de Posicionamento Mundial".

[008] Classicamente, os satélites GPS (ou de um tipo semelhante) emitem sobre duas faixas de freqüências, geralmente designados L_1 (freqüência de portadora igual a 1,575 GHz) e L_2 (freqüência de portadora igual a 1,227 GHz), daí a qualificação de "dupla freqüência" ou "dual-frequency" que lhe é aplicada.

[009] A utilização dessas duas freqüências, de acordo com certos processos bem-conhecidos do Técnico, permite melhorar a precisão da determinação da posição de um nômade em relação a um referencial, mas necessita dos receptores "GPS" mais complexos e mais onerosos.

[0010] Uma determinação de posições pode ser feita, segundo dois métodos principais: em tempo real ou em tempo diferido, efetuando-se o que é denominado um "*pós-tratamento*". No primeiro caso, fala-se também de resolução "*single-epoch*", segundo a terminologia anglo-saxônica a mais comumente utilizada (termo que será utilizado a seguir) ou de resolução instantânea, os cálculos sendo feitos quando de uma única "*época*" de observação. O segundo método ("pós-tratamento") permite melhorar a precisão. Todavia, se para nômades, que se deslocam lentamente (um navio, por exemplo), este último método não apresenta inconvenientes maiores, ele não será apropriado para nômades que se deslocam muito rapidamente (aeronaves, por exemplo).

[0011] Pode-se ainda melhorar a precisão, combinando os sinais emitidos pelos satélites com sinais provenientes de estações terrestres fixas de referência, cujas posições são perfeitamente conhecidas. Todavia, é necessário, se o nômade percorrer grandes distâncias, que a rede dessas estações seja relativamente densa, sempre no caso de uma grande precisão na determinação da posição do nômade ser desejável, o que aumentará correlativamente o custo do sistema global.

[0012] Além disso, dentre as causas importantes de erros, a refração diferencial ionosférica, caso se considerem distâncias iguais a dezenas de quilômetros ou mais, é um dos problemas principais afetando as capacidades de resolução instantânea de ambigüidade de fase de portadora, e por conseguinte a possibilidade de fornecer uma navegação, cuja precisão é da ordem do centímetro com os sistemas satélites de navegação mundial com dupla freqüência, tais como o sistema "GPS" precitado. Essa característica permanecerá verdadeira no que refere-se aos futuros sistemas que utilizam três freqüências, como o sistema GALILEO e o sistema "GPS" modernizado.

[0013] Com efeito, os sistemas de navegação satélites com três

portadoras em curso de planejamento oferecem as vantagens potenciais de uma taxa elevada de alcance da resolução instantânea de ambigüidade e de integridade nesta, com uma quantidade de cálculos geodésicos mínima. Isto é devido notadamente ao fato de se dispor simultaneamente de um número mais importante de dados distintos (isto é, associadas às três frequências precitadas), o que melhora correlativamente as chances de obter uma resolução de ambigüidade instantânea ("*single-epoch*").

[0014] Mas, de novo, essa resolução pode ser seriamente afetada pela refração ionosférica, conforme detalhado a seguir.

[0015] Para atingir precisões elevadas na determinação instantânea da posição de um nômade, notadamente de um nômade que se desloca em grandes distâncias, a necessidade continua portanto a se fazer sentir de aplicar técnicas que permitam, notadamente, reduzir a influência nefasta da refração ionosférica.

[0016] No estado da técnica, processos visando a responder a essa necessidade foram propostos.

[0017] Pode-se citar notadamente o processo, dito "TCAR", de resolução de ambigüidade com três portadoras. Esse processo é descrito no artigo intitulado: *ANALYSIS OF THREE-CARRIER AMBIGUITY RESOLUTION (TCAR) TECHNIQUE FOR PRECISE RELATIVE POSITIONNING IN GNSS-2*, de U. VOLLATH et al., publicado em *Proceedings of the ION-GPS*, 1998, IX-O-13, páginas 1-6.

[0018] Pode-se também citar o processo, dito "CIR", de resolução de números inteiros em cascata. Esse processo é descrito no artigo de Jaewo JUNG et., intitulado *Optimization of Cascade Integer Resolution with three Civil GPS Frequencies*, publicado em *Proceedings of the ION-GPS 2000*.

[0019] Essas duas técnicas dividem uma abordagem de base semelhante: as ambigüidades de dupla diferença de números inteiros

são sucessivamente resolvidas, calculando-se batimentos de frequências de ondas. Esse cálculo é feito, partindo do batimento do comprimento de onda o mais elevado ao mais curto, incluindo combinações de fase de portadoras de trajetórias ditas "longa" e "extra longa" (com comprimentos de onda de 7,480 m e de 0,862 m, respectivamente) e uma primeira portadora à "frequência L_1 " (com um comprimento de onda de 0,190 m).

[0020] Em particular, o processo "TCAR" constitui uma abordagem simples que tenta resolver instantaneamente ("*single-epoch*") o conjunto completo das ambigüidades. Mas os desempenhos de TCAR são muito afetados pela descorrelação ionosférica de refração que se produz com a distância. Com efeito, conforme detalhado a seguir, o retardo de ionosfera é um problema quando (como, além disso, no caso dos sistemas com duas frequências) o valor de sua dupla diferencial é superior a 0,26 TECU (o que corresponde a 4 cm de retardo para L_1).

[0021] "TECU" é uma unidade utilizada para descrever certas características elétricas da ionosfera. Com efeito, a ionosfera pode ser descrita com o auxílio de um mapa que representa uma contagem de número total de elétrons, ou TEC (para Total Electron Content). O mapa representa a integração do número de elétrons segundo uma direção vertical como uma função da latitude e da longitude. A unidade de "TEC" é denominada "TECU" (para "TEC's Units"), com $1 \text{ TECU} = 10^{16}$ elétrons contidos em um cilindro alinhado sobre a linha de observação de um satélite observado, cuja seção é de 1 m^2 . As partículas carregadas da ionosfera são geradas pelo sol, cuja intensidade da radiação varia naturalmente em função da hora considerada. Devido ao fato da terra girar em torno de seu eixo, sob a camada ionosférica, o mapa "TEC" é habitualmente considerado como representando uma referência fixa em relação ao sol, mas mutável em função da hora.

[0022] O limite lembrado acima pode ser facilmente ultrapassado,

como é possível constatar, consultando mapas ionosféricos ("TEC") de retardos verticais calculados a partir dos dados "GPS". Esses mapas são editados, a título de exemplo pelo *Jet Propulsion Laboratory*, a universidade de Berna, etc, e publicadas na Internet pela *University Corporation for Atmospheric Research* e outros organismos semelhantes.

[0023] Em conseqüência, com vistas a melhorar ainda o processo "TCAR", uma abordagem integrada dita "ITCAR" (para "Integrated TCAR") foi desenvolvida. Essa técnica é descrita, por exemplo, no artigo de VOLLATH et al. precitado.

[0024] Essa técnica recorre a algoritmos de pesquisa e a um filtro de navegação, nos quais as ambigüidades fazem parte dos sinais de saída e os erros residuais ionosféricos são grosseiramente estimados. Para uma descrição mais detalhada das técnicas aplicadas, reportar-se-á com proveito a esse artigo.

[0025] Todavia, embora trazendo uma melhoria significativa, a técnica "ITCAR" continua todavia afetada pela falta de conhecimento da dupla diferença de refração ionosférica, limitando assim a taxa de alcance da resolução de ambigüidade para distâncias superiores a algumas dezenas de quilômetros, conforme descrito no artigo de VOLLATH et al., intitulado *Ambiguity Resolution using Three Carriers – Performance Analysing using "Real" Data*, publicado em "*GNSS Symposium*", Sevilha, maio de 2001.

[0026] Foi também proposto, sempre com a finalidade de melhorar a precisão da determinação da posição de um nômade em relação a um referencial, combinar um modelo ionosférico em tempo real da ionosfera, obtido a partir de dados de duas freqüências (*dual frequency*) geradas por uma rede de estações fixas, com dados de um programa geodésico, e utilizar tais dados para fazer correções ionosféricas. Esse processo foi aplicado com um certo excesso para resolver ambigüida-

des em tempo real nos sistemas com duas frequências do tipo "GPS".

[0027] Um processo desse tipo, dito "WARTK" (para "Wide Area Real-Time Kinematics") ou cinemática em tempo real sobre amplas extensões) é, por exemplo, descrito no artigo Hernández-Pajares et al., intitulado "*Tomographic modeling of GNSS ionospheric corrections: Assessment and real-time applications*", publicado em "ION GPS", 19-22 de setembro de 2000, páginas 616-625. Esse processo permite, certamente, atenuar os efeitos nefastos das perturbações sofridas pelas ondas radioelétricas que se propagam na ionosfera e, por conseguinte, melhorar muito sensivelmente a taxa de alcance da resolução de ambigüidade de fase e a precisão da determinação da posição de um nômade em relação a um referencial, mas necessita de uma quantidade de cálculos importante para estabelecer o modelo precitado em tempo real e determinar, também em tempo real, as correções ionosféricas a fornecer às medidas de distâncias.

[0028] A invenção visa a prevenir os inconvenientes dos processos e sistemas da técnica conhecida, dos quais alguns acabam de ser lembrados.

[0029] A invenção tem como finalidade um processo de navegação em tempo real, muito preciso (determinação da posição de um nômade tipicamente melhor do que o decímetro) com o auxílio de sinais radioelétricos com três portadoras emitidos por satélites e de correções ionosféricas obtidas a partir de dados de um modelo de descrição ionosférica de uma região atravessada pela radiação radioelétrica, combinado a dados geodésicos.

[0030] Para isto, de acordo com uma primeira característica importante da invenção, um processo simples de resolução instantânea ("*single-epoch*") de ambigüidades de fases de três portadoras emitida por satélites, do tipo "TCAR" precitado é utilizado. Correções ionosféricas precisas em tempo real, baseadas em um modelo de descrição

ionosférica, são geradas por estações fixas de referência. Essas correções ionosféricas são transmitidas aos usuários que as incorporam a "TCAR".

[0031] A invenção apresenta vantagens importantes.

[0032] As disposições, próprias à invenção, permitem obter melhores desempenhos que o processo "ITCAR" em longas distâncias, a uma posição muito afastada da estação de referência o mais próximo. O processo, de acordo com a invenção, permite tipicamente a resolução instantânea de mais de 90% das ambigüidades a mais de 100 quilômetros dessa estação e praticamente de 100% para um afastamento da ordem de 60 km, isto em um cenário de funcionamento pouco favorável: valores ionosféricos baixos e condições de ensolamento máximo. Os processos da técnica conhecida, utilizando três frequências permitem somente, em condições comparáveis, uma taxa de sucesso tipicamente da ordem de 60%.

[0033] Concebe-se facilmente que esta última característica seja muito interessante, pois ela não necessita da instalação de uma rede de estações terrestres fixas de referência muito densa (estações afastadas umas das outras da ordem de uma centena de quilômetros). Segue-se um ganho global muito importante: no caso da Europa, por exemplo, para abranger esse continente, é possível economizar 99% de estações de referência em relação a uma rede, cujas estações de referência seriam somente afastadas de uma distância da ordem de uma dezena de quilômetros umas das outras, conservando uma mesma precisão na determinação da posição de um nômade que aquela obtida pelos processos da técnica anterior. É com efeito essa densidade de implantação que seria necessária para se obter uma precisão de navegação melhor do que o decímetro, visada pelo processo da invenção, em sua aplicação preferida. Enfim, a rede de estações terrestres fixas de referência necessária ao processo da invenção é muito

similar à rede durante a implantação para o sistema europeu de navegação por satélites conhecido pela abreviação "EGNOS GNSS" (para "*European Geostationary Navigation Overlay System – Global Navigation Satellite Systems*"). Esse sistema é baseado em uma constelação de satélites "IMMERSAT III", o que deixa pensar que existe uma compatibilidade importante com as instalações já existentes ou em fase de implantação.

[0034] Por outro lado, o processo, de acordo com a invenção, permanece inteiramente simples, como o processo "TCAR". Em particular, existe apenas uma quantidade de cálculos pequena para o usuário (receptor do nômade), comparada a "ITCAR" e igualmente a "WARTK", processos desenvolvidos para os sistemas de posicionamento com duas frequências, conforme foi denominado anteriormente.

[0035] Por outro lado, o modelo de descrição ionosférica em tempo real da região atravessada pela radiação radioelétrica emitida pelos satélites observados utiliza somente dados de fase de portadora, esses dados sendo combinados com estimativas geodésicas calculadas em um centro único, que pode ser uma das estações, denominada "mestre", da rede de estações de referência.

[0036] A invenção tem, portanto, por objeto principal, um Processo de navegação em tempo real com o auxílio de sinais radioelétricos com três portadoras de primeira, segunda e terceira frequências distintas, de valores crescentes, indo dessa primeira a essa terceira frequência, para determinar a posição de um utilizador, denominado nômade, esses sinais radioelétricos sendo emitidos por um número determinado de emissores instalados em satélites que giram em torno do globo terrestre e próximo desse nômade, esses sinais sendo recebidos por um receptor associado a esse nômade e um receptor associado a pelo menos uma estação terrestre dentre uma pluralidade de estações fixas, denominadas de referência, esses sinais radioelétricos atraves-

sando uma camada da atmosfera denominada ionosférica envolvendo esse globo terrestre, e aí sofrendo perturbações que geram ambigüidade de fases dessas portadoras caracterizado pelo fato de compreender pelo menos as seguintes etapas:

- uma primeira etapa que consiste na determinação, nesse nômade, da ambigüidade de diferença de fases entre essas terceira e segunda portadoras, dita "trajetória extralonga", a partir de uma combinação de pseudodistâncias utilizando um valor de código único;

- uma segunda etapa que consiste na estimativa, nesse nômade, da ambigüidade de diferença de fases entre essas primeira e segunda portadoras, dita "trajetória longa", a partir dessa ambigüidade de "trajetória extralonga determinada, quando dessa primeira etapa;

- uma terceira etapa que consiste, nesse nômade, na resolução da ambigüidade de uma dessas freqüências, a partir dessa ambigüidade de "trajetória longa" estimada quando dessa segunda etapa;

e

- uma etapa suplementar à aplicação de correções ionosféricas em tempo real durante essa terceira etapa, essas correções ionosféricas sendo baseadas em um modelo ionosférico em tempo real dessa camada continuamente atualizado.

[0037] A invenção tem ainda por objeto um sistema de navegação por satélite aplicando esse processo.

[0038] A invenção vai então ser descrita de forma mais detalhada referindo-se aos desenhos anexados, dentre os quais:

- a figura 1A ilustra esquematicamente um corte parcial do globo terrestre, da camada ionosférica que o envolve, recortada em voxels, assim como feixes radioelétricos gerados por emissores "GPS" de três satélites de comunicação e de três estações terrestres que recebem esses sinais;

- a figura 1B ilustra, de forma esquemática, a arquitetura de

um sistema de navegação completo, para a aplicação do processo da invenção, vista lateral de um receptor "GPS" de um nômade;

- a figura 2 representa esquematicamente a linha de base e as posições de uma estação terrestre de referência e de um nômade, em relação a eixos de coordenadas;

- a figura 3 representa um aumento (zoom) da figura 2, mostrando a trajetória do nômade, em relação a esses mesmos eixos de coordenadas;

- a figura 4 é um gráfico que ilustra exemplos de retardos estimados de um modelo ionosférico em tempo real, de acordo com a invenção, comparados a retardos ionosféricos reais;

- a figura 5 é um gráfico que ilustra exemplos de dupla diferença de "Conteúdo Total de Elétrons Oblíquos ("STEC"), estimada em tempo real com um modelo de descrição da ionosfera, comparado a valores verdadeiros;

- a figura 6 é um gráfico que ilustra exemplos de erros na determinação do modelo ionosférico em tempo real da dupla diferença de "STEC" comparada a dois limites ionosféricos;

- as figuras 7A a 7D são gráficos que ilustram exemplos de erros (em metros) estimados em diferentes componentes de navegação;

- as figuras 8A a 8D são gráficos que ilustram exemplos de erros (em metros) reais nos mesmos componentes de navegação;

- a figura 9 é um gráfico que ilustra um exemplo de percentagem de sucesso sobre a determinação instantânea de uma dupla diferença ionosférica suficiente para resolver todas as ambigüidades (com um "TECU" melhor do que 0,26) para correções de tempo de latência em uma faixa de 1 a 30 segundos; e

- a figura 10 é um gráfico que ilustra um exemplo de percentagem de sucesso sobre a determinação instantânea de uma dupla

diferença ionosférica por correções de tempo de latência que vão até 900 segundos.

[0039] No que se segue, sem limitar-lhe no que quer que seja o alcance, colocar-se-á a seguir no âmbito da aplicação preferida da invenção, salvo menção contrária, isto é, no caso de um processo de navegação por satélite muito preciso, de ondas radioelétricas com três portadoras de frequências distintas emitidas por esses satélites e correções em tempo real provenientes de um modelo em tempo real de descrição ionosférica de uma região sondada pela radiação de radio-frequência de satélites.

[0040] A seguir serão detalhadas as principais etapas do processo, de acordo com a invenção, recorrendo para ilustrá-las a valores numéricos típicos. Ele compreende três etapas de base, que são semelhantes àquelas do processo TCAR precitado e vão ser explicitadas abaixo:

ETAPA 1

[0041] Para resolver a ambigüidade de "trajetória" dita "extralonga" (ou "extra-wide", segundo a terminologia anglo-saxônica: tipicamente com um comprimento de onda de 7,5 metros sobre um conjunto de dados de um exemplo de uma experiência determinada), é acrescentada uma combinação de códigos ditos de "pseudocomprimentos".

[0042] Dentre as causas de erros, pode-se citar o fenômeno conhecido dito de "trajetos múltiplos". Embora os trajetos múltiplos de pseudocomprimentos possam diminuir a taxa de sucesso, esse erro é, em geral, de baixa amplitude comparada ao comprimento maior de onda da trajetória extra-longa, e é habitualmente possível superar esse problema.

[0043] Com efeito, a primeira etapa típica da abordagem "TCAR" (ver, por exemplo, o artigo precitado de VOLLATH et al., de 1998) é de estimar a dupla diferença de ambigüidade (entre pares de receptores e

de satélites), que se denominará a seguir $\nabla\Delta N_{eW}$, da dupla diferença de fases de portadora de trajetória "extralonga", que se denominará a seguir $\nabla\Delta L_{eW}$ (L_{eW} sendo o comprimento de onda da portadora de trajetória "extralonga"), utilizando uma combinação de pseudodistâncias (ou códigos) P_{eW} que dividem o mesmo valor e o mesmo sinal da dependência ionosférica que as combinações de fase. Isto é possível considerando-se o maior comprimento de onda resultante da combinação de trajetória extralonga. Os valores de L_{eW} e P_{eW} podem ser determinadas pelas seguintes relações:

$$L_{ew} = \lambda_{ew} (\phi_3 - \phi_1) = \frac{f_3 L_3 - f_1 L_1}{f_3 - f_1} = \rho^* + \lambda_{ew} b_{ew} + \alpha_{ew} I + m_{ew} + \varepsilon_{ew} + \dots \quad (1)$$

$$P_{ew} = \frac{f_3 P_3 + f_1 P_1}{f_3 + f_1} = \rho^* + \alpha_{ew} I + M_{ew} + E_{ew} + \dots \quad (2);$$

relações nas quais L_x é a observação de fase de portadora (em unidades de comprimento) à frequência f_x e no comprimento de onda λ_x . Os valores de X são apresentados na TABELA I anexada em fim da presente descrição, naturalmente que os algarismos/índices 1 a 3 são associados às três frequências do exemplo descrito. Na TABELA I foi reunido um certo número de dados associados: frequências, comprimentos de onda, erros de dependência ionosférica, de trajetos múltiplos máximo e observações diversas, úteis à boa compreensão do processo, de acordo com a invenção. Esses dados são associados às três faixas de frequências, L_1 a L_3 , respectivamente, e às fases de portadoras das trajetórias "extralongas" e "longas" (L_{eW} e L_W), respectivamente. P_x é a observação correspondente de "pseudodistância". Os erros de trajetos múltiplos e a observação para fases de portadoras e "pseudodistâncias" são anotadas como m_x , M_x , ε_x , E_x , respectivamente (os valores máximos de trajetos múltiplos e os erros de medida típicos são também apresentados na tabela I). A ambigüidade de fase de por-

tadora indiferenciada $\lambda_x b_x$ que contém retardos instrumentais e, após dupla diferenciação, se torna um valor inteiro de multiplicação do comprimento de onda, que contém $\lambda_x \nabla \Delta N_x$. O retardo ionosférico $\alpha_x I$ é proporcional ao "Conteúdo Total de Elétrons Oblíquos" ou "STEC", a integração da densidade de elétrons livres ao longo do feixe irradiado por um satélite sendo habitualmente medido em unidades TECU, conforme foi lembrado. Nas relações (1) e (2), ρ^* representa um termo que não depende da frequência (distância, erros de relógio, refração troposférica, etc.).

[0044] A partir da relação (2), na qual termos adicionais menores, tais como o enrolamento de fase de portadora não são explicitamente representados, é possível estimar a dupla diferença de ambigüidade de trajetória "extralonga", que se denominará a seguir $\nabla \Delta \hat{N}_{ew}$, sobre uma única "época" de observação, subtraindo o código correspondente, conforme expresso na fórmula abaixo:

$$\nabla \Delta \hat{N}_{ew} = \frac{1}{\lambda_{ew}} \nabla \Delta (L_{ew} - P_{ew}) = \nabla \Delta N_{ew} - \frac{1}{\lambda_{ew}} (\nabla \Delta M_{ew} + \nabla \Delta E_{ew}) + \dots \quad (3);$$

[0045] Quando não há trajetos múltiplos importantes que afetam os receptores (usualmente inferiores a 3,7 metros), o limite de erro dessa avaliação é inferior a 0,5 ciclo (conforme mostram os valores fornecidos na TABELA I), o que permite fixar instantaneamente a ambigüidade a um valor de número inteiro exato.

ETAPA 2

[0046] A ambigüidade de combinação de "trajetória longa" é estimada a partir da fase de portadora não ambígua de "trajetória extralonga", obtida quando da primeira etapa. A diferença entre estas é constituída na maior parte do tempo pela ambigüidade de "trajetória extralonga", e a refração ionosférica diferencial (aproximadamente 0,06 ciclo/TECU com as frequências de trabalho do presente exem-

plo). Os termos não dispersivos são suprimidos. Os problemas principais são, no caso, o erro de medida e os trajetos múltiplos dos sinais de fase de portadora. Embora os valores típicos da refração ionosférica diferencial nas latitudes médias e de linhas de base abaixo de 100 quilômetros, seja exatamente de alguns TECU, a utilização da correção ionosférica pode aumentar de maneira significativa a percentagem de sucesso em distâncias mais importantes, e em cenários ionosféricos mais difíceis.

[0047] Os detalhes principais dessa etapa vão a seguir ser explicitados.

[0048] Uma vez que as primeiras ambigüidades de grande comprimento de onda $\nabla\Delta N_{ew}$ são resolvidas, utilizando "pseudodistâncias" correspondentes, uma segunda ambigüidade tal como a combinação de "trajetória longa" L_w expressa pela seguinte relação:

$$L_w = \lambda_w (\phi_1 - \phi_2) = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{f_1 - f_2} = \rho^* + \lambda_w b_w + \alpha_w I + m_w + \varepsilon_w + \dots \quad (4);$$

(relação na qual ϕ_1 , ϕ_2 são as fases de freqüências L_1 e L_2) pode ser estimada a partir de $\nabla\Delta N_{ew}$ e da diferença correspondente das fases de portadora (ver os valores constantes correspondentes na TABELA I), de acordo com a relação:

$$\nabla\Delta\hat{N}_w = \frac{\nabla\Delta L_w - \nabla\Delta L_{ew} + \lambda_{ew} \nabla\Delta N_{ew}}{\lambda_w} = \nabla\Delta N_w - \frac{1}{\lambda_w} \nabla\Delta(\varepsilon_{ew} + m_{ew} - m_w) + \frac{1}{\lambda_{ew}} (\alpha_w - \alpha_{ew}) \nabla\Delta I \quad (5);$$

[0049] Com efeito, em presença de trajetos múltiplos moderados, o termo de erro correspondendo à relação (5), que inclui também o erro de observação, é habitualmente inferior a 0,3 metro, isto é, inferior a 0,4 ciclo. O termo de erro subsistente da resolução de ambigüidade corresponde à refração ionosférica a um valor de 0,0580 ciclo/TECU

para as frequências do exemplo (ver TABELA I). Esse termo pode degradar a taxa de sucesso, mas não é um termo crítico nas latitudes médias e nas distâncias inferiores a algumas centenas de quilômetros, para as quais a dupla diferença dos valores "STEC", que se denominará a seguir, $\nabla\Delta I$ são em geral inferiores a 10 TECU. Um exemplo será detalhado a seguir por referência ao diagrama da figura 5.

[0050] É nesse contexto que a utilização de um modelo ionosférico em tempo real aumenta as condições de sucesso da resolução de ambigüidade de "trajetória extralonga", às baixas latitudes e para cenários de linhas mais longas.

ETAPA 3

[0051] A ambigüidade de fase L_1 é derivada da diferença entre L_1 e a "trajetória extralonga" não ambígua obtida anteriormente. Quando dessa etapa, o problema principal é a refração diferencial ionosférica correspondente (aproximadamente 1,9 ciclo/TECU) que pode produzir erros de vários ciclos nas latitudes médias.

[0052] Quando da terceira etapa, uma abordagem semelhante à segunda etapa é utilizada, mas utilizando as diferenças de fase de portadora entre comprimentos de onda curta e média, ao invés de comprimentos de onda média e longa, conforme sobressai da seguinte relação (6):

$$\nabla\Delta\hat{N}_1 = \frac{1}{\lambda_1} \nabla\Delta(L_1 - L_w + \lambda_w N_w) = \nabla\Delta N_1 - \frac{1}{\lambda_1} \nabla\Delta(\epsilon_w + m_w - m_1) + \frac{1}{\lambda_1} (\alpha_1 - \alpha_w) \nabla\Delta I + \dots ;$$

relação na qual α_1 e α_w (de forma geral α_x) são coeficientes ionosféricos definidos na TABELA I, no exemplo descrito.

[0053] Quando da terceira etapa, a combinação do erro de medida de fase de portadora e de um trajeto múltiplo moderado introduz ainda um erro típico inferior a 0,2 ciclo (ver TABELA I). Todavia, o problema crítico no caso é a refração ionosférica que pode introduzir erros superiores a 0,5 ciclo (-1,9475 ciclo/TECU) também para linhas de base

curtas.

[0054] Essa limitação fundamental pode ser superada, calculando-se correções ionosféricas em tempo real melhores que o 0,26 TECU (isto é, $(0,5 \text{ ciclo} \times 1 \text{ TECU}) / 1,9475$) para assegurar a boa avaliação de ambigüidade de número inteiro. Essas correções são introduzidas quando da etapa 4, que a seguir será descrita.

ETAPA 4

[0055] Para superar o problema surgido na terceira etapa (isto é, para determinar as ambigüidades de comprimento de onda os mais curtos) determina-se um modelo em tempo real, para estimar a refração diferencial ionosférica. Esse modelo é calculado a partir de dados de fases de portadoras, com dupla frequência, com localizações fixas de uma rede, de estações de referência. É assumido que assim foi feita uma descrição da região ionosférica atravessada pela radiação de ondas radioelétricas emitidas por satélites. Os dados desse modelo são combinados de forma conhecida com dados provenientes de um cálculo geodésico simultâneo, este podendo ser feito vantajosamente por uma de estações terrestres fixas da rede, dita mestra. A vantagem principal dessa técnica é que ela permite estimar a refração diferencial com um erro tipicamente inferior a 0,25 TECU, isto a distâncias de centenas de quilômetros do local de referência o mais próximo e em condições ionosféricas variadas. Essa precisão implica em erros típicos abaixo de 0,5 ciclo na fixação instantânea da ambigüidade L_1 para distâncias médias e grandes.

[0056] A distribuição ionosférica de elétrons livres pode ser determinada de forma aproximada por uma grade de unidades de resolução de volumes, ou "voxels", na qual a densidade de elétrons é assumida constante em um instante determinado em um sistema "Inercial de Centragem Terrestre" (*Earth Centred Inertial* ou "ECI", segundo a abreviação anglo-saxônica comumente utilizada).

[0057] Uma disposição típica desse tipo é descrita na figura 1A. Essa figura 1A ilustra esquematicamente uma borda meridiana de voxels Vox_{ijk} (i, j, k sendo índices de coordenadas, pela longitude, pela latitude e pela altitude solar, respectivamente), nos quais a distribuição ionosférica de densidade de elétrons é decomposta segundo a relação (7), de maneira a determinar os dados de um modelo ionosférico em tempo real.

[0058] Nessa figura 1A, representou-se o globo terrestre, "GT", em corte parcial, envolvido pela camada ionosférica C_{ION} , camada que se subdividiu arbitrariamente em duas camadas intermediárias, C_{i1} e C_{i2} , respectivamente. A altitude baixa da camada C_{i1} é 60 Km, no exemplo descrito, e sua altitude alta 740 km. A altitude baixa da camada C_{i2} é 740 km e sua altitude alta 1420 km. As superfícies angulares dos voxels Vox_{ijk} são de 5x2 graus cada uma.

[0059] Para fixar as idéias, foram representados satélites, SAT_1 a SAT_n (três foram representados nas figuras), nos quais são embarcados emissores "GPS", GPS_{E1} a GPS_{En} , respectivamente. Esses satélites, SAT_1 a SAT_n , são em vista total ou parcial de estações terrestres fixas de referência, ST_1 a ST_M , representados na figura 1A, compreendendo receptores "GPS", GPS_{R1} a GPS_{Rn} , e meios de cálculos integrados (não representados).

[0060] Na figura 1B, representou-se, de forma esquemática, a arquitetura de um sistema de navegação completo, de acordo com a invenção, vista lateral do nômade SUR.

[0061] Esse sistema necessita de um equipamento, das interfaces e dos recursos físicos, similares àqueles de certos sistemas atualmente desdobrados, tais como EGNOS" ou WAS".

[0062] O sistema para a aplicação do processo, de acordo com a invenção, último compreende um receptor "GPS", SUR_{GPS} que recebe os sinais emitidos por satélites, por exemplo satélites, SAT_1 a SAT_n da

figura 1A. A partir desses sinais sobre três faixas de frequências, realizam-se as três etapas do processo "TCAR", conforme indicado anteriormente, com o auxílio de meios de cálculos integrados (não representados).

[0063] Ele recebe também sinais de dados do modelo ionosférico em tempo real determinado pela estação de referência "REF" (a estação a mais próxima dentre as estações da rede de estações terrestres fixas de referência, ST_1 a ST_M da figura 1A), a partir de sinais recebidos dos satélites, $SAT_1 - GPS_{E1}$ a $SAT_n - GPS_{En}$, com o auxílio de um receptor "GPS", REF_{GPS} . A estação "REF" emite os dados do modelo para o nômade "SUR" por intermédio de um emissor REF_{E1} .

[0064] Dados de configuração geodésica, que podem ser determinados em uma única estação, dita mestra, REF_M , são emitidos por seu emissor REF_{ME} e distribuídos no nômade "SUR", para serem combinados com os dados do modelo ionosférico. Essa estação compreende a priori também um receptor "GPS", REF_{GPS} , como as outras estações terrestres fixas de referência. Os dados de configuração geodésica são calculados simultaneamente aos dados do modelo geodésico.

[0065] De forma bem-conhecida, a determinação ionosférica pode ser obtida, resolvendo em tempo real, como auxílio de um filtro de Kalman a densidade média de elétrons N_e de cada célula iluminada i, j , e k (i, j e k sendo índices de coordenadas em três dimensões, conforme anteriormente definido) tratada como um processo de propagação aleatória, e com um ruído de processo típico de 10^9 a 10^{10} elétrons/m³/raiz hora. A título de exemplo não limitativo, um tratamento com o auxílio de um filtro de Kalman é descrito no livro de G.J. BIERMAN, intitulado: *Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation*., publicado em *Mathematics in Science and Engineering*, vol 128, Academic Press, NEW YORK, 1977.

[0066] De acordo com uma característica importante do processo

da invenção, só os dados de fase de portadora são utilizados. Dessa forma, o ruído de código de "pseudodistância" e os trajetos múltiplos são evitados. As polarizações de fase de portadora B_1 (constantes em cada arco contínuo de dados de fase de portadora para cada par satélite-receptor) são estimadas simultaneamente, como variáveis aleatórias (que se tornam processos aleatórios de ruído branco, quando um deslizamento de ciclo ocorre). No filtro, as polarizações são descorrelatos em tempo real dos valores de densidade de elétrons, à medida que a geometria de satélite muda e as variações das duas espécies desconhecidas são tornadas menores, como mostra a relação (7) a seguir, que representa o modelo para informações ionosféricas determinadas, entre um par satélite ["GNSS" – receptor], L_1 e L_2 sendo fases de portadora expressas em unidades de comprimento $L_I = L_1 - L_2$ e N_e a densidade de elétrons). L_I é dado pela seguinte relação:

$$L_I = STEC + B_I = \int_{REC}^{SAT} N_e dl + B_I = \sum_i \sum_j \sum_k (N_e)_{i,j,k} \Delta S_{i,j,k} + B_I \quad (7);$$

relação na qual os valores "REC" e "SAT" são relativos a um receptor GPS e um satélite, respectivamente, de um par "receptor-satélite", dl uma distância elementar sobre a linha de mira que liga esse par e $\Delta S_{i,j,k}$ uma superfície elementar do "STEC" de coordenada i , j , e k sendo índices de coordenadas em três dimensões, conforme anteriormente definido.

[0067] Essa abordagem convém, em particular, para detectar as características locais da distribuição de densidade de elétrons, e a utilização de duas camadas com dados no solo de um sistema de navegação mundial por satélite ("GNSS", segundo a abreviação anglo-saxônica) ao invés de uma única camada, segundo os processos habituais, reduz, de maneira significativa o risco de má modelização do conteúdo de elétrons.

[0068] No caso das redes "WADGNSS" (para "*Wide Area Differential* GNSS" ou "GNSS" diferenciais em uma larga zona), a partir do

conteúdo dessas correções em tempo real do conteúdo total de elétrons oblíquos, ou "STEC", obtidos pela relação (7), é possível:

- em primeiro lugar, formar a dupla diferença estação satélite, $\nabla\Delta\text{STEC}$, com um erro inferior a 1 TECU e obter uma segunda ambigüidade (a "trajetória longa") nas estações de referência; e

- em segundo lugar, interpolar, no receptor do nômade, o valor L_1 não ambíguo, isto é, um valor muito preciso de $\nabla\Delta\text{STEC}$ em um nível de alguns centésimos de TECU, o valor obtido após a resolução das ambigüidades.

[0069] Se o valor interpolado for melhor do que 0,26 TECU, então o receptor do nômade poderá resolver as duas ambigüidades em tempo real.

[0070] Esse processo, em si, é semelhante ao processo dito "WARTK" publicado no artigo de Hernández-Pajares et al., (2000) precitado. Os resultados obtidos até aqui com a técnica "WARTK", em diferentes experiências, são recapitulados em um artigo também de Hernández-Pajares et al. intitulado: *Tomographic modelin of GNSS ionospheric corrections: Assessment and real-time applications*, publicado em "ION GPS'2001", setembro 2001. Reportar-se-á com proveito a esses dois artigos para uma descrição mais detalhada desse processo.

[0071] Para a utilização cinemática desse processo, um dos limites o mais importante é a existência de irregularidades ionosféricas locais, tais como perturbações ionosféricas de propagação ou "TID" (abreviação anglo-saxônica de *Traveling Ionospheric Disturbances*), que podem produzir maus resultados, utilizando-se uma interpolação linear das correções ionosféricas entre as estações de referência da rede. Os desempenhos podem ser melhorados, incorporando dados duais de frequência do nômade.

[0072] Por outro lado, no caso do cálculo na estação de referência,

as longas distâncias e os gradientes fortes de conteúdo de elétrons podem também limitar os desempenhos da técnica. Por essa razão, segundo uma característica do processo da invenção, um procedimento suplementar foi desenvolvido para incluir o caso das estações permanentes e/ou de referência separadas por milhares de quilômetros, utilizando um código dito de "trajetórias longas", isto de forma a melhorar o modelo ionosférico e, por conseguinte, constituir um auxílio à determinação em tempo real de ambigüidade. Esse procedimento é descrito, por exemplo, no artigo de Hernández-Pajares et al., intitulado: *Improving the real-time ionosféric determination from GPS sites at Very Long Distances over the Equator*, publicado no *Journal of Geophysical Research*, 2002.

[0073] Todavia, os métodos aplicados na técnica anterior para resolver, ao mesmo tempo, a ambigüidade no receptor de um nômade, recorrendo a um sistema de freqüências duais do "GPS", exigem uma grande quantidade de cálculos geodésicos, a fim de garantir a determinação de posição relativamente boa, ao nível dos vintes centímetros, para resolver combinações de polarizações flutuantes livres ionosféricas, e então de poder (aplicando o processo "WARTK" precitado) resolver as ambigüidades em tempo real, isto após um tempo de convergência da ordem de alguns minutos.

[0074] A invenção permite prevenir as deficiências dessa técnica conhecida, notadamente apresentada pelo processo "WARTK". Ela permite a melhoria dos métodos instantâneas de resolução de ambigüidades de fase de três portadoras às distâncias médias e longas entre estações de referência (indo de dezenas a centenas de quilômetros) e com um mínimo de cálculos geodésicos. A melhoria principal reside na terceira etapa do processo "TCAR" precitado, utilizando correções ionosféricas em tempo real fornecidas por um modelo ionosférico calculado sem interrupção nas estações de referência.

[0075] Uma melhoria adicional da primeira etapa precitada é também implementada no processo da invenção. Essa melhoria consiste na utilização de três códigos de pseudodistâncias distintas, denominados a seguir P_1 , P_2 , P_3 ao invés de um elemento de código único, o que permite diminuir o efeito dos trajetos múltiplos na resolução de ambigüidade de "trajetória extra-larga".

[0076] Além disso, em um modo de realização preferido, um teste de integridade é realizado, utilizando os códigos de pseudodistâncias de "trajetória larga" e de faixa de freqüência L_1 , para detectar saltos na avaliação de ambigüidade associada a um erro na resolução de ambigüidade comprimento de onda o mais longo. Com efeito, quando das segunda e terceira etapas precitadas, a partir das relações (5) e (6), constata-se facilmente que um ciclo no erro de ambigüidade de "trajetória extra-larga" produz aproximadamente oito ciclos de erros de "trajetória larga" e um ciclo de "trajetória larga" se traduz em cerca de quatro ciclos de erro L_1 , L_1 sendo a portadora de menor comprimento de onda no exemplo descrito. Freqüentemente, esses saltos de avaliação de ambigüidade são suficientemente importantes para serem detectados e filtrados, utilizando-se os códigos correspondentes.

[0077] Essa abordagem, de acordo com a invenção, permite chegar ao ponto diretamente das limitações principais, tornando impossível uma navegação com um erro tipicamente inferior a alguns centímetros em longas distâncias (mais de 100 quilômetros).

[0078] A TABELA II disposta no fim da presente descrição resume as características comparadas dos principais processos de resolução de ambigüidade em tempo real da técnica conhecida ("TCAR", "IT-CAR", "WART") e de acordo com a invenção.

[0079] Para melhor ilustrar as características principais do processo, de acordo com a invenção, vai ser a seguir descrito um exemplo de experimentação realizado com base em vários jogos de dados forneci-

dos por geradores de sinais modificados embarcados em satélites de um sistema existente do tipo "GNSS" precitado, com simulação de aeronaves, de usuários nômades de "superfície" (veículos terrestres, por exemplo) ou de locais fixos. Condições dinâmicas e ionosféricas variadas foram consideradas.

[0080] Para fixar as idéias, a título de exemplo significativo, a resolução de ambigüidade em tempo real do receptor de um veículo de superfície, denominado a seguir nômade SUR, foi estudado em detalhes, isto em relação a uma estação fixa de referência, denominada a seguir REF, afastada de aproximadamente 129 km do nômade SUR, isto em diferentes cenários. No exemplo descrito, duas portadoras de "GPS" (1575,42 e 1227,60 MHz, respectivamente) e a portadora do canal 24 do sistema "GLONASS", de freqüência 1615, 50 MHz, constituíam as três freqüências adotadas por um simulador do sistema "GNSS", para quatro satélites em vista durante 20 minutos, a 1Hz, utilizando os doze canais disponíveis de um receptor de validação de tipo conhecido sob a referência "AGGA" (para "Advanced GPS/GLONASS ASIC"). "AGGA" é um circuito integrado numérico, permitindo um tratamento de sinal numérico de alta velocidade para aplicações espaciais, tais como as ocultações de radiotransmissões de sinais de sistemas "DNSS" e de determinação de órbitas terrestres baixas. Esse circuito é realizado à base de um "ASIC" padrão (ou circuito integrado para aplicações específica, no exemplo descrito, um componente T7905E da sociedade ATMEL). "GLONASS" (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) é um sistema de navegação russa por satélite comparável ao sistema "GPS".

[0081] Dois conjuntos de dados de base foram considerados no exemplo descrito, a seguir referenciados por "P5-M0", conjunto associado a uma potência máxima de sinal e passos de trajetos múltiplos, o que constitui um caso ideal, e "P3-M1", conjunto associado a uma po-

tência média e trajetos múltiplos.

[0082] Além dos receptores das estações de referência, simulados nos conjuntos de dados, três estações adicionais, existentes na rede "IGS" (para "International GPS Service" ou "Service International GPS") foram acrescentadas a distâncias superiores a 200 km, unicamente para o cálculo ionosférico, o que permitiu emular uma situação mais realista, compreendendo uma rede de locais fixos mais importante.

[0083] A seguir vão ser mostrados os resultados de um estudo detalhado para o caso mais difícil, isto é, a linha de base do par "nômade SUR – estação REF" a mais longa, seja 129 km, aproximadamente. A estação de referência REF é uma das estações ST_1 a ST_M da figura 1A.

[0084] A figura 2 ilustra esse exemplo e representa a linha de base e as posições da estação REF e do nômade SUR, em relação a eixos de coordenadas, latitude elipsoidal e longitude, graduados em graus.

[0085] A figura 3 é um aumento (zoom) da figura 2, mostrando a trajetória do nômade SUR, sempre em relação a eixos de coordenadas, latitude elipsoidal e longitude, graduados em graus.

[0086] O primeiro aspecto dos resultados é referenciado como desempenho do filtro ionosférico em tempo real. Exemplos de retardos estimados do modelo ionosférico em tempo real, referenciados T_m sobre o gráfico, comparados aos retardos ionosféricos reais, referenciados V_v , estão representados na figura 4. Esses valores correspondem a medidas de uma experimentação feita para mostrar as possibilidades do processo, de acordo com a invenção.

[0087] E, parâmetros mais importantes para uma navegação precisa, os valores e as diferenças (isto é, os erros) entre as duplas diferenças de "STEC" estimadas, $\nabla\hat{\Delta I}$, para o nômade SUR, e seus valores reais, $\nabla\Delta I$, estão listados nas figuras 5 e 6 (em ordenada, expres-

sos em TECU; a abscissa representando retardos em segundos).

[0088] De forma mais precisa, a figura 5 ilustra a dupla diferença de "STEC", anotada "ddSTEC", estimada em tempo real com um modelo ionosférico, de acordo com um dos aspectos importantes da invenção, comparado aos valores verdadeiros para o receptor nômade SUR, isto reportado ao receptor o mais afastado, seja REF (afastamento de aproximadamente 129 km).

[0089] A figura 6 ilustra o erro na determinação do modelo ionosférico em tempo real da dupla diferença de "STEC", também anotada "ddSTEC". Os valores reais do modelo ionosférico são comparados a dois limites ionosféricos, "Limite₁" (+0,26 TECU) e "Limite₂" (-0,26 TECU), permitindo determinar a terceira ambigüidade $\nabla\Delta N_1$.

[0090] Mais de 92% das determinações ionosféricas apresentam erros abaixo do limite de limite de $\pm 0,26$ TECU. Elas são, portanto, bastante precisas para poder resolver as três ambigüidades na ausência de trajetos múltiplos e para não considerar o erro de medida. A maior parte dos 8% de avaliações restantes que apresentam erros superiores a 0,26 TECU provinha de um satélite que era observado à baixa altitude e na direção do sul, direção para a qual os gradientes ionosféricos são os mais elevados. Esses resultados puderam ainda ser ligeiramente melhorados, adicionando-se às quatro estações de referência uma quinta, efetuando cálculos ionosféricos de correções para a direção sul.

[0091] Uma vez que as correções ionosféricas em tempo real foram calculadas e transmitidas a partir da rede de referência, as etapas do processo, de acordo com a invenção, podem ser feitas no nômade SUR, da forma anteriormente descrita para estimar e resolver instantaneamente (*single epoch*) as três ambigüidades por feixe.

[0092] Um resumo dos principais resultados da resolução de ambigüidade, para os conjuntos precitados de dados "P5-M0" e "P3-M1"

respectivamente, é apresentado sob a forma de duas TABELAS, III e IV, dispostas em fim da presente descrição. As taxas de sucesso das três etapas do processo "TCAR" são indicadas nos seguintes três casos:

- (a) sem correções ionosféricas;
- (b) com correções ionosféricas correspondentes de um modelo de correções ionosféricas de Klobuchar emitidas pelo sistema "GPS" atual; e
- (c) com correções de modelo ionosférico em tempo real, de acordo com o processo da invenção.

[0093] De forma mais precisa, no exemplo descrito em relação com a TABELA III, a taxa de sucesso (em%) é relativo a um número de 3834 testes de resolução ao vôo para as ambigüidades de "trajetória extralonga", de "trajetória longa" e de freqüência da faixa L_1 (respectivamente $\nabla\Delta N_{ew}$, $\nabla\Delta N_w$ e $\nabla\Delta N_1$) para o receptor nômade SUR, levado ao local fixo mais afastado REF (afastamento de aproximadamente 129 quilômetros) e como conjunto de dados ideal P5-M0 precitado (potência máxima de recepção e nenhum trajeto múltiplo).

[0094] A TABELA IV é similar à TABELA III, mas para o conjunto de dados P3-M1 precitado (nível de potência de recepção médio e trajetos múltiplos). Os números entre parênteses indicam a taxa de sucesso levada ao número total de observações.

[0095] Constata-se facilmente, com o exame das TABELAS III e IV, que o processo da invenção combinando as três etapas do processo "TCAR" com uma etapa de aplicação de um modelo ionosférico preciso em tempo real, permite aumentar consideravelmente a taxa de sucesso de determinação de ambigüidade instantânea (*single epoch*), não somente em um cenário ideal (conjunto de dados P5-M0: de 0 a 92%), mas também em um cenário mais difícil (conjunto de dados "P3-M1") com trajetos múltiplos (35% mesmo utilizando uma correção do

tipo "modelo de Klobuchar", enquanto que a taxa de sucesso atinge 92% para $\nabla\Delta N_1$, com correções do modelo ionosférico feitas segundo o processo da invenção).

[0096] O exame da TABELA IV mostra que um dos problemas importantes com os conjuntos de dados "P3-M1", afetados por trajetos múltiplos, é a falta de integridade nas avaliações de ambigüidades segundo o processo "TCAR", $\nabla\Delta N_{\text{ew}}$ e $\nabla\Delta N_w$, com aproximadamente 10% e 4% de determinações instantâneas incorretas, respectivamente.

[0097] Para aumentar a integridade, isto é, para diminuir a possibilidade de considerar ambigüidades incorretas, neste caso em presença de fase de portadora e para codificar por trajetos múltiplos, é possível utilizar os códigos correspondentes de pseudodistâncias de "trajetória longa" e L_1 , para tentar detectar erros potenciais de determinação de ambigüidade da ambigüidade de comprimento de onda a mais longa precedente na abordagem "TCAR" (ambigüidades de "trajetória extralonga" e de "trajetória longa", respectivamente), erros que são amplificados por um fator de 9 e 4 comprimentos de onda na "trajetória extralonga" e a "trajetória longa", respectivamente, conforme mostram as relações (5) e (6).

[0098] Um resumo dos resultados correspondentes é apresentado sob a forma de duas TABELAS V e VI, dispostas no final da presente descrição, utilizando respectivamente as pseudodistâncias e as pseudodistâncias alisadas para filtrar esses erros importantes.

[0099] A TABELA V é similar à TABELA III, mas a taxa de sucesso de resolução de ambigüidade é, no caso, calculada após ter passado por um teste de integridade, isto é uma comparação à ambigüidade derivada de pseudodistância para filtrar os grandes saltos na ambigüidade derivada de pseudodistância para filtrar os grandes saltos na ambigüidade de "trajetória longa" e de L_1 , esses saltos sendo devido a erros precedentes de ambigüidade de comprimento de onda mais im-

portante. A última coluna indica a disponibilidade, isto é, a percentagem das 3834 observações que sofrem o teste de integridade precedente com as pseudodistâncias. O sinal entre parênteses "*" indica as percentagens das ambigüidades calculadas após a passagem do teste de integridade. Conforme anteriormente, os números entre parênteses indicam a taxa de sucesso relativa ao número total de observações.

[00100] A TABELA VI é similar à TABELA IV, mas pseudodistâncias trabalhadas são utilizadas no lugar de pseudodistâncias "puras" para realizar o teste de integridade.

[00101] Constata-se facilmente que o processo da invenção permite uma melhoria significativa de aproximadamente 20% da integridade (de 79%: TABELA IV a 91%: TABELA VI), isto com uma diminuição relativamente pequena (16%) da disponibilidade (esta passa de 100% a 84%) pela aplicação de um teste de integridade de código trabalhado. Se códigos instantâneos (*single epoch*) são utilizados em substituição, a integridade é também melhorada (84%) e ainda com uma disponibilidade mais elevada (90%). Utilizando-se um modelo conhecido de emissão "GPS" de tipo Klobuchar, ao invés das correções do modelo ionosférico em tempo real, segundo o processo da invenção, constata-se uma deterioração nítida dos resultados, acompanhado de uma falta quase completa de disponibilidade.

[00102] Os conjuntos de dados disponíveis para a experimentação que acaba de ser detalhada, apesar do fato de estarem apropriados para estabelecer uma resolução instantânea de ambigüidade, eram todavia muito limitados para determinar uma posição de forma instantânea (*single epoch*). Na realidade, para o experimento, só quatro satélites em vista durante 20 minutos de dados estavam disponíveis, de tal modo que a solução de navegação instantânea para o nômade SUR teve de ser calculada utilizando o conjunto de dados "P5-M0" sem trajetos múltiplos, e com uma relação sinal ruído disponível muito

elevada, de modo a ter um número mínimo de quatro satélites para a navegação. Além disso, o retardo troposférico, para a atividade anti-tumoral do qual um quinto satélite pelo menos teria sido necessário, foi omitido. Enfim, o primeiro intervalo, entre 7200 a 7500 segundos aproximadamente, foi evitado na determinação do posicionamento em relação com certas configurações de corte de fase de portadora, potencialmente devido a problemas de medida no receptor durante esse período. Por outro lado, e do ponto de vista das correções ionosféricas e da taxa de sucesso correspondente da resolução de ambigüidade, os resultados são praticamente os mesmos que aqueles obtidos para o conjunto de dados "P5-M0" (ver TABELA III).

[00103] Essas limitações são devido à utilização de conjuntos de dados fornecidos por sistemas existentes, que sofreram apenas um mínimo de adaptações. Com um conjunto de dados mais realista, por exemplo fornecido por seis satélites ou mais, essas limitações importantes referindo-se à determinação de posicionamento desaparecerão. Será, com efeito, possível obter melhor geometria (um fator de geometria "DOP", ou fator de "Diluição de Precisão" de geometria, menor) e a possibilidade de detectar e de filtrar satélites (tipicamente nenhum, ou às vezes um limite) apresentando erros de ambigüidade. Isto poderá ser realizado, utilizando-se um filtro de navegação ou de algoritmos de controle autônomos de receptor).

[00104] Os resultados correspondentes aos quatro satélites contidos no conjunto de dados P5-M0 são indicados nas figuras 7A a 7D, mostrando os residuais de pré-ajustamento (Figura 7A), os componentes do Leste (Figura 7B), do Norte (7C) e de vertical (7D) do erro de posicionamento instantâneo após aplicação do processo, de acordo com a invenção, para um nômade SUR afastado de 129 km aproximadamente de uma estação de referência REF, as ordenadas dos gráficos são graduadas em metros e as abscissas (retardos) em segundos.

[00105] A título de comparação, as figuras 8A a 8D representam dados correspondentes, mas para ambigüidades reais.

[00106] A característica principal dos residuais de pré-ajuste $\nabla\Delta L_c$ (figura 7A) são erros de aproximadamente 10 cm associados a um erro de um ciclo L_1 (aproximadamente 8%: ver TABELA III), que produzem erros de navegação (*single epoch*) semelhantes a saltos. Eles estão também representados nas figuras 7B a 7D. Eles são amplificados pela diluição correspondente de fator geométrico de precisão ("DOP"). Essas más avaliações da ambigüidade L_1 afetam tipicamente uma dupla diferença sobre cada uma das três que estão disponíveis por época (o número mínimo para determinar um posicionamento), isto de tal maneira que esse erro afeta três vezes o posicionamento (aproximadamente 24% das épocas, com 76% dos erros em três dimensões abaixo de 5 cm e 100% abaixo de 21 centímetros). Embora a distribuição dos erros não seja gaussiana, os valores eficazes ("RMS") resultantes em três dimensões são de 7, 3,5 e 2 centímetros, para os componentes de Leste, do Norte e de vertical respectivamente.

[00107] Para resumir esses resultados, erros de 1, 1, e 2 cm "RMS" são obtidos para as componentes do Leste, do Norte e de vertical, respectivamente, quando a ambigüidade é bem resolvida (aproximadamente de 92% dos testes e 77% das épocas) e de 3,5 e 2 cm "RMS" para as componentes do Leste, do Norte e da vertical, respectivamente, incluindo as épocas com uma má resolução de ambigüidade.

[00108] Além disso, as observações minoradas de cálculos de residuais, antes do ajuste, da dupla diferença de fase de portadoras e os erros de navegação instantâneos (*single epoch*) estão representados nas figuras 8A a 8D. Consta-se que a amplificação do ruído de fase e de portadora é nítida, em particular na componente vertical, atingindo aproximadamente 5 cm de erro. Essa trajetória (com um valor "RMS" em três dimensões de 3 cm, 1,1 cm e 2 cm para as componen-

tes do Norte, do leste e da vertical, e níveis de 95% a aproximadamente 1, 2 e 4 cm, respectivamente) representa inteiramente bem a solução que poderia ser obtida com um filtro de tempo real, ao invés da solução em modo instantâneo (*single epoch*), após a resolução correta das ambigüidades durante as primeiras épocas.

[00109] A fim de caracterizar o impacto dos tempos de latência na correção ionosférica (devido por exemplo a problemas potenciais nas comunicações) dos retardos de 1 a 30 segundos (30 épocas) foram considerados para os cálculos ionosféricos de correção na rede de estações fixas. Para cada um desses retardos, calculou-se a percentagem de sucesso para uma "ddSTEC" (em TECU), para se obter uma precisão absoluta de 0,26 TECU, para um nômade afastado de 129 km. Essa percentagem foi reportada na figura 9, em função do tempo de latência (em segundos). Constata-se facilmente que o efeito dos tempos de latência é desprezível até 30 s, com uma taxa de sucesso superior a 90% alcançada para todos os tempos de latência.

[00110] Na figura 10, de maior tempo de latência, foram considerados, mas isto ao mesmo tempo para correções de rede de referência e de nômade, de tal modo que os pontos de entrada ionosféricos permanecem estreitos. Constata-se que, após 5 minutos, a taxa de sucesso diminui de 90% a 85%. Após 10 minutos, a taxa de sucesso diminui ainda para atingir 75%. Esses valores podem ser degradados mais fortemente em cenários que apresentam uma variação do retardo ionosférico diferencial ainda mais elevado.

[00111] Constata-se, portanto, que, a uma latitude média, o tempo de latência não apresenta um problema importante para o processo, de acordo com a invenção, que pode suportar tempos de latência que vão tipicamente até 5 minutos aproximadamente.

[00112] Na leitura do que precede, constata-se facilmente que a invenção atinge bem as finalidades que se fixaram.

[00113] O processo, de acordo com a invenção, permite, aplicando-se correções ionosféricas em tempo real, como auxílio de um modelo tomografia da ionosfera, acompanhados de um mínimo de cálculos geodésicos, uma resolução instantânea de ambigüidade completa. Ela permitiu uma navegação com uma precisão da ordem do centímetro, a distâncias de mais de 100 km de estações de referência.

[00114] A invenção encontrará uma aplicação preferida nos próximos sistemas de navegação por satélite, tal como "GALLILEO" ou o "GPS" modernizado, aplicando a emissão de portadoras sobre três faixas de frequência distintas.

[00115] De acordo com uma característica principal do processo, de acordo com a invenção, essa possibilidade de navegação instantânea, a uma precisão melhor do que o decímetro, é devido ao fato de se combinar um processo de resolução de ambigüidade de fase de três portadoras, de tipo "TCAR", pouco complexa, com uma determinação de um modelo ionosférico em tempo real com vistas a poder aplicar correções ionosféricas.

[00116] Os exemplos de experimentação lembrados na presente descrição, mostram uma melhoria nítida dos resultados obtidos por processos da técnica conhecida, em condições equivalentes:

- a taxa instantânea de sucesso (*single epoch*) de aproximadamente 60% ou menos é melhorada e passa a aproximadamente 90%, isto a distâncias de mais de 100 km de uma estação terrestre fixa, de referência a mais próxima, e em condições difíceis para realizar um modelo ionosférico (ao meio dia no máximo solar);

- esse rendimento elevado é mantido com tempo de latência de aproximadamente 5 minutos nas correções ionosféricas;

- a navegação correspondente, apesar do número limitado de quatro satélites disponíveis, para as condições de experimentação retidas a título de exemplo, nos conjuntos de dados, pode ser feita ins-

tantaneamente, em modo *single epoch*, e permite valores "RMS" em três dimensões, de 3, 5 e 2 centímetros para as componentes de Leste, de Norte e de vertical, respectivamente;

- em um modo de realização preferido, um teste em tempo real de integridade de ambigüidade, à medida que uma abordagem de redução simples de trajetos múltiplos pseudodistâncias foi incorporada ao processo permitiu melhorar os desempenhos; e

- esses bons desempenhos foram também provados em cenários difíceis:

- . baixa latitude (35 graus ao invés de 48 graus) com valores ionosféricos mais elevados;

- . condições extremas no que refere-se ao trópico, abaixo da "Anomalia Equatorial Nórdica da ionosfera", onde se produzem tipicamente os gradientes os mais elevados. Neste caso, é necessário que o usuário produza sua própria alimentação de filtro ionosférico e a combine com as correções da rede de referência e suas próprias observações ionosféricas;

- . dinâmica elevada, tornando possível o fornecimento de correções ionosféricas precisas, utilizável por uma aeronave volante de avião a aproximadamente 140 km da estação de referência a mais próxima.

[00117] Deve ficar claro, todavia, que a invenção não está limitada aos únicos exemplos de realização explicitamente descritos, notadamente em relação com as figuras 1 a 8.

[00118] Enfim, os exemplos numéricos foram fornecidos apenas para melhor fixar as idéias e constituiriam apenas uma limitação qualquer do alcance da invenção. Eles procedem de uma simples escolha tecnológica ao alcance do Técnico.

TABELA I

	X=1	X=2	X=3	X=ew	X=w
Frequência (f_x , MHz)	1575,42	1227,6	1615,5	40,08	347,82
Comprimento de onda (λ_x , m)	0,1903	0,2442	0,1856	7,4799	0,8619
Erro de medida de fase (ϵ_x , m)	$\approx 0,002$	$\approx 0,002$	$\approx 0,002$	$\approx 0,1$	$\approx 0,01$
Erro de medida de código (E_x , m)	≈ 3	≈ 3	≈ 3	$\approx 2,1$	$\approx 2,1$
Fase de trajetos múltiplos máxima (m_x , m)	$\ll 0,05$ ($\leq 0,01$)	$\ll 0,06$ ($\leq 0,01$)	$\ll 0,05$ ($\leq 0,01$)	$\ll 2$ ($\leq 0,5$)	$\ll 0,2$ ($\leq 0,05$)
Código de trajetos múltiplos máximo (M_x , m)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)
Coefficiente ionosférico (α_x , m/TECU)	-0,1623	-0,2673	-0,1543	-0,2083	-0,2031

TABELA II

	Vantagens	Inconvenientes
"TCAR"	Baixa carga de cálculos	Erro ionosférico limitando seriamente a resolução da terceira ambigüidade
"ITCAR"	Resultados melhorados, integrando TCAR em um filtro de navegação	O retardo ionosférico continua a limitar a resolução da terceira ambigüidade
"WARTK"	Uma modelização em tempo real precisa permite uma navegação precisa a uma centena de quilômetros da estação de referência a mais próxima	Carga elevada de cálculos: uma necessidade de cálculo de uma primeira solução independente da ionosfera para o nômade e um tempo de convergência significativo são necessários.

Processo de acordo com a invenção	Baixa carga de cálculo e modelização precisa em tempo real da ionosfera, permitindo uma navegação do tipo <i>single epoch</i> precisa a afastamentos de mais de 100 km de uma estação de referência.	
-----------------------------------	--	--

TABELA III

P5-M0/SUR2-REF5 (≈129 km)	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_{ew}$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_w$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_1$
Sem correções ionosféricas	100%	100%	0%
Correção ionosféricas	100%	100%	33%
Correção ionosféricas em tempo real	100%	100%	92%

TABELA IV

P3-M1/SUR2-REF5 (≈129 km)	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_{ew}$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_w$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_1$
Sem correções ionosféricas	90%	95% (86)%	3% (2)
Correção ionosféricas	90%	95% (87)%	35% (31)
Correção ionosféricas em tempo real	90%	95% (86)%	92% (79)

TABELA V

P5-M0/SUR2-REF5 (≈129 km)	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_{ew}^*$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_w^*$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_1^*$	Disponibilidade
Sem correções ionosféricas	99%	95% (94)	0(2)%	38%
Correção ionosféricas	99%	97% (96)	33% (32)	38%
Correção ionosféricas em tempo real	99%	96% (92)	91% (84)	90%

TABELA VI

P3-M1/SUR2-REF5 (≈129 km)	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_{ew}^*$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_w^*$	Taxa de sucesso $\nabla\Delta N_1$	Disponibilidade
Sem correções ionosféricas	100%	100% (100)	0% (0)	0,002%
Correção ionosféricas	100%	100% (100)	37% (37)	0,002%
Correção ionosféricas em tempo real	100%	100% (100)	91% (91)	84%

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de navegação em tempo real com o auxílio de sinais radioelétricos com três portadoras de primeira, segunda e terceira frequências distintas, de valores crescentes, indo dessa primeira a essa terceira frequência, para determinar a posição de um utilizador, denominado nômade, esses sinais radioelétricos sendo emitidos por um número determinado de emissores instalados em satélites que giram em torno do globo terrestre e próximo desse nômade, esses sinais sendo recebidos por um receptor associado a esse nômade e um receptor associado a pelo menos uma estação terrestre dentre uma pluralidade de estações fixas, denominadas de referência, esses sinais radioelétricos atravessando uma camada da atmosfera denominada ionosférica envolvendo esse globo terrestre, e aí sofrendo perturbações que geram ambigüidade de fases dessas portadoras, caracterizado pelo fato de compreender pelo menos as seguintes etapas:

- uma primeira etapa que consiste na determinação, nesse nômade (SUR), da ambigüidade de diferença de fases entre essas terceira e segunda portadoras, dita de "*trajetória extralonga*", a partir de uma combinação de pseudodistâncias utilizando um valor de código único;

- uma segunda etapa que consiste na estimativa, nesse nômade (SUR), da ambigüidade de diferença de fases entre essas primeira e segunda portadoras, dita de "*trajetória longa*", a partir dessa ambigüidade de "*trajetória extralonga*" determinada, quando dessa primeira etapa;

- uma terceira etapa que consiste, nesse nômade (SUR), na resolução da ambigüidade de uma dessas frequências, a partir dessa ambigüidade de "*trajetória longa*" estimada quando dessa segunda etapa; e

- uma etapa suplementar da aplicação de correções ionos-

féricas em tempo real durante essa terceira etapa, essas correções ionosféricas sendo baseadas em um modelo ionosférico em tempo real dessa camada ionosférica (C_{ION}) continuamente atualizado.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de, durante essa terceira etapa, essa relação de ambigüidade ser efetuada nessa primeira frequência de portadora.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de esse modelo ser um modelo ionosférico de descrição dessa camada ionosférica, determinado por pelo menos uma dessas estações terrestres de referência (REF) recebendo sinais emitidos por um número predeterminado desses satélites (SAT_1-GPS_{E1} a $SAT_n - GPS_{En}$), girando em torno do globo terrestre (GT) e em vista desta, esses sinais compreendendo pelo menos duas portadoras de frequências distintas, pelo fato de esse modelo ser determinado a partir da dados de fases desses sinais emitidos, e pelo fato de compreender uma etapa de transmissão de dados correspondentes a esse modelo ionosférico.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de essa determinação de modelo ionosférico ser obtida a partir da estimativa da distribuição de elétrons livre nessa camada ionosfera (C_{ION}), pelo fato de essa estimativa sendo realizada de forma aproximada, decompondo a camada ionosférica (C_{ION}) em uma grade de unidades de resolução de volumes (Vox_{ijk}), ditos "voxels", iluminada pela radiação radioelétrica desses sinais propagando-se nessa camada ionosférica (C_{ION}), nas quais a distribuição ionosférica de densidade de elétrons, é assumida constante em um instante determinado, e pelo fato de essa determinação ser obtida por resolução em tempo real da densidade média de elétrons em cada uma dessas unidades de volume (Vox_{ijk}) iluminadas por essa radiação radioelétrica, fazendo-se uso de um filtro dito de Kalman.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa suplementar que consiste em combinar dados associados ao modelo ionosférico com dados geodésicos calculados simultaneamente, e pelo fato de esses dados geodésicos serem calculados por uma única dessas estações terrestres fixas de referência ($REF_M - REF_{ME}$), dita estação mestra, e distribuídas nessa pluralidade de estações terrestres fixas de referência (REF).

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa suplementar que consiste em utilizar três códigos de pseudodistâncias, associados a essas três portadoras, quando dessa primeira etapa determinação das ambigüidades de diferença de fases entre essas terceira e segunda portadoras, dita "trajetória extralonga".

7. Processo, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa suplementar que consiste em efetuar um teste de integridade, utilizando códigos de pseudodistâncias de "trajetória larga" e essa segunda freqüência para detectar saltos associados a um erro nessa resolução de ambigüidade dessa primeira freqüência.

8. Sistema de navegação por satélite para a aplicação do processo, como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de compreender uma pluralidade de satélites (SAT_1-GPS_{E1} a $SAT_n - GPS_{En}$), girando em torno do globo terrestre (GT), cada um dos satélites emitindo esses sinais a três portadoras de freqüências distintas, pelo menos um nômade (SUR) compreendendo um receptor (SUR_{GPS}) desses sinais e meios de cálculo integrados efetuando essa primeira à essa terceira etapa e integrar essas correções ionosféricas provenientes de um modelo ionosférico de descrição de uma região da ionosfera atravessada pela radiação radioelétrica desses sinais emitidos por essa pluralidade de satélites

SAT₁-GPS_{E1} a SAT_n – GPS_{En}), uma pluralidade de estações terrestres fixas ditas de referência (REF) compreendendo, cada uma, um receptor (REF_{GPS}) recebendo esses sinais emitidos por esses satélites, meios de cálculos integrados para a determinação desse modelo ionosférico de descrição da camada ionosférica (C_{ion}), e um emissor (REF_E) para transmitir dados correspondentes a esse modelo ionosférico a esse receptor (SUR_{GPS}) de nômade (SUR) e pelo fato de pelo menos uma dessas estações terrestres fixas de referência (REF_m), dita mestra, compreender um receptor (REF_{MGPS}) desses sinais emitidos por essa pluralidade de satélites (SAT₁-GPS_{E1} a SAT_n – GPS_{En}), meios de cálculo de dados geodésicos e um emissor (REF_{ME}) para distribuí-los a essa pluralidade de estações terrestres fixas de referência(REF).

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de esse nômade (SUR) ficar situado a uma distância de mais de 100 km da estação terrestre fixa de referência a mais próxima (REF).

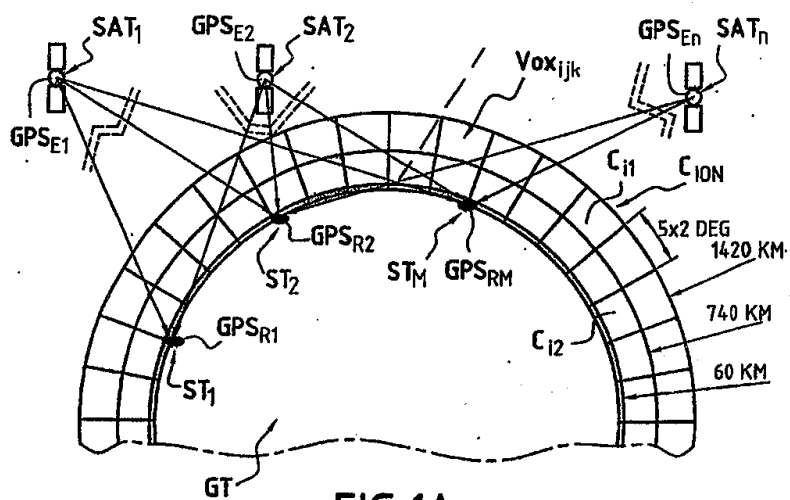


FIG. 1A

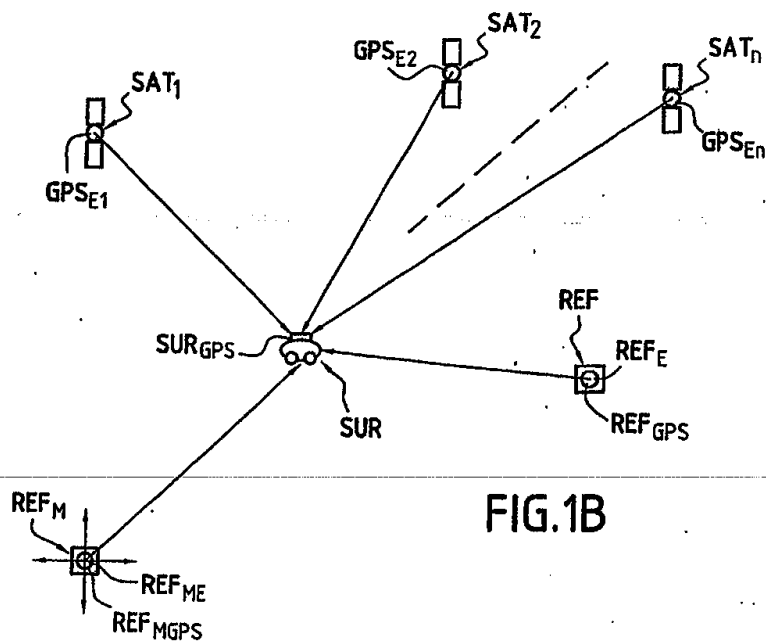


FIG. 1B

FIG.2

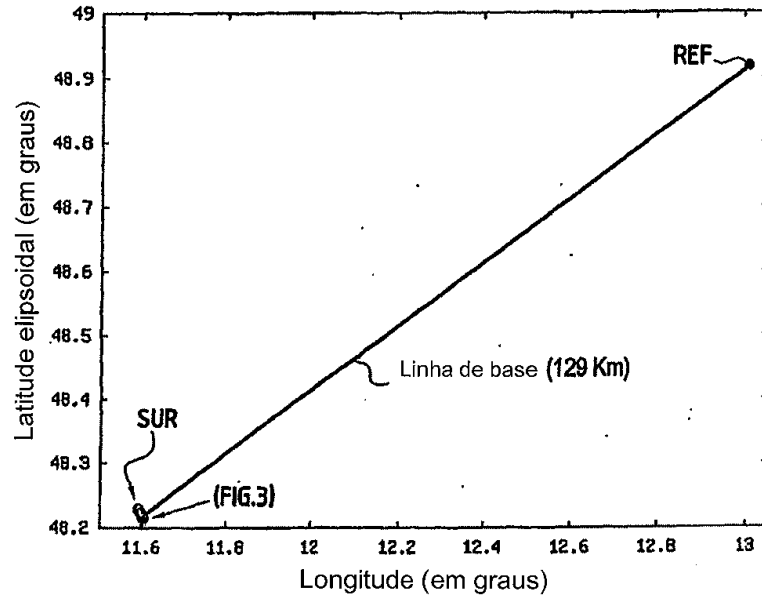


FIG.3

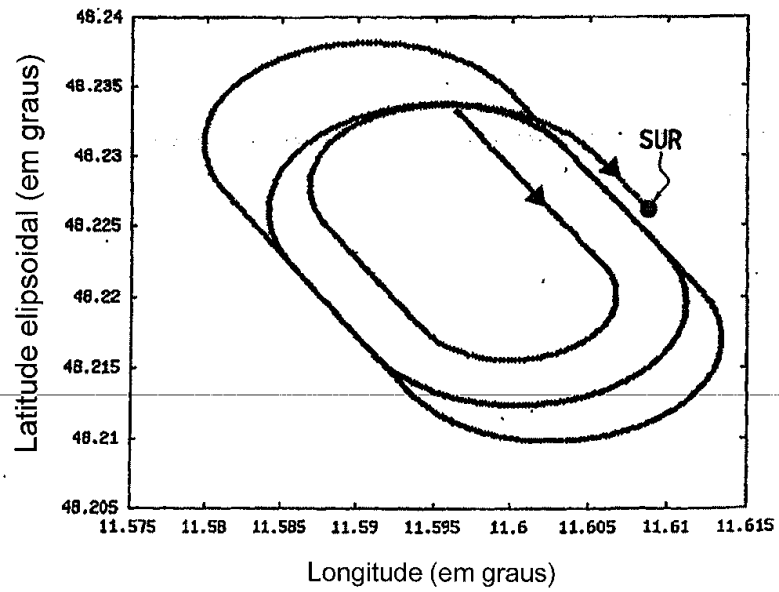


FIG.4

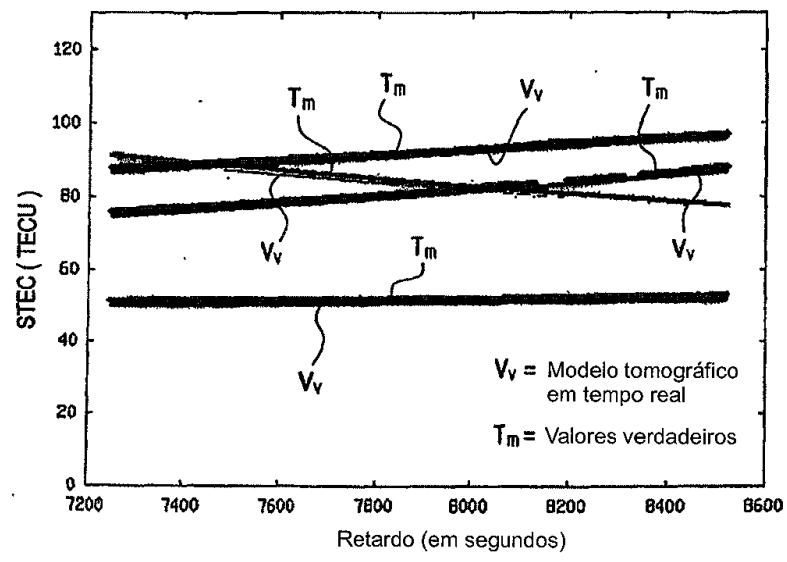


FIG.5

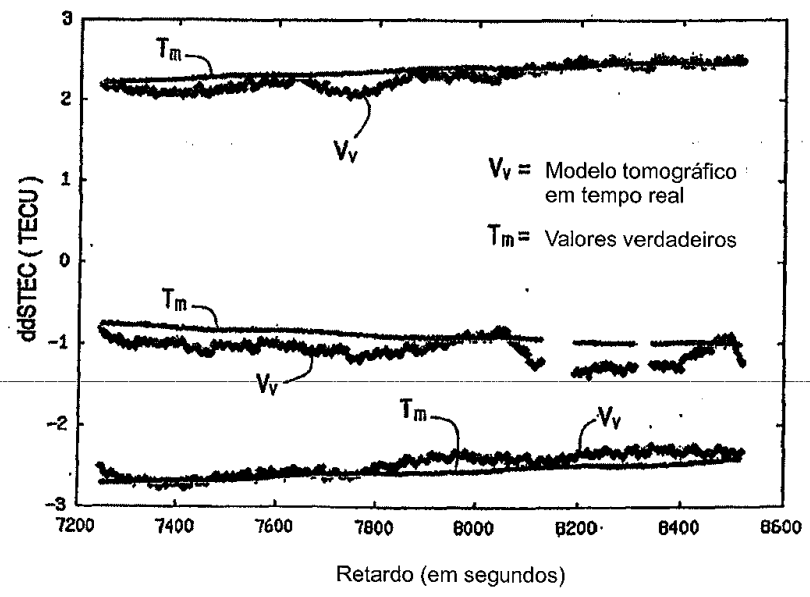
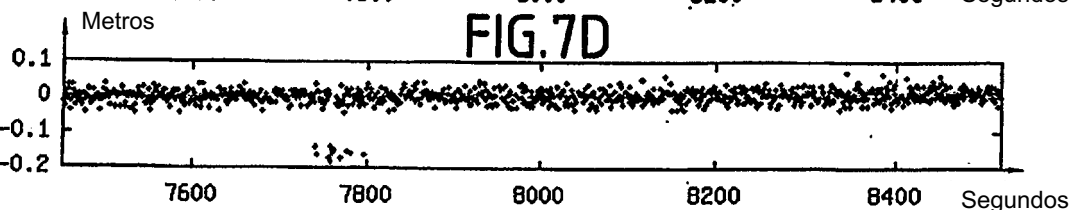
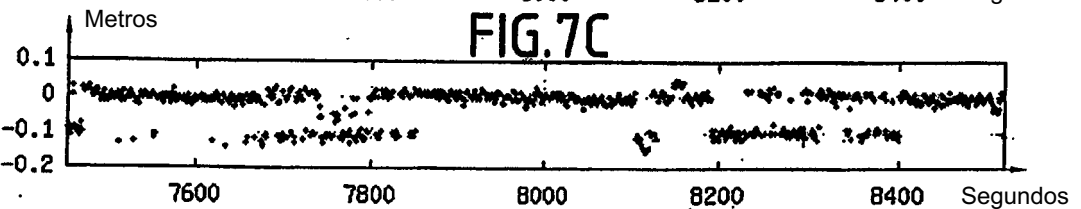
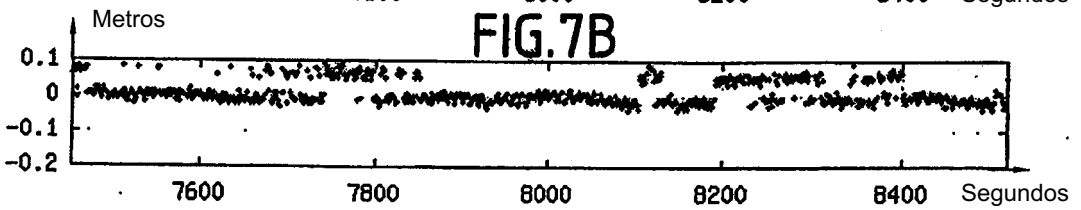
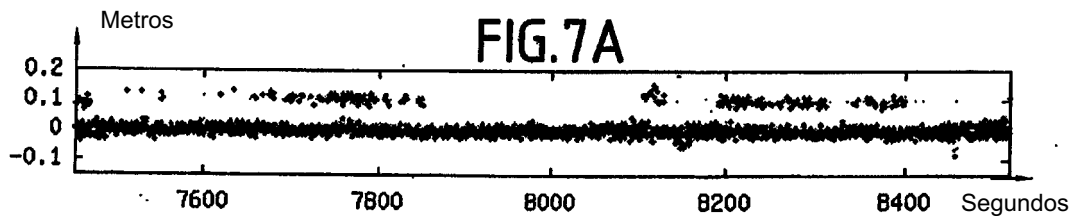
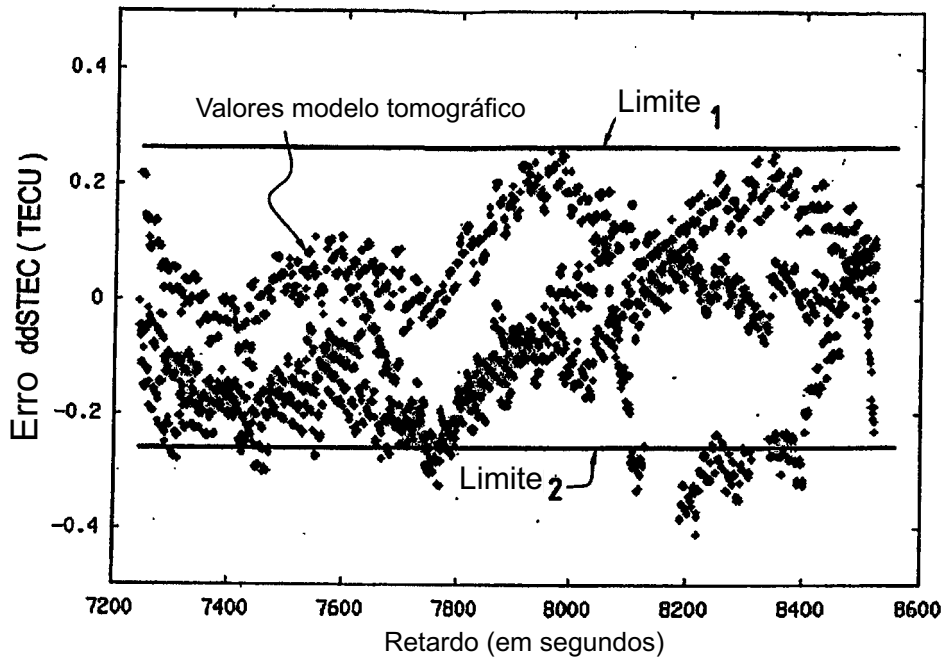
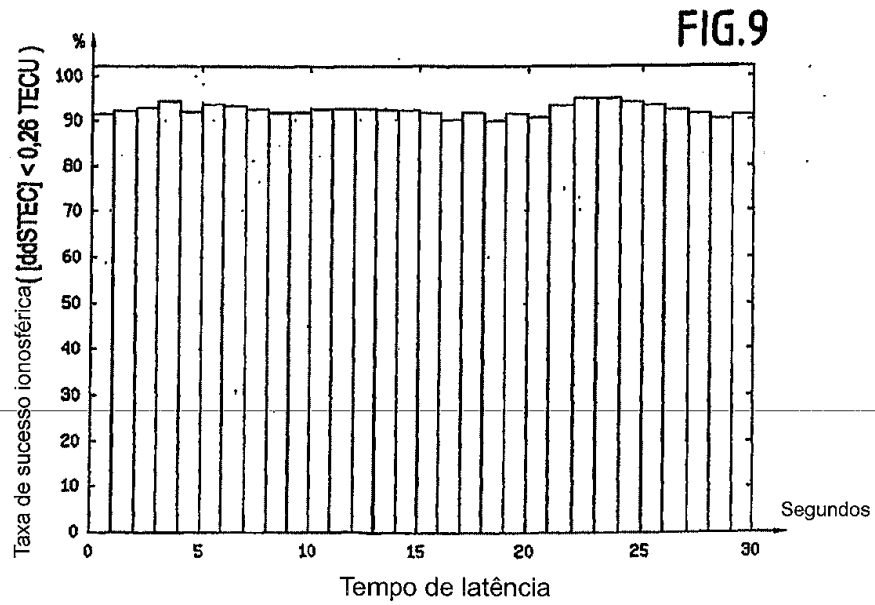
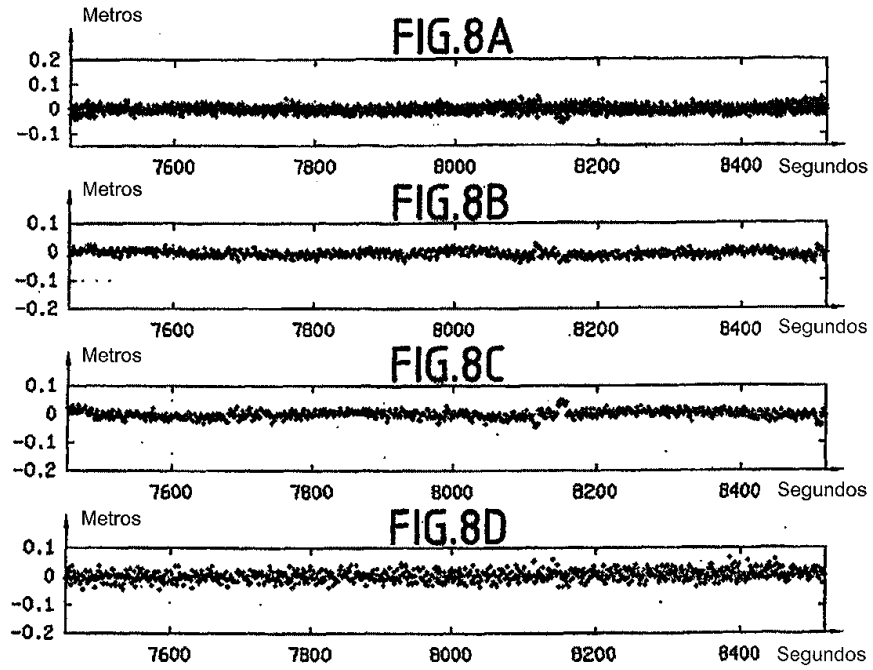


FIG.6



P I O S I P W S

5/6



P 1 0 3 1 7 4 8

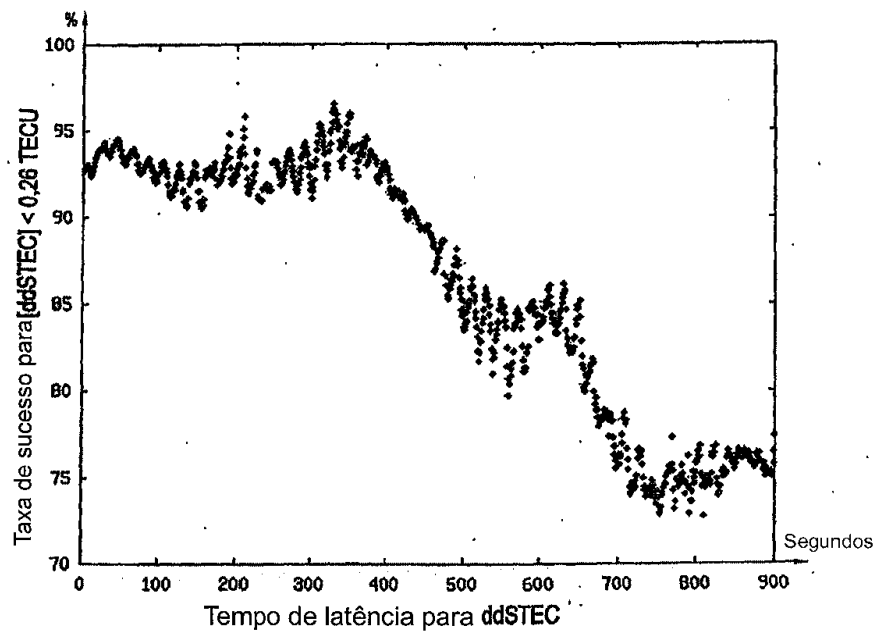


FIG.10