

PROGRAMAS DE CALCULO GEODÉSICO
TRANSFORMAÇÕES DE COORDENADAS

Genaro Araújo da Rocha
Rua Visconde de Pirajá, 443/501
22410-003 - Rio de Janeiro - RJ

RESUMO

O autor acredita que é importante relembrar assuntos de interesse de estudantes e de profissionais da área da Cartografia em início de carreira.

No caso das transformações de coordenadas geodésicas, o tema é sempre oportuno, pelas exigências do desenvolvimento da Cartografia e, em especial, quando se modificam os processos e equipamentos de cálculo.

Com este pensamento, o autor preparou dois programas genéricos para transformação de coordenadas e sistemas geodésicos utilizando microcomputadores, a partir de modelos matemáticos já testados por organizações nacionais da área cartográfica, em programas desenvolvidos para calculadora manual.

Um dos programas transforma coordenadas geodésicas de um sistema em coordenadas planas, em outro sistema, e o segundo programa transforma coordenadas planas de um sistema em coordenadas planas, em outro sistema.

O objetivo do trabalho é dar continuidade, embora que modestamente, à divulgação de conhecimentos nessa área.

ABSTRACT

The author believes that is important to remind basic knowledges that have interest to our students and junior professionals of the cartographic area, because of the recent changes in methods and instruments of computation.

For that reason, he made use of mathematical models which have already been proved by national organizations and has developed, in Qbasic language, two generical programs used in coordinates and geodetic systems transformation.

One program transforms geodetic coordinates of a system into plane coordinates of another system. The second program transforms plane coordinates of a system into plane coordinates of another system.

INTRODUÇÃO

As várias mudanças observadas nos últimos tempos, nos processos e equipamentos de cálculo utilizados na abordagem das questões geodésicas, tornaram necessárias a reprogramação e a divulgação de soluções de problemas básicos, na área da Cartografia.

A ênfase dada ao cálculo de transformações de coordenadas e sistemas geodésicos se justifica pela diversidade de sistemas existentes, pela popularização do emprego de instrumentos e métodos de obtenção de coordenadas geodésicas através de rastreamento de satélites artificiais e pelas exigências da representação cartográfica no plano das projeções.

Embora seja este um assunto muito conhecido de profissionais experientes, julgamos de alguma valia abordá-lo, visando lembrá-lo junto a estudantes e profissionais da área cartográfica em início de carreira.

EVOLUÇÃO RECENTE DOS PROCESSOS DE CÁLCULO

Em 1957, a então Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) publicou o trabalho do Cel. Carlos Braga Chagas sob o título "O SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM (UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR) E SEU EMPREGO NA ELABORAÇÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS", onde se pode apreciar o didatismo do autor e a profusão de ensinamentos, mas onde, também, se constata que os cálculos eram ainda dependentes de tabelas. Este processo a DSG utilizou desde 1937, de acordo com a sua publicação "PROJEÇÃO CONFORME DE GAUSS" (DSG 1946), e já era um avanço, porque ainda se fazia uso das taboas de logaritmos.

Esta situação se manteve por mais alguns anos, até o surgimento das calculadoras programáveis.

Em julho de 1981, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou o trabalho do Eng. Jorge Pinto Gomes, da Superintendência de Geodesia, intitulado TRANSFORMAÇÕES DE COORDENADAS GEODÉSICAS \leftrightarrow UTM E TRANSFORMAÇÕES DE SISTEMAS GEODÉSICOS, no qual são apresentados programas para a solução dos problemas citados, com emprego da calculadora HP.97.

No trabalho, como o do Cel. Chagas, destinado à divulgação de conhecimentos, o autor teve o louvável cuidado de registrar os modelos matemáticos empregados, tornando muito cômodas as tarefas de reprogramação para cálculo em outros equipamentos ou linguagens.

Inspirados nestes exemplos e utilizando as equações citadas no trabalho acima referido, desenvolvemos, em 1992, uma série de programas específicos, para computação eletrônica, fazendo uso de um microcomputador 286, o sistema operacional MS-DOS 5 e o programa interpretador Qbasic, de linguagem muito conveniente para o tratamento de problemas matemáticos.

Englobando esses programas específicos, preparamos dois programas

genéricos, os quais trazemos a público nesta oportunidade, certos de que existem muitos outros programas mais poderosos e melhor estruturados, mas de escassa ou nenhuma divulgação, entre nós, do seu desenvolvimento, lacuna que almejamos suprir.

PROGRAMAS PARA CALCULO ELETRONICO

Os programas receberam as denominações de GEOXPLNY.BAS e PLANO X-Y.BAS e se destinam, respectivamente, à solução dos seguintes problemas:

- 1- Conhecidas as coordenadas geodésicas de um ponto em um sistema, determinar as coordenadas geodésicas e as coordenadas planas, em outro sistema, e a distancia entre as superficies elipsoidais, no ponto.
- 2- Conhecidas as coordenadas planas de um ponto em um sistema, determinar as coordenadas geodésicas e as coordenadas planas, em outro sistema, e a distancia entre as superficies elipsoidais no ponto.

São programas abrangentes, porque, ao passar de coordenadas geodésicas em um sistema, para coordenadas planas, em outro sistema, determinam-se também as coordenadas geodésicas no segundo sistema e, ao passar de coordenadas planas em um sistema para coordenadas planas, em outro sistema, determinam-se, também, as coordenadas geodesicas em ambos os sistemas.

De um programa genérico podem ser derivados vários programas específicos, bastando, em cada caso, eliminar, na área de entrada de dados (INPUT) e transferir para a área de cálculo os elementos conhecidos dos sistemas envolvidos.

Exemplo:

Na transformação de coordenadas UTM/ CORREGO ALEGRE para coordenadas UTM/ SAD 69, são elementos conhecidos os semi-eixos maiores e os achatamentos dos elipsoides dos sistemas, os parâmetros de translação entre os sistemas e os valores de N_0 , E_0 e K_0 da projeção UTM.

Assim, o programa PLANO X-Y.BAS transforma-se no programa, digamos, UTMCASAD.BAS, que pede, como dados de entrada, apenas o nome do ponto, suas coordenadas UTM e a longitude do meridiano central do fuso de interesse.

Os programas estão listados para emprego em computador ligado à impressora e para cálculos contínuos.

Para uso sem impressora, devem ser substituídos os comandos LPRINT por PRINT e, para interromper a sequência de cálculos, pressionar, simultaneamente, as teclas "Ctrl" e "Break". Para que o programa deixe de efetuar cálculos seguidos, retirar a instrução GOTO 1 (última).

Os programas têm aplicação direta no hemisfério sul, a oeste de Greenwich.

Para o hemisfério norte, há observações a fazer.

Como a programação se destina a cobrir o território brasileiro, cuja porção norte é, proporcionalmente, pequena, as latitudes e longitudes entram no cálculo sempre com o sinal negativo.

Devido a isto, na transformação de graus e fração em graus, minutos e segundos, com uso da função FIX do Qbasic, é necessária uma multiplicação por -60, para retirar o sinal negativo deixado pela função, quando separa os inteiros das frações.

Este artifício, inconveniente quando aplicado às latitudes norte, causa o aparecimento, na saída das latitudes, de sinais negativos esdrúxulos, facilmente reconhecíveis e descartáveis.

Quem desejar modificar os programas, para torná-los mais abrangentes, deve observar que:

1 - (Programa PLANOXY.BAS)

No hemisfério sul, $N0$ da projeção UTM = 10 000 000; no hemisfério norte, $N0 = 0$, o que torna $N2 = (N1 - N0) / K0$ negativo no hemisfério sul e positivo no hemisfério norte.

2 - (Programa GEOXPLNY.BAS)

A latitude entra sem sinal, (portanto positiva), mas, na primeira instrução de cálculo, ela muda de sinal e, daí em diante, tudo se passa como se o ponto estivesse no hemisfério sul.

Os programas pretendem ser compreensíveis, porque explicitam todo o desenvolvimento dos cálculos, permitindo o controle das operações em qualquer etapa, bastando acrescentar o comando LPRINT ou PRINT após a instrução a verificar.

Os programas foram testados, repetindo os exemplos dados no trabalho do Eng. J.P.Gomes, sem qualquer discrepância.

Os pontos do trabalho não têm denominação, e atribuímos aos mesmos nomes fictícios (PRIMEIRO, SEGUNDO, etc.) acompanhando a ordem de apresentação dos exemplos.

Os programas também foram testados, realizando-se transformações sobre as coordenadas da estação IPIRAJA, do IBGE, que é idêntica ao vértice PEDRA BRANCA, da triangulação principal do Município do Rio de Janeiro, bem como sobre o ponto QUILOMBO (latitude aproximada de 30 graus), do trabalho do Cel. Chagas.

Todas as equações registradas no trabalho do Eng. Jorge Pinto Gomes, com exceção de uma, foram aplicadas neste, em Qbasic, cuja linguagem de representação matemática é muito próxima da usual. A exceção é para as fórmulas de obtenção de "A" (coeficiente função do achatamento do elipsoide), com utilização de apenas uma, por serem as duas equivalentes até a nona casa decimal.

BIBLIOGRAFIA

- ABIB, O.A. Parâmetros de transformação de datum WGS 72/ SAD.69, Revista Brasileira de Cartografia (RBC) nº 20, 1978.
- ANDRADE, J.B. Determinação simultânea de parâmetros de transformação entre referenciais geodésicos e de desníveis geoidais, R.B.C nº 37, 1984.
- ANDRADE, J.B. Transformação NSWC 9Z-2 / SAD.69 e mapa geoidal SAD 69, R.B.C. nº 44, 1991.
- CHAGAS, C.B. O sistema de projeção UTM e seu emprego na elaboração de cartas topográficas, Notas para o Curso de Sargentos Topógrafos, DSG, 1957.
- FORTES, L.P.S.; CAGNIN, I.F.; GODOY, R.A.Z.; BLITZKOW, D. Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10, NSWC-9Z2, WGS-84 e o SAD 69, Anais do XIV C.B.C., Vol.1, GRAMADO, RS, 1989.
- GOMES, J.P. Transformações de coordenadas geodésicas <---> UTM e transformações de sistemas geodésicos, publ. IBGE, julho/1981.
- KADLEC, F.A.; GOMES, J.P. Cálculo de parâmetros de transferências de sistemas geodésicos, R.B.C. nº 22, 1978.
- KRUKOSKI, W.R.M. Transformação de coordenadas plano retangulares Notas para aula, IME.
- KRUKOSKI, W.R.M. Transformação de datum geodésico, R.B.C., nº 11/74
- PERRY, G.M. Qbasic by example, publ. QUE, Indianópolis, IN, 1992
- ROCHA, G.A. A Cartografia brasileira e a geodésia por satélites, V C.B.C., Brasília, D.F., publ. S.A. Cruzeiro do Sul S.A., Rio de Janeiro, 1971.
- RODRIGUEZ, L.V. O problema do datum geodésico, Tese de concurso para Docencia Livre, EPUSP, São Paulo, 1957.
- RODRIGUEZ, L.V. O datum geodésico do Chuà, R.B.C. nº 19, 1977.
- SANTOS, V.C.; MESQUITA, S.M. Transposição do datum geodésico, Anais do VII C.B.C., SÃO PAULO, 1975.
- SILVA, L.F.C. Transformação de coordenadas, uma alternativa, R.B.C. nº 37, 1984.

PROGRAMA, EM QBASIC, PARA TRANSFORMACAO DE SISTEMAS
 - DE GEODESICO X PARA PLANO Y -
 "GEOXPLNY.BAS

ESTE PROGRAMA PROCESSA A TRANSFORMACAO DAS COORDENADAS GEODESICAS DE UM PONTO, DADAS EM UM SISTEMA (S1), PARA COORDENADAS PLANAS EM OUTRO SISTEMA (S2), COM DETERMINACAO INTERMEDIARIA DA LATITUDE E DA LONGITUDE NO S2 E DA DISTANCIA ENTRE AS SUPERFICIES ELIPSOIDAIS, NO PONTO, SE DEFINIDOS OS DOIS SISTEMAS, OS PARAMETROS DE TRANSLACAO ENTRE AMBOS E AS CARACTERISTICAS DA PROJECAO.

CLS

```
1 INPUT " (Dados do Programa GEOXPLNY.BAS)      NOME DO PONTO: "; NOMES$
INPUT " Semi-eixo maior do elip.no S1,em metros= "; SEMS1#
INPUT " Achatamento do elipsoide no S1,em decimais= "; ACHS1#
INPUT " Semi-eixo maior do elips.no S2, em metros= "; SEMS2#
INPUT " Achatamento do elipsoide no S2,em decimais= "; ACHS2#
INPUT " Translacao Delta X do S1 para o S2= "; DX#
INPUT " Translacao Delta Y do S1 para o S2= "; DY#
INPUT " Translacao Delta Z do S1 para o S2= "; DZ#
INPUT " LATITUDE do ponto no S1,sem sinal, GRAUS= "; GRAULAT1#
INPUT "                               MINUTOS= "; MINLAT1#
INPUT "                               SEGUNDOS= "; SEGLAT1#
INPUT " LONGITUDE do ponto no S1,sem sinal,GRAUS= "; GRAULONG1#
INPUT "                               MINUTOS= "; MINLONG1#
INPUT "                               SEGUNDOS= "; SEGLONG1#
INPUT " NO do meridiano central= "; NO#
INPUT " EO do meridiano central= "; EO#
INPUT " Fator de escala no meridiano central, KO= "; KO#
INPUT " Longit.do merid.central,em graus,com sinal negativo= "; LOG#

LPRINT "GEOXPLNY.BAS"
LPRINT " NOME DO PONTO: "; NOMES$

FGS1# = (GRAULAT1# + MINLAT1# / 60 + SEGLAT1# / 3600) * -1
LPRINT " LATITUDE NO S1, em graus e fracao "; FGS1#

FRS1# = FGS1# / 57.295779513#      '(Latitude do ponto em radianos)

LGS1# = (GRAULONG1# + MINLONG1# / 60 + SEGLONG1# / 3600) * -1
LPRINT "LONGITUDE NO S1, em graus e fracao "; LGS1#

LRS1# = LGS1# / 57.295779513#      '(Longitude do ponto, em radianos)

e1Q# = ACHS1# * (2 - ACHS1#)      '(Primeira excentricidade do S1)
EP1# = e1Q# / (1 - e1Q#)        '(Segunda excentricidade do S1)

N1# = SEMS1# / (1 - e1Q# * SIN(FRS1#) ^ 2) ^ (1 / 2) '(Raio curvatura
                                                    'do primeiro vertical
M1# = N1# / (1 + EP1# * COS(FRS1#) ^ 2)           'e da secao meridiana

DSEM# = SEMS2# - SEMS1#
DACH# = ACHS2# - ACHS1#
```

^CALCULO DA LATITUDE E DA LONGITUDE DO PONTO NO SISTEMA S2

```

DFR# = 1 / M1# * ((SEMS1# * DACH# + ACHS1# * DSEM#) * SIN(2 * FRS1#) - DX# *
SIN(FRS1#) * COS(LRS1#) - DY# * SIN(FRS1#) * SIN(LRS1#) + DZ# * COS(FRS1#))

DFG# = DFR# * 57.295779513#

DLR# = 1 / (N1# * COS(FRS1#)) * (-DX# * SIN(LRS1#) + DY# * COS(LRS1#))

DLG# = DLR# * 57.295779513#

FGS2# = FGS1# + DFG#           ^ (Latit.do ponto no S2,em graus e fracao)
LPRINT "LATITUDE NO S2, em graus e fracao=" ; FGS2#

LGS2# = LGS1# + DLG#           ^ (Longit.do ponto no S2,em graus e fracao)
LPRINT "LONGITUDE NO S2, em graus e fracao=" ; LGS2#

GRAULAT2# = FIX(FGS2#)           ^ (Transformacao de graus e
                                ^ fracao de latitude e lon-
                                ^ gitude em graus, minutos e
                                ^ segundos)

MINDECLAT2# = (FGS2# - GRAULAT2#) * -60

MINLAT2# = FIX(MINDECLAT2#)

SEGLAT2! = (MINDECLAT2# - MINLAT2#) * 60

LPRINT "LAT/S2,em GMS=" ; TAB(22); GRAULAT2#; TAB(26); MINLAT2#; TAB(30); SE
GLAT2!

GRAULONG2# = FIX(LGS2#)

MINDECLONG2# = (LGS2# - GRAULONG2#) * -60

MINLONG2# = FIX(MINDECLONG2#)

SEGLONG2! = (MINDECLONG2# - MINLONG2#) * 60

LPRINT " LONG/S2,em GMS=" ; TAB(22); GRAULONG2#; TAB(26); MINLONG2#; TAB(30)
; SEGLONG2!

```

^CALCULO DA DISTANCIA ENTRE AS SUPERFICIES ELIPSOIDAIIS, NO PONTO.

```

DN! = (SEMS1# * DACH# + ACHS1# * DSEM#) * SIN(FRS1#) ^ 2 - DSEM# + DX# * COS
(FRS1#) * COS(LRS1#) + DY# * COS(FRS1#) * SIN(LRS1#) + DZ# * SIN(FRS1#)

LPRINT "Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto = "; DN!

```

^CALCULO DAS COORDENADAS PLANAS DO PONTO, NO SISTEMA S2

FRS2# = FGS2# / 57.295779513# ^ (Latit.do ponto no S2, em radianos)

R2# = SEMS2# / (1 - ACHS2#) ^ (Raio polar no S2)

n# = (2 / ACHS2# - 1) ^ -1 ^ (Coeficientes funcao do achatamento)

A2# = 1 - n# / 4 * (12 + n# * (31 * n# - 21))

B2# = n# / 4 * (12 + n# * (15 + 13 * n#))

C2# = 5 * n# / 72 * (36 + 67 * n#)

D2# = 28 * n# / 9

S# = A2# * (FRS2# - B2# * COS(FRS2#) ^ 2 * TAN(FRS2#) * (1 + C2# * COS(FRS2#) ^ 2 * (D2# * COS(FRS2#) ^ 2 - 1))) * R2# * K0# ^ (Distancia sobre
o meridiano)

LRS2# = LGS2# / 57.295779513# ^ (Longitude do ponto no S2, em radianos)

LOR# = LOG# / 57.295779513# ^ (Longitude do merid,central em radianos)

e2Q# = ACHS2# * (2 - ACHS2#) ^ (Primeira excentricidade do S2)

EP2# = e2Q# / (1 - e2Q#) ^ (Segunda excentricidade do S2)

ETAQ2# = EP2# * COS(FRS2#) ^ 2

V2# = (1 + ETAQ2#) ^ (1 / 2)

DL# = LRS2# - LOR#

DS# = R2# * K0# * TAN(FRS2#) / (2 * V2#) * (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 * (1 + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 12 * (5 - TAN(FRS2#) ^ 2 + ETAQ2# * (9 + 4 * ETAQ2#) + 2 * COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 * (1 + TAN(FRS2#) ^ 2 * (TAN(FRS2#) ^ 2 / 60 - 1))))

E1# = R2# * K0# * COS(FRS2#) * DL# / V2# * (1 + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 6 * (1 - TAN(FRS2#) ^ 2 + ETAQ2# + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 20 * (5 + TAN(FRS2#) ^ 2 * (TAN(FRS2#) ^ 2 - 18))))

N2# = S# + DS# + NO#

E2# = E1# + EO#

LPRINT "N DO PONTO no S2, em metros=" "; N2#

LPRINT "E DO PONTO no S2, em metros=" "; E2#

GOTO 1

PROGRAMA, EM QBASIC, PARA TRANSFORMACAO DE SISTEMAS
 - DE PLANO X PARA PLANO Y -
 PLANOX -Y.BAS

ESTE PROGRAMA PROCESSA A TRANSFORMACAO DAS COORDENADAS PLANAS DE UM PONTO, DADAS EM UM SISTEMA (S1), PARA COORDENADAS PLANAS EM OUTRO SISTEMA (S2), COM DETERMINACAO INTERMEDIARIA DA LATITUDE E DA LONGITUDE NO S1 E NO S2 E DA DISTANCIA ENTRE AS SUPERFICIES ELIPSOIDAIS, NO PONTO, SE DEFINIDOS OS DOIS SISTEMAS, OS PARAMETROS DE TRANSLACAO ENTRE AMBOS E AS CARACTERISTICAS DA PROJECAO.

CLS

```
1 INPUT "(Dados do Programa PLANOX-Y.BAS) NOME DO PONTO: "; NOME$
INPUT "Semi-eixo maior do elip.no S1,em metros= "; SEMS1#
INPUT "Achatamento do elip.no S1,em decimais= "; ACHS1#
INPUT "Semi-eixo maior do elip.no S2,em metros= "; SEMS2#
INPUT "Achatamento do elip.no S2,em decimais+ "; ACHS2#
INPUT "Translacao Delta X do S1 para o S2= "; DX#
INPUT "Translacao Delta Y do S1 para o S2= "; DY#
INPUT "Translacao Delta Z do S1 para o S2= "; DZ#
INPUT "NO do meridiano central= "; NO#
INPUT "EO do meridiano central= "; EO#
INPUT "Fator de escala no meridiano central,KO= "; KO#
INPUT "Longitude do merid.central,em graus,com sinal negativo= "; LOG#
INPUT " N DO PONTO no S1, em metros= "; N1#
INPUT " E DO PONTO NO S1, em metros= "; E1#
```

```
LPRINT ; "PLANOX-Y.BAS"
LPRINT " NOME DO PONTO: "; NOME$
LPRINT " N DO PONTO NO S1 "; N1#
LPRINT " E DO PONTO NO S1 "; E1#
```

CALCULO, EM RADIANS, DA LATITUDE (FP), SOBRE O MERIDIANO CENTRAL,
 DO PE DA PERPENDICULAR DO PONTO.

R1# = SEMS1# / (1 - ACHS1#)

n# = (2 / ACHS1# - 1) ^ -1

A1# = 1 - n# / 4 * (12 + n# * (31 * n# - 21))

F1# = 1 - A1# + .14 * 10 ^ -9

G1# = 3.5 * n# * (1 - n# / .3269)

H1# = 1.388 * G1#

N2# = (N1# - NO#) / KO#

E2# = (E1# - EO#) / KO#

WR# = N2# / (A1# * R1#)

FP# = WR# + F1# * COS(WR#) ^ 2 * TAN(WR#) * (1 + G1# * COS(WR#) ^ 2 * (1 + H1# * COS(WR#) ^ 2))

^CALCULO DA LATITUDE E DA LONGITUDE DO PONTO NO SISTEMA S1.

e1Q# = ACHS1# * (2 - ACHS1#)

EP1# = e1Q# / (1 - e1Q#)

ETAQ1# = EP1# * COS(FP#) ^ 2

VQ1# = 1 + ETAQ1#

V1# = VQ1# ^ (1 / 2)

Q1# = V1# / R1# * E2#

FRS1# = FP# + TAN(FP#) * Q1# ^ 2 / 2 * (-1 - ETAQ1# + Q1# ^ 2 / 12 * (5 + 3 *
(TAN(FP#) ^ 2 * (1 - ETAQ1# * (2 + 3 * ETAQ1#)) + ETAQ1# * (2 - ETAQ1#)) - Q1#
2 / 2 * (4 + 3 * TAN(FP#) ^ 2 * (2 + TAN(FP#) ^ 2))))

FGS1# = FRS1# * 57.295779513# (Latitude do pt.no S1, em graus e fracao)
LPRINT " LATITUDE NO S1, em graus e fracao "; FGS1#

DL1COSFP# = Q1# * (1 - Q1# ^ 2 / 6 * (1 + 2 * TAN(FP#) ^ 2 + ETAQ1# - Q1# ^ 2
/ 20 * (5.05 + 4 * TAN(FP#) ^ 2 * (7 + 6 * TAN(FP#) ^ 2))))

DL1# = DL1COSFP# / COS(FP#)

LOR# = LOG# / 57.295779513#

LRS1# = LOR# + DL1#

LGS1# = LRS1# * 57.295779513# (Longitude do pt.no S1, em graus e fracao)
LPRINT " LONGITUDE NO S1, em graus e fracao "; LGS1#

GRAULAT1# = FIX(FGS1#)

MINDECLAT1# = (FGS1# - GRAULAT1#) * -60

MINLAT1# = FIX(MINDECLAT1#)

SEGLAT1# = (MINDECLAT1# - MINLAT1#) * 60

LPRINT "LATIT/S1, em GMS= "; TAB(22); GRAULAT1#; TAB(26); MINLAT1#; TAB(30);
SEGLAT1#

GRAULONG1# = FIX(LGS1#)

MINDECLONG1# = (LGS1# - GRAULONG1#) * -60

MINLONG1# = FIX(MINDECLONG1#)

SEGLONG1# = (MINDECLONG1# - MINLONG1#) * 60

LPRINT " LONGIT/S1, em GMS= "; TAB(22); GRAULONG1#; TAB(26); MINLONG1#; TAB(30);
SEGLONG1#

^CALCULO DA LATITUDE E DA LONGITUDE DO PONTO NO SISTEMA S2.

N11# = SEMS1# / (1 - e1Q# * SIN(FRS1#) ^ 2) ^ (1 / 2)

M1# = N11# / (1 + EP1# * COS(FRS1#) ^ 2)

DSEM# = SEMS2# - SEMS1#

DACH# = ACHS2# - ACHS1#

DFR# = 1 / M1# * ((SEMS1# * DACH# + ACHS1# * DSEM#) * SIN(2 * FRS1#) - DX# * SIN(FRS1#) * COS(LRS1#) - DY# * SIN(FRS1#) * SIN(LRS1#) + DZ# * COS(FRS1#))

DFG# = DFR# * 57.295779513#

DLR# = 1 / (N11# * COS(FRS1#)) * (-DX# * SIN(LRS1#) + DY# * COS(LRS1#))

DLG# = DLR# * 57.295779513#

FGS2# = FGS1# + DFG# ^(Latitude do pt. no S2, em graus e fracao)
LPRINT " LATITUDE NO S2, em graus e fracao "; FGS2#

LGS2# = LGS1# + DLG# ^(Longitude do pt. no S2, em graus e fracao)
LPRINT " LONGITUDE NO S2, em graus e fracao "; LGS2#

GRAULAT2# = FIX(FGS2#)

MINDECLAT2# = (FGS2# - GRAULAT2#) * -60

MINLAT2# = FIX(MINDECLAT2#)

SEGLAT2! = (MINDECLAT2# - MINLAT2#) * 60

LPRINT "LATIT/S2, em GMS= "; TAB(22); GRAULAT2#; TAB(26); MINLAT2#; TAB(30);
SEGLAT2!

GRAULONG2# = FIX(LGS2#)

MINDECLONG2# = (LGS2# - GRAULONG2#) * -60

MINLONG2# = FIX(MINDECLONG2#)

SEGLONG2! = (MINDECLONG2# - MINLONG2#) * 60

LPRINT "LONGIT/S2, em GMS= "; TAB(22); GRAULONG2#; TAB(26); MINLONG2#; TAB(30);
SEGLONG2!

^CALCULO DA DISTANCIA ENTRE AS SUPERFICIES ELIPSOIDAIIS, NO PONTO.

DN! = (SEMS1# * DACH# + ACHS1# * DSEM#) * SIN(FRS1#) ^ 2 - DSEM# + DX# * COS(RS1#) * COS(LRS1#) + DY# * COS(FRS1#) * SIN(LRS1#) + DZ# * SIN(FRS1#)

LPRINT "Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto= "; DN!

^CALCULO DAS COORDENADAS PLANAS DO PONTO, NO SISTEMA S2.

FRS2# = FGS2# / 57.295779513# (Latitude do ponto no S2, em radianos)

R2# = SEMS2# / (1 - ACHS2#)

nn# = (2 / ACHS2# - 1) ^ -1

A2# = 1 - nn# / 4 * (12 + nn# * (31 * nn# - 21))

B2# = nn# / 4 * (12 + nn# * (15 + 13 * nn#))

C2# = 5 * nn# / 72 * (36 + 67 * nn#)

D2# = 28 * nn# / 9

S# = A2# * (FRS2# - B2# * COS(FRS2#) ^ 2 * TAN(FRS2#) * (1 + C2# * COS(FRS2#) ^ 2 * (D2# * COS(FRS2#) ^ 2 - 1))) * R2# * KO#

LRS2# = LGS2# / 57.295779513# (Longitude do ponto no S2, em radianos)

DL# = -LRS2# - LOR#

e2Q# = ACHS2# * (2 - ACHS2#)

EP2# = e2Q# / (1 - e2Q#)

ETAQ2# = EP2# * COS(FRS2#) ^ 2

V2# = (1 + ETAQ2#) ^ (1 / 2)

DS# = R2# * KO# * TAN(FRS2#) / (2 * V2#) * (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 * (1 + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 12 * (5 - TAN(FRS2#) ^ 2 + ETAQ2# * (9 + 4 * ETAQ2#) + 2 * (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 * (1 + TAN(FRS2#) ^ 2 * (TAN(FRS2#) ^ 2 / 60 - 1))))

E22# = R2# * KO# * COS(FRS2#) * DL# / V2# * (1 + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 6 * (1 - TAN(FRS2#) ^ 2 + ETAQ2# + (COS(FRS2#) * DL#) ^ 2 / 20 * (5 + TAN(FRS2#) ^ 2 * (TAN(FRS2#) ^ 2 - 18))))

N3# = S# + DS# + NO#

E3# = E22# + EO#

LPRINT " N DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= "; N3#

LPRINT " E DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= "; E3#

GOTO 1

TESTES DOS PROGRAMAS

GEOXPLNY.BAS

NOME DO PONTO: PRIMEIRO (SAD/SAD)
 LATITUDE NO S1, em graus e fracao -10.07743
 LONGITUDE NO S1, em graus e fracao -65.31589416666667
 LATITUDE NO S2, em graus e fracao= -10.07743
 LONGITUDE NO S2, em graus e fracao= -65.31539416666667
 LAT/S2,em GMS= -10 4 38.748
 LONG/S2,em GMS= -65 18 57.219
 Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto = 0
 N DO PONTO no S2, em metros= 8885124.770398591
 E DO PONTO no S2, em metros= 246182.4785834397

PLANOX-Y.BAS

NOME DO PONTO: TERCEIRO (SAD/SAD) NORTE
 N DO PONTO NO S1 464281.61
 E DO PONTO NO S1 745159.24
 LATITUDE NO S1, em graus e fracao 4.197281650805363
 LONGITUDE NO S1, em graus e fracao -60.7914833261199
 LATIT/S1,em GMS= 4 -11 -50.21394
 LONGIT/S1,em GMS= -60 47 29.33997
 LATITUDE NO S2, em graus e fracao 4.197281650805363
 LONGITUDE NO S2, em graus e fracao -60.7914833261199
 LATIT/S2,em GMS= 4 -11 -50.21394
 LONGIT/S2,em GMS= -60 47 29.33997
 Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto= 0
 N DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= 464281.6098090843
 E DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= 745159.2396319369

PLANOX-Y.BAS

NOME DO PONTO: IPIRAJA'/PEDRA BRANCA
 N DO PONTO NO S1 7463261.95
 E DO PONTO NO S1 656636.29
 LATITUDE NO S1, em graus e fracao -22.93130799663696
 LONGITUDE NO S1, em graus e fracao -43.47246996017513
 LATIT/S1,em GMS= -22 55 52.70879
 LONGIT/S1,em GMS= -43 28 20.89186
 LATITUDE NO S2, em graus e fracao -22.93130799663696
 LONGITUDE NO S2, em graus e fracao -43.47246996017513
 LATIT/S2,em GMS= -22 55 52.70879
 LONGIT/S2,em GMS= -43 28 20.89186
 Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto= 0
 N DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= 7463261.950281104
 E DO PONTO NO SISTEMA S2, em metros= 656636.2899954366

GEOXPLNY.BAS

NOME DO PONTO: QUILOMBO
 LATITUDE NO S1, em graus e fracao -29.58040472222222
 LONGITUDE NO S1, em graus e fracao -53.963863333333334
 LATITUDE NO S2, em graus e fracao= -29.58040472222222
 LONGITUDE NO S2, em graus e fracao= -53.963863333333334
 LAT/S2,em GMS= -29 34 49.457
 LONG/S2 em GMS= -53 57 49.908
 Delta N, diferenca de geoondulacao (S2-S1), no ponto = 0
 N DO PONTO no S2, em metros= 6723992.292559487
 E DO PONTO no S2, em metros= 212868.9470429505

EXTRATO DO TRABALHO DO ENG. JORGE PINTO GOMES (IBGE)

1.0 - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS PARA COORDENADAS U.T.M.

1.1 - NOTAS:

Este programa calcula coordenadas U.T.M.(N,E) em qualquer elipsóide, sendo dados: parâmetros do elipsóide, latitude, longitude da estação e longitude do meridiano central; oferecendo uma precisão de ± 3 mm dentro da zona de UTM.

1.2 - TEORIA:

Equações compiladas por T. Vincenty dos seguintes manuais:
TM 5-241-18; TM 5-241-8; US ARMY MANUALS OF LATITUDE FUNCTIONS

1.3 - EQUAÇÕES UTILIZADAS:

1.3.1 - DISTÂNCIA SOBRE O MERIDIANO

$$S = A \{ \phi - B \cdot \cos^2 \phi \cdot \operatorname{tg} \phi (1 + C \cdot \cos^2 \phi (D \cdot \cos^2 \phi - 1)) \} \cdot c \cdot K_0$$

ONDE:

ϕ = LATITUDE EM RADIANS

$$c = \frac{a}{1-f} = \text{RAIO POLAR}$$

a = SEMI-EIXO MAIOR

f = ACHATAMENTO

K_0 = FATOR DE ESCALA DO MERIDIANO CENTRAL = 0,9996

$$A = 1 - \frac{n}{4} (12 + n (31 n - 21))$$

$$B = \frac{n}{4} (12 + n (15 + 13 n))$$

$$C = \frac{5n}{72} (36 + 67n)$$

$$D = \frac{28n}{9}$$

$$n = \left(\frac{2}{f} - 1 \right)^{-1}$$

1.3.2 - EQUAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO

$$\Delta S = c.K_0 \cdot \frac{\text{tg}\phi}{2V} (\cos\phi \cdot \Delta\lambda)^2 \left\{ 1 + \frac{(\cos\phi \cdot \Delta\lambda)^2}{12} \cdot \{5 - \text{tg}^2\phi + \eta^2 (9 + 4\eta^2)\} \right. \\ \left. + 2 (\cos\phi \cdot \Delta\lambda)^2 \left(1 + \text{tg}^2\phi \left(\frac{\text{tg}^2\phi}{60} - 1 \right) \right) \right\}$$

$$E' = c.K_0 \cdot \frac{\cos\phi \cdot \Delta\lambda}{V} \left\{ 1 + \frac{(\cos\phi \cdot \Delta\lambda)^2}{6} \left\{ 1 - \text{tg}^2\phi + \eta^2 + \frac{(\cos\phi \cdot \Delta\lambda)^2}{20} \right\} \right. \\ \left. \left(5 + \text{tg}^2\phi (\text{tg}^2\phi - 18) \right) \right\}$$

ONDE:

λ_0 = LONGITUDE DO MERIDIANO CENTRAL

$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$

$\eta^2 = \epsilon \cdot \cos^2\phi$

$\epsilon = \frac{e^2}{1 - e^2}$ = SEGUNDA EXCENTRICIDADE

$e^2 = f (2 - f)$ = PRIMEIRA EXCENTRICIDADE

$V = (1 + \eta^2)^{\frac{1}{2}}$

OBS: Considerar sinal positivo para Longitude a Oeste .

1.3.3 - COORDENADAS U. T. M.

$N = S + \Delta S$ (+ 10.000.000 no Hemisfério Sul)

$E = E' + 500.000$

2.1 - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS U.T.M. PARA COORDENADAS GEO-DÉSICAS

2.2 - TEORIA

Equações compiladas por T. Vincenty do Manual TM 5-241-8. Foram desprezados os termos de quinta e sexta ordem.

2.3 - EQUAÇÕES UTILIZADAS

2.3.1 - Latitude, sobre o meridiano central, do pé da perpendicular do ponto.

$$\phi f = \omega + F \cdot \cos^2 \omega \cdot \operatorname{tg} \omega (1 + G \cdot \cos^2 \omega (1 + H \cdot \cos^2 \omega))$$

ONDE:

$$A = 1 + 3n \left(-1 + \frac{7n}{4} \left(1 - \frac{n}{0.579} \right) \right)$$

$$F = 1 - A + 0.14 \times 10^{-9}$$

$$G = 3.5n \left(1 - \frac{n}{3.3259} \right)$$

$$H = 1.333 G$$

$$n = \left(\frac{Z}{r} - 1 \right)^{-1}$$

$$N' = \frac{N - N_0}{N_0}$$

$$\epsilon' = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon_0}$$

$$K = 0.9996$$

$$\omega = \frac{N'}{A.C}$$

$$c = \frac{a}{1-f}$$

$$N_0 = 10.000.000$$

$$\epsilon_0 = 500.000$$

2.3.2 - EQUAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO

$$\phi = \phi f + \frac{\operatorname{tg} \phi f \cdot Q^2}{2} \left(-1 - \eta^2 + \frac{Q^2}{12} \left(5 + 3 \left(\operatorname{tg}^2 \phi f \left(1 - \eta^2 \right) \right) \right) \right. \\ \left. \left(2 + 3\eta^2 \right) + \eta^2 \left(2 - \eta^2 \right) - \frac{Q^2}{2} \left(4 + 3 \operatorname{tg}^2 \phi f \left(2 + \operatorname{tg}^2 \phi f \right) \right) \right)$$

$$\Delta \lambda \cdot \cos \phi f = Q \left\{ 1 - \frac{Q^2}{6} \left(1 + 2 \operatorname{tg}^2 \phi f + \eta^2 - \frac{Q^2}{20} \left(5.05 + 4 \operatorname{tg}^2 \phi f \right) \right) \right. \\ \left. \left(7 + 6 \operatorname{tg}^2 \phi f \right) \right\}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$$

ONDE:

$$Q = \frac{V}{c} \cdot \epsilon'$$

$$V^2 = 1 + \eta^2$$

$$\eta^2 = \epsilon \cos^2 \phi f$$

$$\epsilon = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

$$e^2 = f (2 - f)$$

a = SEMI-EIXO MAIOR

f = ACHATAMENTO

λ_0 = MERIDIANO CENTRAL

3.0.- TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS GEODÉSICOS

3.1 - NOTAS

Este programa processa a transformação de coordenadas de um ponto referenciado a um Sistema (S_1) para outro Sistema (S_2) Geodésico, através cálculo diferencial, sendo definidos os dois Sistemas e os parâmetros de translação entre ambos.

3.2 - DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA

3.2.1 - PARÂMETROS DO SISTEMA S_1

1 - SEMI-EIXO MAIOR (a_1)

2 - ACHATAMENTO (f_1)

3.2.2 - PARÂMETROS DO SISTEMA S_2

1 - SEMI-EIXO MAIOR (a_2)

2 - ACHATAMENTO (f_2)

3.2.3 - PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO ENTRE OS SISTEMA S_1 e S_2

Δx ; Δy ; Δz

3.2.4 - COORDENADAS DO PONTO NO SISTEMA S_1

1 - LATITUDE

2 - LONGITUDE

3.3 - DADOS DE SAÍDA DO PROGRAMA

3.3.1 - COORDENADAS DO PONTO NO SISTEMA S_2

1 - LATITUDE

2 - LONGITUDE

3.3.2 - DISTÂNCIA ENTRE AS DUAS SUPERFÍCIES ELIPSÓIDICAS (ΔN)
NO PONTO CALCULADO

3.4 - TEORIA

DIFERENCIAIS ABREVIADAS DE MOLODENSKY

3.5 - EQUAÇÕES UTILIZADAS

$$\Delta\phi^0 = \frac{1}{N_1} \left((a_1 \cdot \Delta f + f_1 \cdot \Delta a) \operatorname{sen} 2\phi_1 - \Delta x \cdot \operatorname{sen}\phi_1 \cdot \operatorname{cos}\lambda_1 - \Delta y \cdot \operatorname{sen}\phi_1 \cdot \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta z \cdot \operatorname{cos}\phi_1 \right) \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \operatorname{cos}\phi_1} \left(-\Delta x \cdot \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta y \cdot \operatorname{cos}\lambda_1 \right) \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta N = (a_1 \cdot \Delta f + f_1 \cdot \Delta a) \operatorname{sen}^2\phi_1 - \Delta a + \Delta x \cdot \operatorname{cos}\phi_1 \cdot \operatorname{cos}\lambda_1 + \Delta y \cdot \operatorname{cos}\phi_1 \cdot \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta z \cdot \operatorname{sen}\phi_1$$

$$\phi_2^0 = \phi_1^0 + \Delta\phi^0$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0$$

ONDE:

a_1 = SEMI-EIXO MAIOR DO ELIPSÓIDE DO SISTEMA S_1

f_1 = ACHATAMENTO DO ELIPSÓIDE DO SISTEMA S_1

ϕ_1 = LATITUDE NO SISTEMA S_1

λ_1 = LONGITUDE NO SISTEMA S_1

a_2 = SEMI-EIXO MAIOR DO ELIPSÓIDE NO SISTEMA S_2

f_2 = ACHATAMENTO DO ELIPSÓIDE NO SISTEMA S_2

ϕ_2 = LATITUDE NO SISTEMA S_2

λ_2 = LONGITUDE NO SISTEMA S_2

Δx ; Δy ; Δz = PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO DO S_1 EM REFERÊNCIA AO S_2

$$N_1 = \frac{a_1}{(1 - e_1^2 \cdot \operatorname{sen}^2\phi_1)^{1/2}}$$

$$M_1 = \frac{N_1'}{1 + e_1'^2 \cdot \cos^2 \phi_1}$$

$$\Delta_a = a_2 - a_1$$

$$\Delta_f = f_2 - f_1$$

$$e_1^2 = f_1 (2 - f_1)$$

$$e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2}$$