

Evolução de um Sistema de Projeção para a Área de Influência da Usina Hidrelétrica de Itaipu – Razões e Impactos com a Mudança do Referencial Geodésico

Prof. Doutoranda Mariane Alves Dal Santo ¹
Eng. Doutorando Cícero Bley Junior ²
Prof. Dr. Carlos Loch ³

UFSC - Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGE/UFSC
88040-970 Florianópolis SC
¹marianedalsanto@udesc.br
²cbley@itaipu.com.br
³loch@ecv.ufsc.br

Resumo: Este artigo apresenta uma análise sobre a mudança do sistema de referencial geodésico na área de influência do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu e suas conseqüências em relação a questão da projeção cartográfica a ser adotada na área para minimizar os problemas decorrentes na limitação dos fusos UTM. Para tanto é apresentado um histórico da evolução do sistema, do contexto internacional ao local de forma a apresentar e propor soluções para otimizar e uniformizar os produtos cartográficos da área com vistas ao cadastro técnico multifinalitário.

Palavras chaves: Sistema de Referencial Geodésico, Projeções Cartográficas, Cadastro Técnico Multifinalitário.

Abstract: This paper shows one analysis of change in geodetic reference system in the influence area of Itaipu power dam. Also presents the consequences of right adoption, considering the cartographic projection problems in the edge of UTM zones. Thus, it's describe the historic evolution of the system from international context to local. In this way is possible to propose solutions for optimize and organize cartographics products, aiming to follow the rules of multipurpose technical cadastre.

Keywords: Geodetic Reference System, Cartographic Projection, Multipurpose Technical Cadastre.

HISTÓRICO

No Estado do Paraná durante décadas utilizou-se, procedimentos e instrumental hoje considerados “clássicos” em Geodésia, uma vez que era o que havia de mais preciso no Brasil neste período. Começando pelas cadeias de triangulação, em seguida adotando-se a densificação através do desenvolvimento da Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado do Paraná – fundamentada na implementação de coordenadas do Sistema de Posicionamento Global –GPS, a partir de uma iniciativa do Instituto Ambiental do Paraná – IAP, que tinha por objetivo suprir as deficiências da Rede Geodésica de Primeira Ordem, implantada há algum tempo pelo IBGE e que nesta época já apresentava algo em torno de 50% dos marcos geodésicos do território paranaense danificados, fato este que vinha comprometendo a qualidade e o grau de precisão na execução de trabalhos de levantamentos cartográficos, em seus mais diferentes níveis tecnológicos.

A evolução da Geodésia no Estado não está presente somente no instrumental e nos métodos de levantamento, mas também nos métodos de ajustamento e sistemas de referência aos quais as coordenadas são referidas.

Para que esta evolução ocorresse fez-se também necessário o domínio e o emprego de novas tecnologias, como a cartografia digital e o sensoriamento remoto, que possibilitaram a produtividade em larga escala e a agilidade no processo permanente de atualização da rede.

Desta forma, entre os inúmeros objetivos alcançados com a implantação evolutiva da rede destacam-se os de ter estabelecido uma rede geodésica de referência para posicionamento relativo com GPS, assim como a perspectiva de referenciamento preciso de todos os trabalhos cartográficos a ser realizados no Paraná, oferecendo melhores padrões de precisão e acurácia.

É relevante notar, que com este ajustamento, os parâmetros definidores do SAD69 foram mantidos, e todas as observações da rede foram utilizadas. Na conclusão deste ajustamento pôde-se fazer uma análise das distorções existentes na rede, seu nível de propagação e em que áreas eram mais críticas.

Além disso, foi realizada uma análise estatística completa, utilizando-se os erros absolutos das coordenadas, mapeados através dos desvios padrão e suas elipses absolutas de erros. Os erros relativos entre as estações também foram estimados segundo vários critérios.

Como consequência direta da crescente utilização do GPS nos levantamentos geodésicos surgiu a necessidade de adoção de sistemas de referência geocêntricos. O sistema de navegação por satélites GPS utiliza o World Geodetic System 1984 (WGS84) como referência, sendo este representado por um elipsóide cuja posição, orientação e dimensões melhor se ajustam ao geóide de uma forma global.

Como é sabido (COSTA, 1999) o sistema foi desenvolvido a partir de observações gravimétricas terrestres e observações a satélites. Os parâmetros geométricos do elipsóide WGS84 são idênticos aos do Sistema Geodésico de Referência 1980 - GRS80, com exceção do achatamento, que apresenta uma ligeira diferença desprezível do ponto de vista prático.

Através de uma cooperação entre os países da América do Sul, representados por suas agências nacionais, e instituições internacionais, sob o patrocínio da IAG (International Association of Geodesy), IPGH (Instituto Pan-americano de Geografia e História) e NIMA (National Imagery and Mapping Agency), criou-se em outubro de 1993 o projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS, com o principal objetivo de estabelecer um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul.

O IBGE foi escolhido como escritório central do projeto, principalmente pela ativa participação em trabalhos geodésicos a nível nacional e internacional.

O Brasil tem participado de todas atividades do projeto, ocupando a presidência do comitê e outras posições nos grupos de trabalho. Além disso, participa ativamente no estabelecimento da rede GPS de alta precisão no continente e como banco de dados e centro de processamento do projeto.

Como consequência deste desenvolvimento tecnológico, a migração de sistemas de referência regionais/locais para os sistemas de referência geocêntricos/globais torna-se necessária e inevitável, trazendo assim grandes benefícios e vantagens, dentre as quais pode-se citar: alcance de precisões a níveis muito melhores que no passado, compatibilidade de informações a nível internacional, maior confiabilidade nos resultados e, principalmente, uma maior facilidade para os usuários quando da

integração de novos levantamentos ao SGB, ao mesmo tempo em que, como toda ruptura de paradigma, pressupõe certas preocupações no que se refere aos aspectos culturais, técnicos e econômicos resultantes destas mudanças.

AS PERSPECTIVAS DA MUDANÇA

Os benefícios da rede, sem dúvida proporcionam um melhor atendimento aos diferentes usuários da Cartografia, da Geodésia e do Sensoriamento Remoto, nos mais variados setores de atividade, tanto do serviço público como da iniciativa privada e é sob estes fatos que as mudanças têm se sustentado até o presente.

Segundo o Instituto Ambiental do Paraná (1993), na área de Serviço Público a Rede Passou a atender aos interesses e necessidades de diversas instituições como:

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMA, na precisa definição do ponto de partida dos levantamentos perimétricos de grandes superfícies como das Unidades de conservação (Áreas de Proteção Ambiental - APA, Parques Estaduais, Reservas Florestais), bem como na elaboração de produtos cartográficos destinados ao desenvolvimento de estudos ambientais, planos de proteção ambiental, monitoramento de uso do solo, atualização de cartas topográficas, fundiárias, cadastrais e mapeamentos municipais;

Companhia Paranaense de Energia - COPEL, no desenvolvimento de estudos e anteprojetos de construção de barragens, usinas hidrelétricas e implantação de linhas de transmissão;

Companhia de Saneamento do Estado do Paraná - SANEPAR, na elaboração de projetos de saneamento básico, redes de captação e distribuição de água;

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, no estabelecimento de uma Rede Geodésica de Referência para posicionamento relativo com GPS, para uso geral;

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, na demarcação topográfica de parcelamento de Projetos de Assentamento Rural;

Prefeituras Municipais - na execução de Cadastros Imobiliários.

Já para o caso dos benefícios auferidos pelos usuários e área técnica ligados à iniciativa privada, embora não hajam informações específicas, sabe-se que também foram beneficiários das mudanças.

Há que ser ressaltado, no entanto, que não foi sem grandes esforços para superar os aspectos correlatos, que a mudança impactou todas as atividades, sejam públicas, ou privadas.

SITUAÇÃO ATUAL NO CONTEXTO INTERNACIONAL

A fim de que se possam identificar referências, até para sustentar os tempos de transição vivenciados é importante considerar que a situação dos demais países, em qualquer continente, não é diferente, assim como é igualmente importante tentar perceber as características da mudança nos principais países, que a realizaram.

A popularização da tecnologia GPS, bem como a deficiência encontrada na materialização dos antigos referenciais e as dificuldades encontradas em integrá-los, induziram a uma convergência global de diretrizes e objetivos. Em alguns países, como Estados Unidos e Canadá, a implementação e adoção de um novo referencial foi iniciada na década de 80 e, hoje, ambos estão na segunda versão de referencial geocêntrico.

As diferenças encontradas entre a antiga versão, ainda injuncionada pelo Doppler e fundamentada no WGS84, e a atual, injuncionada no ITRF e fundamentada no GRS80, chegam a 2 metros. Para a cartografia, em escalas topográficas, estas diferenças são desprezíveis. Porém, no caso da cartografia cadastral em grandes escalas, para a qual estas diferenças são perceptíveis, esses países desenvolveram ferramentas que possibilitam a transformação entre a versão antiga do referencial e a nova.

Na Austrália e Nova Zelândia este processo foi iniciado na década de noventa, contando integralmente com o apoio de todos os segmentos da sociedade que fazem uso das informações georeferenciadas (ROCHA, 1998). Esses países também disponibilizam todos os tipos de informações e ferramentas para os usuários, além de terem realizado um trabalho educacional relacionado às mudanças. É relevante destacar que só por este trabalho educacional, necessário e fundamental para sustentar qualquer mudança paradigmática, pode-se deduzir o cuidado que as autoridades e lideranças científicas, técnicas e empresariais destes países, tiveram ao decidirem-se mudar.

Já no caso da Grã-Bretanha, a adoção de um referencial geocêntrico foi parcial. Os ingleses, da mesma forma que a maioria dos países europeus, utilizaram o EUREF como referência na obtenção de soluções geodésicas, mas a documentação cartográfica foi mantida no sistema de referência local, o OSGB36 (Ordinance Survey Great Britain 1936).

SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL

O sistema geodésico regional empregado no Brasil, o SAD69, de concepção clássica, tinha como objetivo a unificação do referencial para os trabalhos geodésicos e cartográficos na América do Sul. A sua adoção se deu no final da década de 70 e sua materialização foi realizada por técnicas e metodologias de posicionamento terrestre, destacando-se a triangulação e poligonização.

Atualmente, as estruturas geodésicas e a grande maioria do apoio cartográfico são estabelecidas por levantamentos realizados com o GPS, por serem mais precisas e mais eficientes do que aquelas utilizadas na antiga materialização do SAD69. Conseqüentemente, surge a dificuldade na compatibilização da documentação existente e dos levantamentos realizados com o GPS. Para encontrar uma solução para este problema, o IBGE vem desenvolvendo estudos sobre o ajustamento e conexão da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB ao SIRGAS, tendo como exemplo prático aquele proporcionado através de posicionamento GPS a partir das estações da RBMC.

Ao mesmo tempo estão sendo explorados procedimentos de transformação entre sistemas, visando, desta forma a melhor compatibilização entre o SAD69 e SIRGAS.

No Brasil, as diferenças encontradas entre SAD69 e SIRGAS, devido à mudança da forma do elipsóide e de sua posição espacial, são em média da ordem de 65 metros.

A ÁREA DE INFLUÊNCIA DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU NESTE CONTEXTO

A evolução do sistema geodésico nacional, caracterizando-se como geocêntrico, ganhando mais eficiência e acurácia, extrapola os próprios limites da ciência e se constitui como essencial medida estruturante para embasar novos paradigmas de desenvolvimento.

Emblemático é o caso da Itaipu Binacional, cuja missão estratégica confiada pelo seu controlador, o Governo Federal, para além da praticada tradicionalmente pelo setor elétrico brasileiro, que é centrada na produção de energia, fixando objetivos para proporcionar usos múltiplos para as águas acumuladas no reservatório da Usina.

Considerando informações dos serviços de monitoramento da própria empresa, que os índices de qualidade das águas, estavam muito aquém daqueles exigidos para o abastecimento público, a pesca natural e em tanques rede, a irrigação, o esporte e o lazer entre tantos usos possíveis das águas do reservatório.

A eutrofização e a sedimentação, os dois principais impactos ambientais monitorados na área do reservatório, impõem limites aos usos múltiplos, não são gerados pelas atividades da empresa, mas por aspectos ambientais também significativos, porém, que ocorrem a partir das diversas atividades humanas nos territórios das bacias hidrográficas que alimentam o reservatório.

Isto implica num paradoxo, ter a empresa de gerir a degradação do ativo ambiental água, que sustenta todo seu processo geracional de energia, para 25% do consumo energético no Brasil e 90% no Paraguai, sem produzir os impactos que levam a esta degradação.

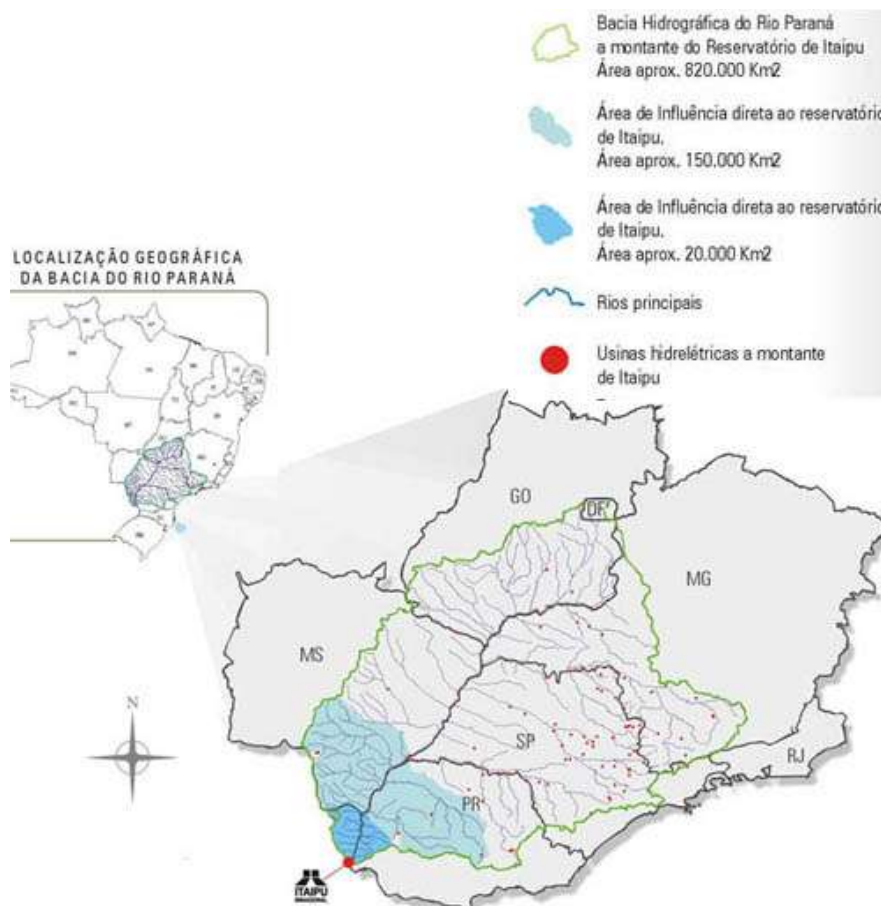


Figura 1 : Bacia Hidrográfica do Rio Paraná

A realização desta tarefa exigiu da empresa um novo planejamento estratégico que ampliou o alcance das suas atividades ambientais para além dos ambientes industrial – usina hidrelétrica e lacustre – reservatório de Itaipu, ambos relativamente homogêneos, para encontrar o ambiente pluvial – bacia hidrográfica de influência, sendo este caracterizado pelo caótico modelo de uso, ocupação e propriedade.

A gestão territorial exigiu a avaliação crítica dos métodos e materiais empregados pela empresa, como software, hardware e capacitação de pessoal.

Nesta movimentação, uma das necessidades identificadas foi a da mudança do referencial geodésico do SAD69 para o SIRGAS.

Como parte integrante da Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado do Paraná, a área conta, na atualidade, com três pontos implantados (Tabela 1) distribuídos de forma a possibilitar uma cobertura de toda a bacia hidrográfica de influência da Itaipu.

Tabela 1 – Pontos implantados na Bacia Hidrográfica de Itaipu

Localidade	Sistema	Latitude	Longitude
Guaira	C.G. SAD 69	24°04'50.13923''	54°15'40.56262''
Toledo	C.G. SAD 69	24°46'46.16390''	53°43'26.99064''
Foz do Iguaçu	C.G. SAD 69	25°25'10.15191''	54°24'28.97310''

Fonte: IAP, 1993

A empresa vem empreendendo aproximações com o INCRA, para desenvolver a implementação de outros marcos geodésicos na área visando a densificação da rede e a implantação de um projeto de cadastro técnico multifinalitário para as propriedades rurais que estão localizadas na área de influência do reservatório visando a orientar essas propriedades na implantação da gestão ambiental.

Arelado ao processo de mudança de referencial geodésico está o Sistema de Referencial Geográfico. Com a mudança do referencial muda o posicionamento das coordenadas geográficas que delimitam os

fusos do sistema. No Brasil é adotado o Sistema UTM, Universal Transverso de Mercator.

O Sistema UTM é uma projeção, conforme de GAUSS, disciplinada por um conjunto de especificações e aplicada na representação plana do elipsóide terrestre.

Estudo de Caso: Usina Hidrelétrica de Itaipu

O posicionamento geográfico da área de influência da Usina Hidroelétrica de Itaipu constitui caso muito especial, em termos de sistematização cartográfica, pelo fato de estar localizada nos limites de fusos UTM.

Sua área está incluída em duas folhas de 1:1.000.000, distribuídas em dois fusos, os de 51o e 57o de longitude nos meridianos centrais, respectivamente os de número 21 e 22 da Carta Internacional ao Milionésimo.

Para entender o que ocorre quando são usadas cartas limites de fusos UTM é necessário se valer do conceito da Projeção UTM.

A Projeção UTM divide o elipsóide que representa a Terra, em 60 fusos de 6 graus. Para cada um destes fusos é estabelecido um sistema plano de coordenadas no qual o eixo central denominado meridiano central recebe o valor 500.000m e o Equador recebe o valor 10.000.000m para o hemisfério sul.

Como 1 grau tem aproximadamente 111 km um fuso de 6 graus cobrirá uma extensão leste-oeste de aproximadamente 670 km. Como o Meridiano central vale 500 km, o meridiano limite do fuso para oeste terá um valor aproximado de 170.000m e o meridiano limite a leste terá um valor de 830.000m.

A área de interesse, no caso a área de influência de Itaipu, está localizada exatamente no limite de dois fusos, ou seja, onde termina um fuso de 6 graus e começa outro.

Isto impõe riscos para o planejamento e execução dos trabalhos de gestão territorial, induzindo a erros, que podem levar inclusive a investimentos mal feitos e quase sempre a dificuldades operacionais.

O acervo cartográfico de Itaipu constitui-se do material relacionado na tabela abaixo:

Tabela 2 – Acervo cartográfico de Itaipu

Material	Ano	Fuso
Ortofotos	1979	21
Ortofotos	1980 ITC - PR	Parte no fuso 21 e parte no fuso 22
Ortofotos	1996 - Esteio	22 estendido
Imagem do Satélite LANDSAT	1979/1996	Parte no fuso 21 e parte no fuso 22

A partir da análise destes documentos constataram-se os seguintes problemas:

- Como parte dos mapeamentos foram executadas em fusos distintos, as coordenadas das áreas limites dos fusos na coincidem;
- O material cartográfico disponibilizado apresenta problemas de sistematização;
- Falta de documentação técnica referente o material cartográfico disponibilizado.

Para resolver o problema dos fusos, a solução encontrada foi estender um dos fusos por mais 30' ou até 1 grau, permitindo que a área de interesse seja locada em um fuso único e assim, procurando obter um sistema de coordenadas plano único. Isto requereu uma transformação de coordenadas e geração de uma nova carta no fuso estendido. Ou uma orientação de uma imagem desta carta com base no fuso estendido.

Contudo é necessário reconhecer que não há sustentação científica para esta operação sendo a metodologia "fuso estendido" empregada muitas vezes inconsequentemente para resolver os problemas comerciais originados nas áreas localizadas em limites de fusos.

A cerca de 20 de anos a empresa utilizou a metodologia fuso estendido, só se dando conta de sua

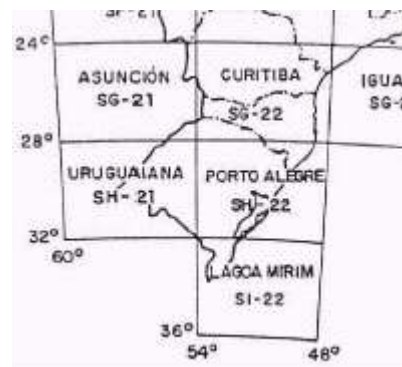


Figura 2 : Fusos 21 e 22 de 48° a 60° graus de longitude oeste Folhas Assuncion e Curitiba – 1.1.000.000

impropriedade quando se viu forçada a aprimorar sua capacidade institucional de gestão territorial.

Diante disto a opção mais adequada seria a criação uma projeção RTM – Regional Transversa de Mercator. Esta projeção segundo ROCHA (1994) é a mais adequada para sistemas cadastrais e seus parâmetros variam em torno de alguns valores médios, os quais são apresentados a seguir:

- a) Projeção de Gauss (Transversa de Mercator);
- b) Fusos de 2 graus, com meridianos centrais nas longitudes de grau ímpar;
- c) Coeficiente de distorção linear (K_0) = 0,999995;
- d) $N = N' + 5000000$ metros (Hemisfério Sul)
 $N = N'$ (Hemisfério Norte);
- e) $E = E' + 400000$ metros.

O valor de amplitude do fuso torna-se suficiente para abranger uma região de aproximadamente 220km de variação de longitude, dimensão suficiente para contemplar a área de influência do reservatório de Itaipu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da perspectiva de mudança do referencial geodésico e da implantação de novos marcos em convênio com o INCRA, que venham a melhorar a qualidade dos documentos cartográficos elaborados pela empresa, busca-se soluções para otimizar e uniformizar a metodologia de elaboração dos produtos.

Os problemas originados pela localização de regiões em limites de fusos só se evidenciam quando, por acaso, ocorre a necessidade de se adotar sistemas referenciais com alto grau de precisão e acurácia e principalmente quando se tem necessidade de manter essas características para efeitos oficiais e públicos. Caso contrário, é comum que esses problemas sejam “empurrados para baixo do tapete” pela metodologia do “fuso estendido”. Este procedimento remete a um futuro incerto os esforços de planejamento e ordenamento territorial.

A proposta deste trabalho é de se evidenciar os erros provocados pela metodologia em questão e recomendar que seu uso seja evitado.

Pretendeu-se demonstrar também que em lugar de se empregar o atalho “fuso estendido” é possível servir-se de metodologias mais seguras e de base científica como a proposta da criação de uma projeção regional (RTM), que abranja a área de influência da Itaipu Binacional.

BIBLIOGRAFIA

COMITE NACIONAL DE LA UNION GEODÉSICA Y GEOFÍSICA INTERNACIONAL. *Sistemas Geodésicos*, Argentina, 1ª Edición, 1999.

COSTA, Sonia Maria Alves. *Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres*. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 1999.

FERREIRA, Luiz Felipe; OLIVEIRA, Leonardo de Castro, CINTRA, Jorge Pimentel, *Digitalização de Folhas em Borda de Fuso UTM*. In: Anais do 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, SC, 1994.

GEMAEL, Camil. *Sistemas de Projeção*, Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Departamento de Geociências, Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Notas de Aula, Curitiba, 1976.

GRIPP JUNIOR, Joel; SILVA, Antonio Simões. *O Sistema UTM, Operações Principais (Notas de Aula)*, Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Viçosa.

IAP, Instituto Ambiental do Paraná, *Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado do Paraná*, 1993.

KENNEDY, Melita and KOPP, Steve, *Understanding Map Projections*, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, 2000.

MONICO, Galera João Francisco; CAMARGO, Paulo de Oliveira. *Controle de Qualidade em*

Levantamentos Geodésicos e Possibilidade de Metodologia para atender a Lei 10.267, Universidade Estadual Paulista, Campos de Presidente Prudente, Departamento de Cartografia.

PEDRO, Lucidalva dos Santos, et al.: *Proposta de um sistema de projeção cartográfica para o cadastro técnico do município do Rio de Janeiro*. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador 1995.

PHILIPS, J.: *Uma projeção geodésica para o cadastro imobiliário brasileiro*. UFSC - Santa Catarina – 1997.

ROCHA, Ronaldo dos Santos da: *Proposta de definição de uma projeção cartográfica para mapeamento sistemático em grande escala para o Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado - CPGCG - UFPR. Curitiba – 1994.

ROCHA, Ronaldo dos Santos. *Algumas Considerações sobre as Projeções Cartográficas utilizadas no Brasil para Mapeamentos em grandes Escalas* COBRAC 98 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 18 a 22 de Outubro 1998