

Distribuição espacial do fator topográfico da Rusle na Bacia do Alto Paraguai



ISSN 1806-3322

Dezembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 30

Distribuição espacial do fator topográfico da Rusle na Bacia do Alto Paraguai

Sérgio Galdino

Embrapa Monitoramento por Satélite
Campinas, SP
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, 303 - Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP

Fone: (19) 3211-6200

Fax: (19) 3211-6222

www.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Monitoramento por Satélite

Presidente: Sérgio Gomes Tôsto

Secretária-Executiva: Bibiana Teixeira de Almeida

Membros: André Luiz dos Santos Furtado, Carlos Fernando Quartaroli,
Fabio Enrique Torresan, Gustavo Bayma Siqueira da Silva, Shirley Soares da
Silva e Vera Viana dos Santos Brandão

Supervisão editorial: Sérgio Gomes Tôsto

Revisão de texto: Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica: Vera Viana dos Santos Brandão

Editoração eletrônica: Daniela Maciel Pinto

Foto(s) da capa: Sérgio Galdino

1ª edição

1ª impressão (2015): publicação on-line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da Unidade catalogadora

Galdino, Sérgio.

Distribuição espacial do fator topográfico da Rusle na Bacia do Alto Paraguai / Sérgio Galdino. - Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015.

19 p. : il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 30 / Embrapa Monitoramento por Satélite, ISSN 1806-3322).

1. Erosão. 2. Sistema de Informação Geográfica. 3. Pantanal. I. Galdino, Sérgio. II. Título. III. Série.

CDD 631.450981

Sumário

Resumo	6
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	11
Conclusões	13
Referências	14
Anexos	16

Distribuição espacial do fator topográfico da Rusle na Bacia do Alto Paraguai

Sérgio Galdino¹

Resumo

A intensificação dos processos erosivos nas áreas de planalto, onde nascem os rios da Bacia do Alto Paraguai (BAP), constitui grave impacto ambiental e socioeconômico para o Pantanal brasileiro. Os fatores associados ao comprimento da encosta (L) e à declividade do terreno (S) são preponderantes no modelo de predição de perda de solo *Revised Universal Soil Loss Equation* (Rusle). O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição espaçotemporal dos fatores L e S da Rusle na BAP usando o software LS-Tool. Para fazer os mapeamentos foi usado o modelo digital de elevação (MDE) gerado pela missão *Shuttle Radar Topography Mission Global 1*. O tamanho das células do MDE foi de aproximadamente 30 m. A média das estimativas dos fatores L e S na BAP foram, respectivamente, de 1,2433 e 0,7539. O produto dos fatores L e S, denominado de fator topográfico da Rusle, na BAP variou de 0,0452 a 156,46, com média de 1,2749. A média do fator topográfico estimado para as terras localizadas nos planaltos foi cerca de seis vezes a média do fator topográfico estimado para as terras localizadas no Pantanal. As áreas da BAP com elevados valores do fator topográfico, associadas à ocorrência de chuvas mais erosivas e solos mais susceptíveis a erosão apresentam maior potencial natural para a erosão hídrica. O uso dessas terras deve ser criterioso para minimizar a erosão do solo e os impactos no Pantanal.

Palavras-chave: Erosão, sistema de informações geográficas, Pantanal.

¹ Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, sergio.galdino@embrapa.br

Spatial Distribution of Rusle's topographic factor at the Alto Paraguay River Basin

Abstract

The intensification of erosive processes in the highlands where the Alto Paraguay river basin (BAP) springs causes serious environmental and socioeconomic impacts to the Brazilian Pantanal. Factors associated with slope length (L) and slope steepness (S) are very important in estimates using the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) model. In this study we aimed to evaluate the spatiotemporal distribution of Rusle's L and S factors at the BAP using the LS-Tool software. We used the digital elevation model (DEM) created by the Shuttle Radar Topography Mission Global 1 to produce the mappings. The DEM cells' size was around 30 m. The average estimates for L and S at the BAP were 1.2433 and 0.7539 respectively. The product of the L and S factors, known as Rusle's topographic factor, in the BAP varied from 0.0452 to 156.46, with an average of 1.2749. The average topographic factor was about six times higher at BAP's highlands than at Pantanal's lowlands. BAP areas with high topographic factor values associated with the occurrence of more erosive rainfalls and of soils which are more susceptible to erosion show higher natural potential for rainfall erosion. These lands must be used with care to minimize soil erosion and its impacts to the Pantanal lowlands.

Index terms: erosion, geographic information system, Brazilian Pantanal.

Introdução

Um dos maiores impactos ambientais e socioeconômicos no Pantanal brasileiro é a intensificação dos processos erosivos nas áreas de planalto, onde nascem os rios da Bacia do Alto Paraguai (BAP). O maior exemplo é o assoreamento do Rio Taquari, cuja principal causa foi a expansão desordenada da agropecuária na Bacia do Alto Taquari a partir dos anos 1970 (GALDINO; VIEIRA, 2005).

Para estimar a erosão hídrica do solo em diversas localidades do mundo, têm sido amplamente usados os modelos de predição de perdas de solo *Universal Soil Loss Equation* (Usle), proposto por Wischmeier e Smith (1978), e seu sucessor, *Revised Universal Soil Loss Equation* (Rusle), desenvolvido por Renard et al. (1997). Embora a estrutura da equação desses modelos seja a mesma, as formas de determinação dos fatores dos modelos foram modificadas expressivamente. Vários conceitos de modelagem da erosão, baseados na descrição do processo físico, foram incorporados à Rusle, para melhorar as predições de erosão.

Dos fatores que integram os modelos Usle e Rusle, aqueles associados a comprimento da encosta (fator L) e declividade do terreno (fator S) são preponderantes. O fator L (adimensional) é a relação entre as perdas de solo de um comprimento de rampa qualquer e de um comprimento de 22,3 m em condições idênticas de precipitação, solo, e práticas de uso e manejo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Esses autores definem o fator S (adimensional) como a relação entre a perda de solo para um declive qualquer e um declive de 9% sob as mesmas condições citadas para o fator L. À medida que o comprimento de rampa e o grau de declividade aumentam, a perda de solo se intensifica. Os termos L e S da equação são muitas vezes considerados conjuntamente como “LS” e referidos como “fator topográfico”.

Os fatores L e S são calculados a partir do comprimento do declive e do ângulo de inclinação. O comprimento do declive é definido por Wischmeier e Smith (1978) como a distância a partir do ponto de origem do escoamento superficial até: (a) o ponto em que se inicia a deposição com a diminuição do declive; ou (b) o ponto em que a água encontra um canal de escoamento bem definido, que pode ser uma rede de drenagem ou um canal construído como um terraço.

A escala de aplicação da Usle/Rusle é para encostas curtas. Com o advento dos sistemas de informações geográficas (SIGs) e dos modelos digitais

de elevação (MDEs) foram desenvolvidos métodos que possibilitaram as estimativas automáticas dos fatores L e S para relevos mais complexos, tais como bacias hidrográficas. Entre esses métodos, um dos mais conhecidos é o de Desmet e Govers (1996), que utilizaram múltiplas direções de fluxo para calcular a área de contribuição a montante para cada célula (*pixel*) do MDE e, assim, estimar o fator LS em segmentos. A maior limitação desse método é a ausência de um algoritmo para a previsão de zonas de deposição de sedimentos na superfície. Para superar essa desvantagem, novos modelos foram desenvolvidos. Hickey (2000) desenvolveu um mecanismo para definir as áreas de deposição, chamado de ângulo de inclinação limite (*cutoff slope angle*). Em certo momento, um fluxo de água transportando sedimentos na superfície tem sua velocidade diminuída o bastante em alguns pontos, ocorrendo deposição. Essa deposição é função de dois fatores: a inclinação do terreno, que em grande parte define a velocidade do fluxo, e o fluxo de saturação. Por um lado, se o fluxo é totalmente saturado (com sedimentos), qualquer diminuição na velocidade resultará mais em deposição que em erosão. Por outro lado, se o fluxo não está saturado, deve ocorrer uma diminuição significativa na inclinação, possivelmente tendendo para zero, para que haja deposição (HICKEY, 2000). Van Remortel et al. (2004) revisaram o método de Hickey (2000), substituindo as antigas equações pelos algoritmos da Rusle e introduzindo modificações associadas com a ocorrência de áreas planas, cortes de encostas e outras características específicas relacionadas com a inclinação das encostas. No entanto, mesmo com os novos modelos, áreas côncavas (ou seja, zonas de concentração de fluxo) e redes de canais não estavam contempladas. É evidente que as áreas de convergência de fluxo terão maiores valores de LS que áreas planas ou de divergência de fluxo, e também que o comprimento da encosta deve parar num canal. Assim, para superar essas limitações, Zhang et al. (2013) estenderam o método de Van Remortel et al. (2004), desenvolvendo algoritmo que faz segmentações na encosta para localizar zonas de erosão e deposição de solo, redes de canais e áreas de fluxo de convergência. Para tanto, Zhang et al. (2013) desenvolveram o software LS-Tool, em ambiente Microsoft.NET usando C# com uma interface amigável. Esses autores compararam os valores de comprimento de declive e do fator LS obtidos pelo LS-Tool com valores obtidos por métodos manuais para a bacia Xiannagou, na China. As estimativas obtidas pelo LS-Tool mostraram-se mais próximas da realidade.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a distribuição espaçotemporal dos fatores L, S e topográfico da Rusle na Bacia do Alto Paraguai usando o software LS-Tool, para fornecer informações básicas ao planejamento de uso e manejo sustentável do solo.

Material e Métodos

A área de estudo compreendeu a Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai em território brasileiro (BAP). A Figura 1 (Anexo 1) mostra a BAP, cuja superfície tem 361.465 km², com aproximadamente 52% das terras localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul e os outros 48% localizados no Estado de Mato Grosso (GALDINO et al., 2014). A BAP compreende o Pantanal, com superfície de 138.185 km², e as áreas de planalto, com 223.280 km². A maior parte do Pantanal (64%) está localizada no Mato Grosso do Sul, enquanto 56% das terras do planalto situam-se no Mato Grosso (GALDINO, et al., 2014).

Para fazer os mapeamentos, foi utilizado MDE gerado pela missão *Shuttle Radar Topography Mission Global 1* (SRTMGL1). O tamanho das células do MDE foi de 1 arcseg (segundo de arco), que corresponde a aproximadamente 30 m. O MDE SRTMGL1 foi obtido a partir de download do *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LPDAAC) por meio do site <http://lpdaac.usgs.gov/>. O limite da BAP, incluindo o Pantanal, foi o usado por Galdino et al. (2015).

O MDE foi processado no SIG ArcGIS 10.1 (ESRI, 2013) e no software LS-Tool (ZHANG et al., 2013). Inicialmente, foram feitas correções do MDE, como o preenchimento de depressões usando a função *Fill Sinks* da extensão *ArcHydro Tools* no ArcGIS.

A partir do MDE corrigido e usando o ArcGIS e a planilha eletrônica Microsoft Excel, foram obtidas a declividade em porcentagem e a distribuição das classes de relevo do Pantanal, dos planaltos e da BAP. Essas classes seguiram a classificação proposta pela Embrapa (1979).

Os fatores da Rusle, comprimento de vertente (fator L), declividade da vertente (fator S) e topográfico (fator LS), foram obtidos usando o software LS-Tool. Considerando que o LS-Tool trabalha com o MDE no formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), foi necessária a prévia conversão do MDE, originalmente em geotiff, para o formato ASCII usando o ArcGIS.

A Figura 2 exibe a tela do LS-Tool com as configurações usadas para obter os fatores L, S e LS na BAP neste estudo.

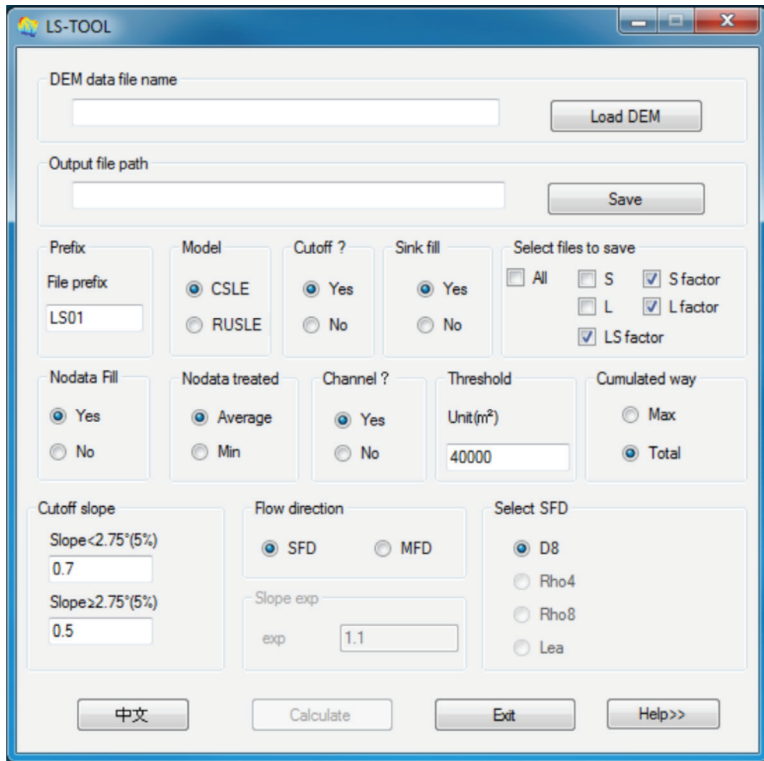


Figura 2. Tela do LS-Tool.

Resultados e Discussão

A distribuição das classes de relevo na BAP é mostrada na Figura 3 (Anexo 2). A Tabela 1 apresenta a distribuição, em porcentagem, das classes de relevo no Pantanal, nos planaltos e na BAP.

Tabela 1. Distribuição das classes de relevo, em porcentagem, no Pantanal, nos planaltos e na BAP.

Relevo	Declividade (%)	Pantanal	Planaltos	BAP
Plano	0–3	73,90	28,59	46,10
Suave-ondulado	3–8	23,48	42,80	35,38
Ondulado	8–20	2,12	21,64	14,15
Forte-ondulado	20–45	0,50	5,84	3,66
Montanhoso	45–75	0	1,01	0,63
Escarpado	> 75	0	0,12	0,08

A declividade média das terras da BAP é de 5,45%. O Pantanal apresenta declividade média de apenas 2,10%, decorrente da predominância do relevo plano que ocorre em 73,90% da superfície. Nas terras localizadas nos planaltos da BAP predomina o relevo suave-ondulado (42,80%). Os relevos plano e ondulado também ocorrem com frequência. Relevos mais acidentados (> 20% de declividade) ocorrem em apenas 6,97% da superfície dos planaltos da BAP.

As Figuras 4 (Anexo 3), 5 (Anexo 4) e 6 (Anexo 5) mostram a distribuição espacial dos fatores L, S e topográfico (LS) da Rusle obtidos usando o software LS-Tool.

O fator “comprimento de encosta” (fator L) da BAP apresentou média de 1,24 e desvio padrão, de 0,58. No Pantanal, o fator L variou entre 0,80 e 10,14, com média de 1,01. Nos planaltos da BAP, as estimativas do fator L oscilaram entre 0,80 e 11,31, com média de 1,39. O fator “comprimento de encosta” foi quase 40% superior nas terras localizadas nos planaltos da BAP em relação às terras do Pantanal.

O fator “declividade de encosta” (fator S) da BAP apresentou média de 0,75 e desvio padrão de 1,21. No Pantanal, o fator S ficou compreendido entre 0,05 e 19,55, com média de 0,28. Nos planaltos da BAP, as estimativas do fator L variaram entre 0,05 e 20,67, com média de 1,05. O fator “declividade de encosta” foi quase três vezes superior nas terras localizadas nos planaltos da BAP em relação às terras do Pantanal. Essa grande diferença está associada ao relevo mais acidentado das terras dos planaltos em relação ao relevo mais plano do Pantanal.

A estimativa do fator topográfico (fator LS) da BAP utilizando o LS-Tool apresentou média de 1,27 e desvio padrão de 3,10. No Pantanal, o fator topográfico da Rusle variou entre 0,05 e 126,54, com média de 0,32. Nos planaltos da BAP, as estimativas do fator LS oscilaram entre 0,05 e 156,46, com média de 1,87. A média do fator topográfico estimado para as terras localizadas nos planaltos foi cerca de seis vezes a média do fator topográfico estimada para as terras localizadas no Pantanal. Análise da correlação entre os fatores L, S e LS, feita utilizando a ferramenta *Band Collection Statistics* do ArcGIS, apresentou coeficiente de correção de Pearson (r) de 0,70 entre os fatores L e LS, e de 0,86 entre os fatores S e LS. Isso evidenciou que o fator “declividade de encosta” (fator S) explicou melhor as variações do fator topográfico (fator LS) que o fator “comprimento de encosta” (fator L).

As áreas da BAP com elevados valores do fator topográfico associados à ocorrência de chuvas mais erosivas e solos mais susceptíveis a erosão apresentam maior potencial natural para a erosão hídrica. O uso dessas terras deve ser criterioso para minimizar a erosão do solo e os impactos no Pantanal.

O software LS-Tool, com sua interface amigável, estimou com rapidez os fatores L, S e topográfico da Rusle, empregando o algoritmo proposto por Zhang et al. (2013). O software também oferece várias possibilidades para estimar esses fatores usando outros algoritmos, tais como o desenvolvido por Van Remortel et al. (2004). Entretanto, a recomendação do uso depende de validação com valores dos fatores L, S e LS, obtidos diretamente no campo, o que não foi possível no presente estudo.

Conclusões

1. A declividade média das terras da BAP é de 5,45%. No Pantanal, a declividade média é de apenas 2,10%. Relevo plano ocorre em 73,90% da superfície do Pantanal. Nas terras localizadas nos planaltos da BAP, predomina o relevo suave-ondulado (42,80%). Relevos mais acidentados (> 20% de declividade) ocorrem em 6,97% da superfície dos planaltos.
2. A estimativa do fator topográfico (fator LS) da BAP usando o LS-Tool apresentou média de 1,27. A média do fator topográfico estimado para as terras localizadas nos planaltos foi cerca de seis vezes a média do fator

topográfico estimado para as terras localizadas no Pantanal.

3. O fator “declividade de encosta” (fator S) explicou melhor as variações do fator topográfico (fator LS) que o fator “comprimento de encosta” (fator L).
4. O software LS-Tool apresenta grande potencial para estimativa dos fatores L, S e LS da Rusle.

Referências

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A. GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979. Rio de Janeiro. **Súmula**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83 p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop Help**. California: Redlands, USA, 2013.

GALDINO, S.; GREGO, C. R.; SILVA, J. S. V. Rainfall erosivity in the upper Paraguai river basin, Brazil. **Geografia**, v. 40, Número Especial, p. 119-129, 2015.

GALDINO, S.; GREGO, C. R.; SILVA, J. S. V. Distribuição espacial da erosividade da chuva na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014. Campo Grande, MS. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2014. p. 211-219.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. A Bacia do Rio Taquari e seus problemas ambientais e socioeconômicos. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. PELLEGRIN, L. A. (Ed.). **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. p. 29-43.

HICKEY, R. Slope angle and slope length solutions for GIS. **Cartography**, v. 29, n. 1, p. 1-8, 2000.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. 404

p. (Agricultural Handbook, 703).

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. J. Computing the LS factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 1043–1053, 2004.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

ZHANG, H.; YANG, Q.; LI, R.; LIU, Q.; MOORE, D.; HE, P.; GEISSEN, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. **Computers & Geosciences**, v. 52, p.177-188, 2013.

Anexos

Figura 1: Mapa da Bacia do Alto Paraguai: limite do Pantanal, capitais estaduais, principais cidades, divisas de Estados e Países, e hidrografia. Fonte: Galdino et al. (2014).

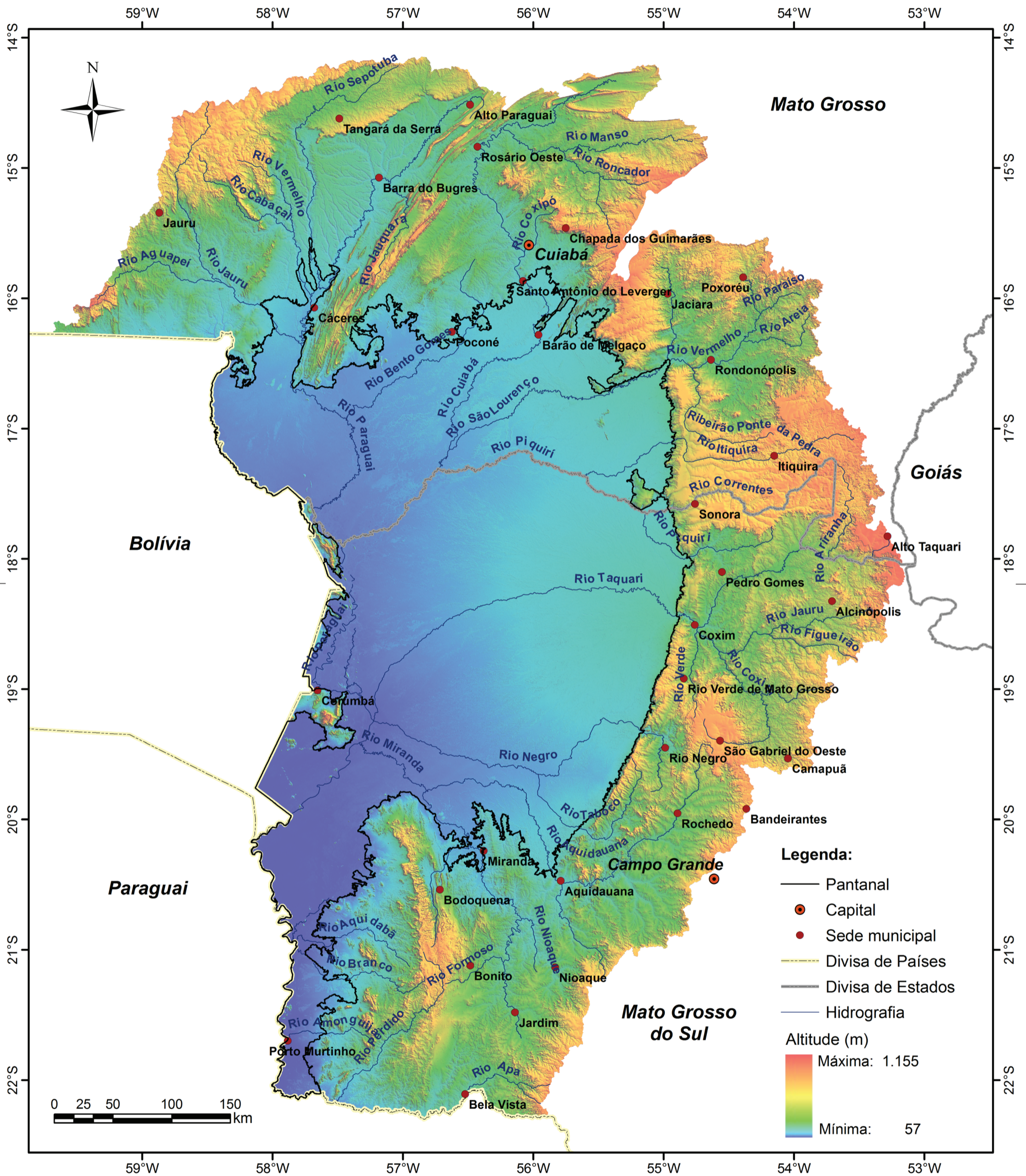


Figura 3: Mapa das classes de relevo na Bacia do Alto Paraguai.

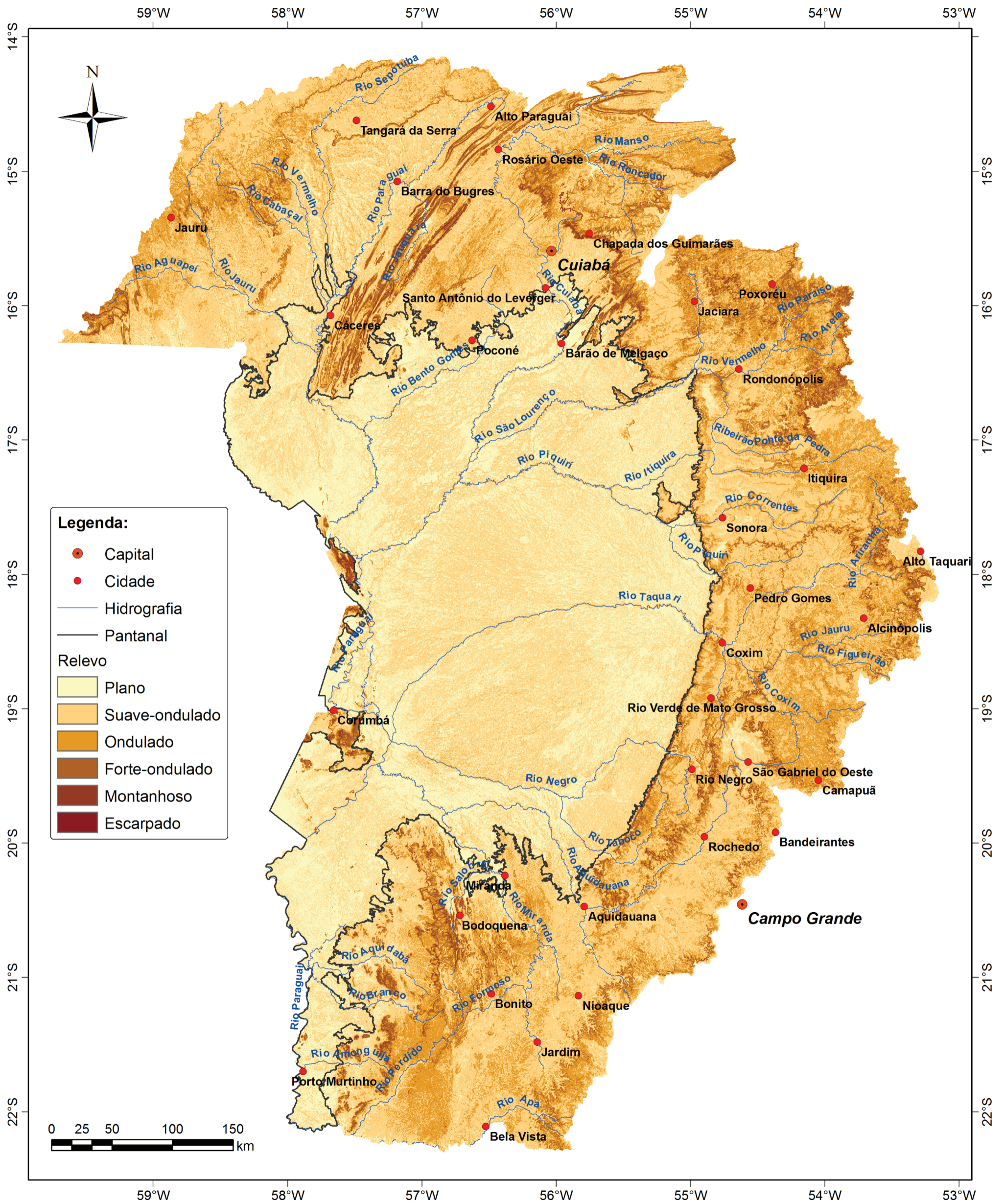


Figura 4: Mapa do fator L da Rusle na Bacia do Alto Paraguai.

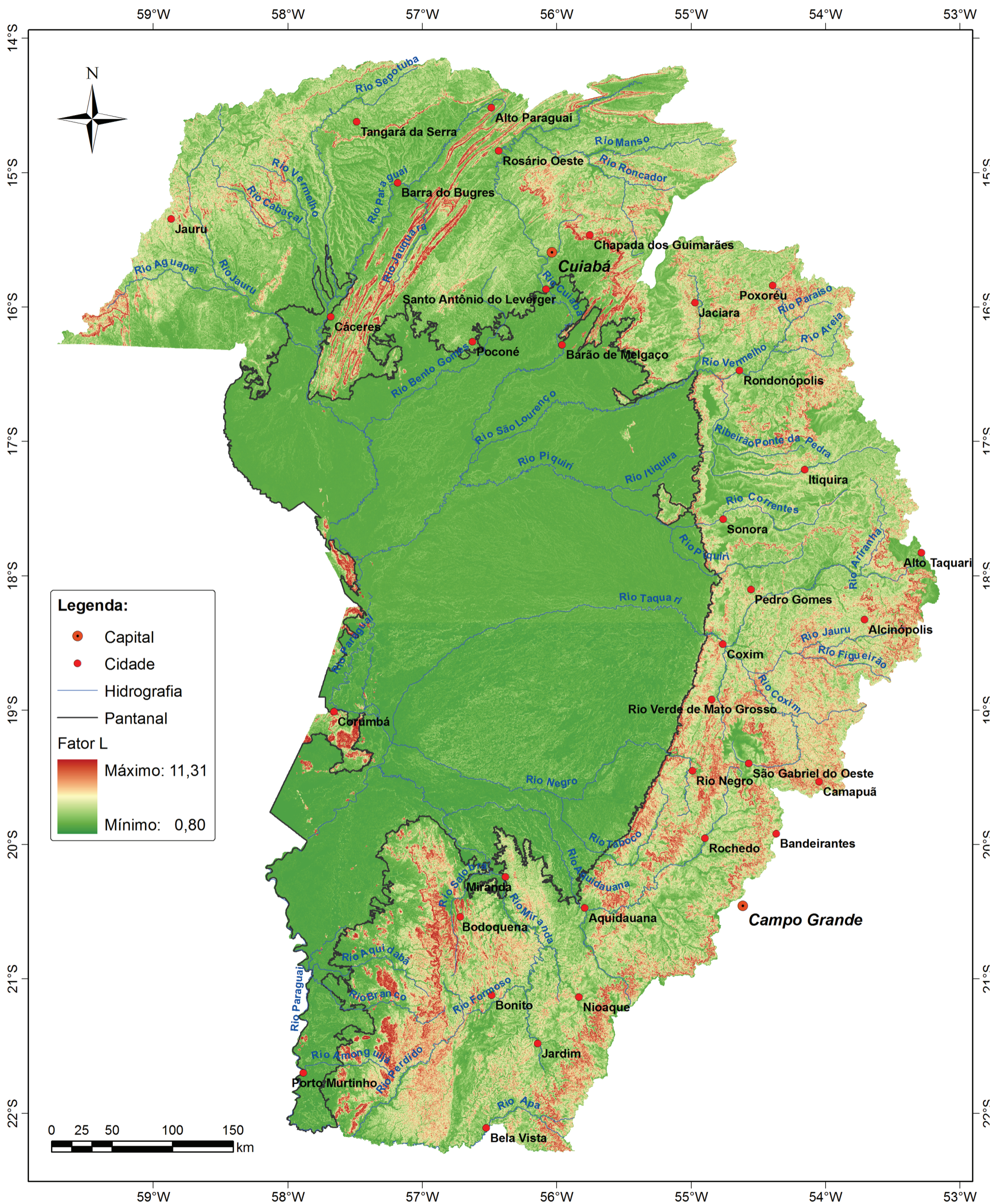


Figura 5: Mapa do fator S da Rusle na Bacia do Alto Paraguai.

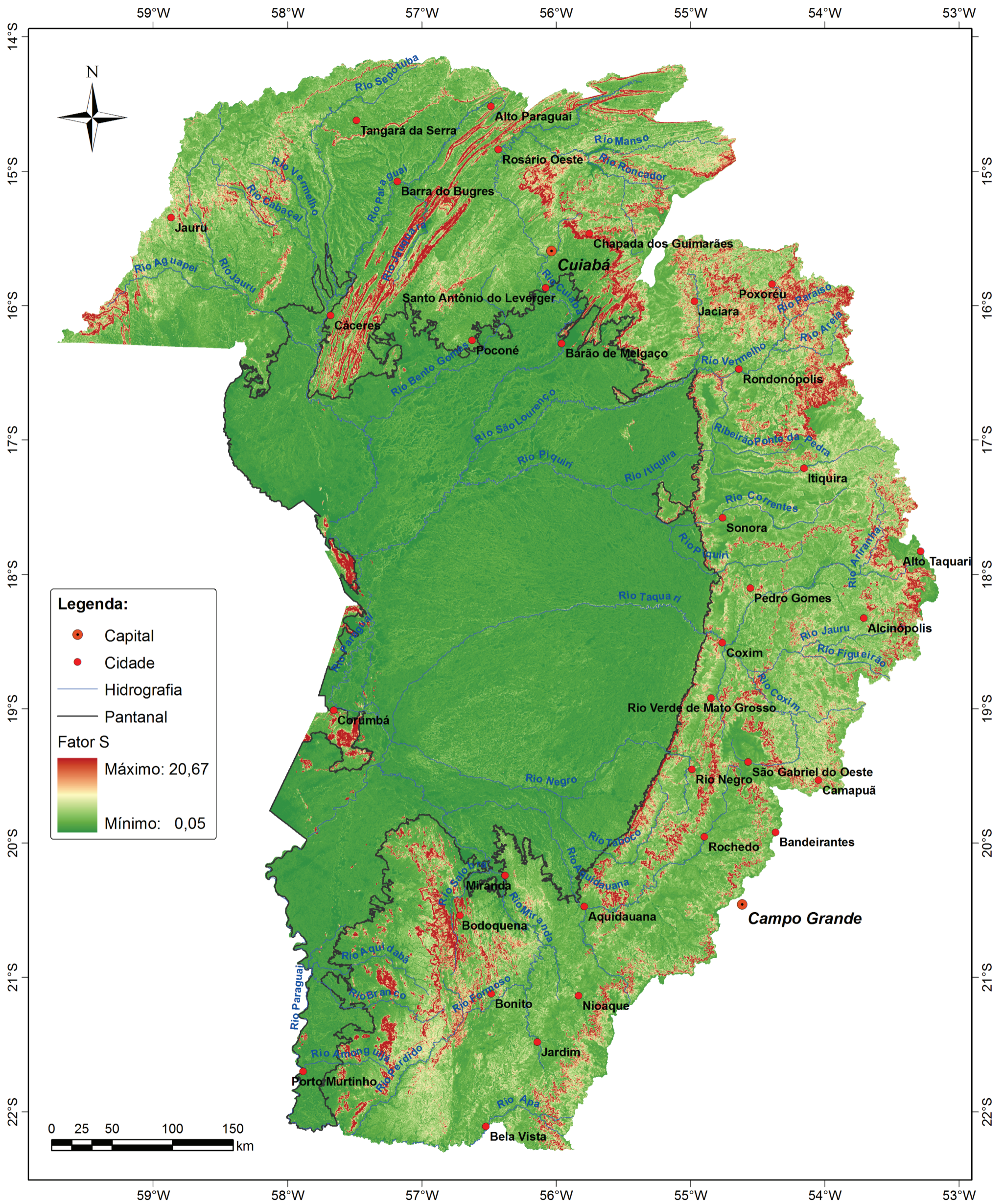
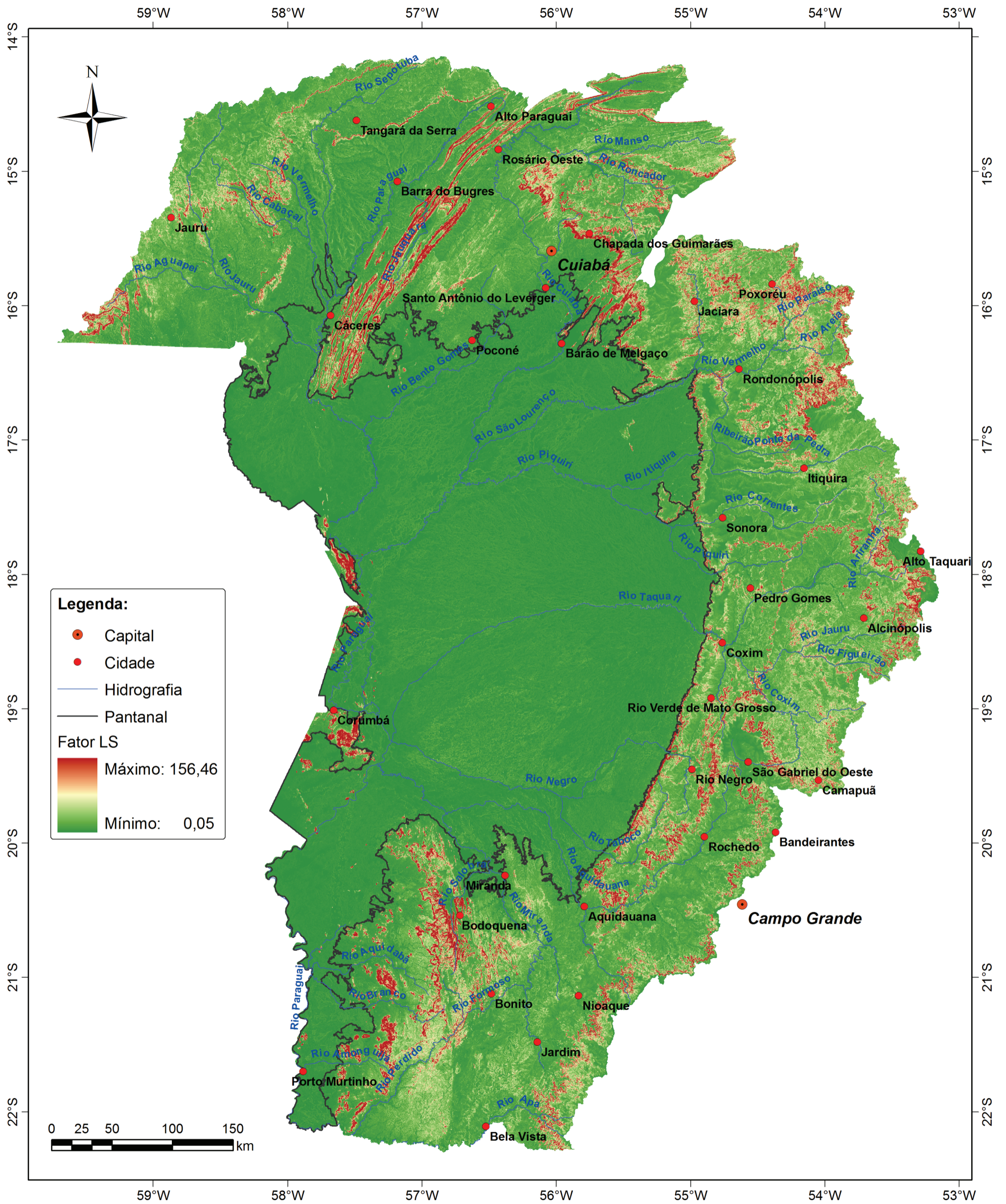


Figura 6: Mapa do fator LS da Rusle na Bacia do Alto Paraguai.





Monitoramento por Satélite

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA