

## República Federativa do Brasil

### Ministério da Infraestrutura

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT

Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos - CGPLAN

Coordenadoria Geral de Meio Ambiente - CGMAB

# ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

Diagnóstico Ambiental - Meio Físico | TOMO II

Dezembro/2022



Contrato: PP-574/2011

Rodovia: BR-392/RS

Trecho: Santa Maria

Entr. RS-344 (Santo Ângelo)

Entr. RS-149 (p/ Formigueiro)

Entr. RS-344 (B) (p/ Santa Rosa)

Segmento: km 307,5 - km 617,0

Extensão: 309,5 km

*Estudos Ambientais para a  
Federalização, Implantação, Pavimentação,  
Adequação de Capacidade com melhorias  
de segurança e eliminação de pontos  
críticos na rodovia BR-392*



## SUMÁRIO

### TOMO I

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR, EMPRESA CONSULTORA E EQUIPE TÉCNICA.....</b>	<b>48</b>
1.1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....	48
1.2 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA .....	48
1.3 DADOS DA EQUIPE TÉCNICA .....	49
<b>2 DADOS DO EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>52</b>
2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	52
2.2 HISTÓRICO, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO EMPREENDIMENTO.....	54
2.2.1 Estudo das Alternativas de Traçado .....	54
2.2.2 Licenciamento Ambiental .....	56
2.2.3 Objetivo .....	59
2.2.4 Justificativa.....	59
2.3 ÓRGÃO FINANCIADOR / VALOR DO EMPREENDIMENTO .....	61
2.4 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	61
2.4.1 Características Básicas de Projeto da Rodovia .....	61
2.4.2 Atividades que Compõem o Empreendimento .....	62
2.4.3 Perfil Longitudinal do Eixo Projetado .....	62
2.4.4 Travessias de Cursos d'água, Áreas Alagáveis, Nascentes, Obras de Arte Corrente (OAC) e Obras de Arte Especiais (OAE) Previstas.....	63
2.4.5 Volumes de Terraplenagem do Empreendimento .....	64
2.4.6 Pontos de Interceptação Pelo Empreendimento Caracterizando a Necessidade de Relocação, Construção/Substituição e Instalação de Passagens em Nível e Desnível.....	64
2.4.7 Estimativa de Desapropriação e Informações Sobre Projeto de Assentamento Federal, Estadual ou Municipal .....	64
2.4.8 Mão de Obra Necessária à Implantação do Empreendimento .....	65
2.5 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DE TRÁFEGO (PARA TRECHOS JÁ EM OPERAÇÃO) .....	65
2.5.1 Levantamento e Caracterização das Condições Operacionais da Via, do Volume de Tráfego Atual e Tipos de Veículos e Cargas que Trafegam na Rodovia .....	65
2.5.2 Levantamento do Tráfego de Produtos Perigosos e Cadastro de Ocorrências de Acidentes com Cargas Perigosas .....	68
2.5.3 Levantamento e Apresentação, por meio de Diagrama Unifilar e Planta Baixa, dos Trechos da Rodovia com Maior Risco de Acidentes a das Áreas Ecologicamente Sensíveis.....	73
2.5.4 Descrição das Medidas/Dispositivos de Segurança de Caráter Preventivo Existentes no Trecho, Incluindo Estacionamento para Veículos de Transporte de Produtos Perigosos.....	84
2.5.5 Descrição das Medidas de Segurança de Caráter Corretivo .....	85
<b>3 ÁREA DE ESTUDO E ÁREA DIRETAMENTE AFETADA.....</b>	<b>87</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO DO MEIO FÍSICO E BIÓTICO .....	87





3.2	ÁREA DE ESTUDO DO MEIO SOCIOECONÔMICO .....	87
<b>4</b>	<b>INSERÇÃO REGIONAL E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>89</b>
4.1	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL COM INTERFACE COM O EMPREENDIMENTO.....	89
4.1.1	Legislação Ambiental Federal .....	89
4.1.2	Legislação Ambiental Estadual .....	92
4.1.3	Legislação Ambiental Municipal .....	93
4.2	PLANOS E/OU PROGRAMAS PÚBLICOS E/OU DA INICIATIVA PRIVADA PROPOSTOS OU EM ANDAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO .....	94
4.2.1	Inserção Regional no Âmbito do Plano Nacional de Logística.....	94
4.2.2	Inserção Regional no Âmbito da Infraestrutura Energética.....	95
4.2.3	Inserção Regional no Âmbito de Programas, Ações e Metas do Governo Estadual para as Regiões Funcionais 7 e 8.....	96
4.2.4	Inserção Regional no Âmbito do Plano Estadual de Logística de Transportes.....	97
4.2.5	Inserção Regional no Âmbito do Plano de Obras da Secretaria de Logística e Transportes do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem .....	99
4.3	ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS EXISTENTES E PREVISTOS PARA A ÁREA DE ESTUDO DO MEIO SOCIOECONÔMICO .....	99

**TOMO II**

<b>5</b>	<b>DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>100</b>
5.1	MEIO FÍSICO.....	100
5.1.1	Clima .....	100
5.1.1.1	Metodologia.....	100
5.1.1.2	Climatologia do Rio Grande do Sul .....	101
5.1.1.2.1	Climatologia na Área de Estudo do Meio Físico .....	101
5.1.2	Geologia e Geomorfologia.....	114
5.1.2.1	Geologia.....	114
5.1.2.1.1	Metodologia.....	114
5.1.2.1.2	Caracterização Geotectônica .....	115
5.1.2.1.3	Caracterização Litoestratigráficas .....	116
5.1.2.1.4	Aspectos Gerais Observados em Campo.....	121
5.1.2.2	Geomorfologia.....	130
5.1.2.2.1	Metodologia.....	130
5.1.2.2.2	Aspectos Gerais.....	131
5.1.2.2.3	Descrição das Unidades Geomorfológicas.....	134
5.1.3	Solos e Geotecnia .....	140
5.1.3.1	Solos.....	140
5.1.3.1.1	Metodologia.....	140
5.1.3.1.2	Regiões Fisiográficas.....	141
5.1.3.1.3	Classificação dos Solos na Área de Estudo do Meio Físico .....	141
5.1.3.1.4	Suscetibilidade à Erosão .....	144
5.1.3.1.5	Resistência a Impactos Ambientais.....	144
5.1.3.1.6	Levantamento de Campo.....	147
5.1.3.2	Geotecnia.....	154





5.1.3.2.1	Mapeamento das Áreas com Potencialidade para Desenvolvimento de Movimentos de Massa.....	154
5.1.3.2.2	Aspectos Geotécnicos da Área de Estudo do Meio Físico.....	167
5.1.4	Espeleologia.....	183
5.1.4.1	Metodologia.....	184
5.1.4.2	Contexto Geológico e Geomorfológico.....	187
5.1.4.3	Potencial para Formação e Manutenção de Cavernas.....	187
5.1.4.4	Pesquisa para Identificação de Cavidades Naturais.....	188
5.1.4.5	Cavidades Naturais Registradas e Identificadas na Área de Estudo do Meio Físico.....	191
5.1.4.5.1	Caverna do Faxinal.....	191
5.1.4.5.2	Caverna dos Militares.....	193
5.1.4.5.3	Caverna do Barranco.....	194
5.1.4.5.4	Caverna Toropi.....	194
5.1.4.5.5	Gruta Santa Bárbara.....	196
5.1.4.6	Considerações Finais.....	197
5.1.5	Recursos Hídricos.....	197
5.1.5.1	Hidrologia e Hidrogeologia.....	197
5.1.5.1.1	Hidrologia.....	197
5.1.5.1.2	Hidrogeologia.....	228
5.1.5.2	Qualidade da Água.....	236
5.1.5.2.1	Metodologia.....	236
5.1.5.2.2	Caracterização dos Pontos de Amostragem.....	239
5.1.5.2.3	Realização das Campanhas de Amostragem.....	242
5.1.5.2.4	Conclusão.....	248
5.1.6	Ruído e Vibração.....	249
5.1.6.1	Ruído.....	249
5.1.6.1.1	Metodologia.....	249
5.1.6.1.2	Caracterização dos Segmentos.....	250
5.1.6.1.3	Caracterização dos Pontos a Serem Monitorados.....	252
5.1.6.1.4	Monitoramento de Ruídos.....	255
5.1.6.1.5	Conclusão.....	257
5.1.6.2	Vibração.....	257
5.1.6.2.1	Introdução.....	257
5.1.6.2.2	Normas.....	257
5.1.6.2.3	Situações de Ocorrência, Tipos e Níveis das Vibrações.....	258
5.1.6.2.4	Vibrações Potenciais Relacionadas ao Empreendimento.....	259
5.1.6.2.5	Expectativa de Impactos das Vibrações.....	260
5.1.6.2.6	Conclusão Preliminar.....	260
5.1.7	Paleontologia.....	261
5.1.7.1	Metodologia.....	261
5.1.7.2	Geologia e Paleontologia na Área de Estudo do Meio Físico.....	261
5.1.7.3	Levantamento de Campo.....	261
5.1.7.4	Considerações sobre o Traçado em Estudo.....	280
5.1.7.4.1	Trecho 1.....	281
5.1.7.4.2	Trecho 2.....	281





5.1.7.4.3	Trecho 3 .....	281
5.1.7.4.4	Trecho 4 .....	281

### TOMO III

5.2	MEIO BIÓTICO.....	282
5.2.1	Caracterização dos Ecossistemas.....	282
5.2.1.1	Unidades de Conservação e Outras Áreas de Relevância para a Conservação.....	282
5.2.1.1.1	Unidades de Conservação .....	282
5.2.1.1.2	Reservas Legais .....	291
5.2.1.1.3	Áreas de Preservação Permanente.....	294
5.2.1.2	Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade .....	297
5.2.1.3	Corredores Ecológicos e/ou Corredores entre Remanescentes de Vegetação Nativa .....	300
5.2.1.3.1	Padrões Espaciais da Paisagem .....	300
5.2.1.3.2	Conectividade da Paisagem .....	316
5.2.1.3.3	Corredores Ecológicos.....	322
5.2.2	Flora.....	326
5.2.2.1	Caracterização da Flora na Área de Estudo do Meio Biótico.....	326
5.2.2.2	Espécies de Interesse Ambiental, Ecológico e Econômico .....	332
5.2.2.3	Identificação e Caracterização das Áreas de Preservação Permanente na Área Diretamente Afetada.....	340
5.2.2.4	Levantamentos Florísticos - Dados Primários.....	344
5.2.2.4.1	Florística .....	345
5.2.2.4.2	Componente Arbóreo .....	349
5.2.2.4.3	Componente Campestre .....	367
5.2.3	Fauna.....	396
5.2.3.1	Metodologias.....	398
5.2.3.1.1	Fauna de Provável Ocorrência da Área de Estudo do Meio Biótico .....	398
5.2.3.1.2	Fauna Ocorrente na Área de Estudo do Meio Biótico .....	398
5.2.3.1.3	Fauna Atropelada na Área de Estudo do Meio Biótico.....	410
5.2.3.1.4	Programa de Telemetria.....	414
5.2.3.1.5	Avaliação da Conectividade da Paisagem em Função das Espécies-alvo .....	416
5.2.3.1.6	Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos Através de Bioindicadores - Macroinvertebrados Bentônicos.....	418
5.2.3.2	Resultados.....	425
5.2.3.2.1	Fauna de Provável Ocorrência na Área de Estudo do Meio Biótico .....	425
5.2.3.2.2	Fauna Ocorrente na Área de Estudo do Meio Biótico .....	433
5.2.3.2.3	Fauna Atropelada na Área de Estudo do Meio Biótico.....	466
5.2.3.2.4	Programa de Telemetria .....	475
5.2.3.2.5	Avaliação da Conectividade da Paisagem em Função das Espécies-alvo .....	480
5.2.3.2.6	Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos Através de Bioindicadores - Macroinvertebrados Bentônicos.....	485
5.2.4	Discussões e Conclusões sobre o Meio Biótico .....	499
5.2.4.1	Vulnerabilidade e Sensibilidade das Espécies.....	501
5.2.4.1.1	Anfíbios .....	502
5.2.4.1.2	Aves.....	502



5.2.4.1.3	Mamíferos .....	503
5.2.4.1.4	Peixes-anuais.....	505
5.2.4.1.5	Répteis .....	505
5.2.4.1.6	Macroinvertebrados Bentônicos .....	506

#### TOMO IV

5.3	MEIO SOCIOECONÔMICO .....	509
5.3.1	Metodologia .....	509
5.3.2	Caracterização da População .....	510
5.3.2.1	Processo de Ocupação Humana e Formação dos Municípios da Área de Estudo do Meio Socioeconômico.....	510
5.3.2.2	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e Índice de Escolaridade.....	514
5.3.2.3	Distribuição Geográfica da População nos Municípios.....	521
5.3.2.4	Aglomerados Populacionais no Âmbito da Área Diretamente Afetada.....	527
5.3.2.4.1	Santo Ângelo.....	530
5.3.2.4.2	Entre-Ijuís.....	531
5.3.2.4.3	São Miguel das Missões .....	536
5.3.2.4.4	Tupanciretã .....	538
5.3.2.4.5	Jari .....	539
5.3.2.4.6	Toropi.....	540
5.3.2.4.7	São Pedro do Sul.....	541
5.3.2.4.8	Santa Maria.....	543
5.3.2.4.9	São Sepé e Formigueiro.....	545
5.3.3	Saúde .....	546
5.3.4	Educação .....	553
5.3.5	Estrutura Viária.....	557
5.3.5.1	Santo Ângelo .....	564
5.3.5.2	Entre-Ijuís .....	564
5.3.5.3	São Miguel das Missões .....	566
5.3.5.4	Tupanciretã.....	568
5.3.5.5	Jari.....	569
5.3.5.6	Toropi.....	570
5.3.5.7	São Pedro do Sul.....	571
5.3.5.8	Santa Maria.....	572
5.3.6	Comunicação e Informação .....	574
5.3.7	Aspectos Econômicos.....	575
5.3.7.1	Caracterização das Principais Atividades Econômicas dos Municípios da ADA.....	575
5.3.7.1.1	Estrutura Produtiva e de Serviços .....	575
5.3.7.1.2	Vetores de Crescimento Econômico na ADA .....	577
5.3.7.2	Caracterização das Principais Atividades Econômicas na ADA com Vistas a Identificar as Possíveis Restrições Associadas ao Empreendimento.....	580
5.3.7.3	Potencial Turístico da AE do Meio Socioeconômico.....	588
5.3.8	Uso e Ocupação do Solo .....	592
5.3.8.1	Uso e Cobertura da Terra.....	593
5.3.8.2	Vetores de Expansão Urbana.....	598



5.3.8.2.1	Giruá .....	600
5.3.8.2.2	Santo Ângelo.....	602
5.3.8.2.3	Entre Ijuís .....	604
5.3.8.2.4	Vitória das Missões.....	606
5.3.8.2.5	São Miguel das Missões .....	608
5.3.8.2.6	Eugênio de Castro.....	610
5.3.8.2.7	Jóia .....	611
5.3.8.2.8	Capão do Cipó.....	612
5.3.8.2.9	Tupanciretã .....	613
5.3.8.2.10	Jari .....	614
5.3.8.2.11	Quevedos.....	616
5.3.8.2.12	Toropi.....	618
5.3.8.2.13	São Martinho da Serra.....	620
5.3.8.2.14	São Pedro do Sul .....	622
5.3.8.2.15	Dilermando de Aguiar .....	623
5.3.8.2.16	Santa Maria.....	625
5.3.8.2.17	Formigueiro .....	627
5.3.8.2.18	São Sepé .....	628
5.3.8.3	Plano Diretor Municipal .....	630
5.3.8.4	Edificações e Benfeitorias Impactadas pelo Traçado da Rodovia.....	632
5.3.8.5	Áreas com o Direito de Lavra ou Documento Equivalente que Permita a Exploração Mineral.....	634
5.3.9	Desapropriação.....	637
5.3.10	Comunidades Quilombolas .....	637
5.3.11	Comunidades Indígenas.....	640
5.3.12	Patrimônio Histórico, Cultural e Arqueológico .....	643
5.3.12.1	Histórico dos Procedimentos Efetuados Anteriormente Junto ao IPHAN.....	643
5.3.12.2	Abordagem das "Novas Legislações" que Regram o Licenciamento Específico do Tema.....	644
5.3.12.3	Fluxograma Geral com as Etapas a Serem Executadas nos Estudos do Patrimônio.....	644
5.3.13	Comunidades Tradicionais .....	646
5.3.14	Discussões e Conclusões sobre a Socioeconomia.....	650
5.3.14.1	Caracterização da População .....	650
5.3.14.2	Saúde e Educação.....	652
5.3.14.3	Uso e Ocupação do Solo .....	653
5.3.14.4	Estrutura Vária .....	654
5.3.14.5	Desapropriação .....	655
5.3.14.6	Cenário Econômico.....	655
5.4	PASSIVOS AMBIENTAIS.....	656
5.5	SÍNTESE DA SITUAÇÃO AMBIENTAL DA REGIÃO.....	657

## TOMO V

<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....</b>	<b>662</b>
6.1	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS .....	662
6.1.1	Impactos sobre o Meio Físico .....	673
6.1.1.1	Exposição de Material Rochoso com Potencial Paleontológico .....	673





6.1.1.1.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	674
6.1.1.2	Alteração/Destruição de Material Paleontológico .....	674
6.1.1.2.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	675
6.1.1.3	Formação ou Intensificação de Processos Erosivos .....	675
6.1.1.3.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	676
6.1.1.4	Alteração na Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais .....	677
6.1.1.4.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	679
6.1.1.5	Intensificação do Assoreamento em Corpos Hídricos .....	679
6.1.1.5.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	680
6.1.1.6	Interferência nos Fluxos Naturais dos Corpos Hídricos .....	681
6.1.1.6.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	681
6.1.1.7	Contaminação do Solo .....	681
6.1.1.7.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	683
6.1.1.8	Alteração da Qualidade do Ar .....	683
6.1.1.8.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	684
6.1.1.9	Alteração nos Níveis de Ruídos e Vibração .....	685
6.1.1.9.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	687
6.1.1.10	Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos .....	688
6.1.1.10.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	689
6.1.1.11	Alteração das Condições de Estabilidade de Encostas e Taludes .....	690
6.1.1.11.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	692
6.1.1.12	Alteração/Destruição do Patrimônio Espeleológico .....	692
6.1.1.12.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	693
6.1.2	Impactos sobre o Meio Biótico .....	694
6.1.2.1	Aumento da Fragmentação da Paisagem e Incidência de Efeito de Borda .....	694
6.1.2.1.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	695
6.1.2.2	Interferência em Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade .....	696
6.1.2.2.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	696
6.1.2.3	Aumento da Dispersão de Espécies Exóticas/Invasoras da Flora .....	697
6.1.2.3.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	698
6.1.2.4	Interrupção de Corredores Ecológicos .....	698
6.1.2.4.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	699
6.1.2.5	Interferência em Áreas de Preservação Permanente .....	700
6.1.2.5.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	701
6.1.2.6	Redução de Ambientes Florestais .....	701
6.1.2.6.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	702
6.1.2.7	Redução de Ambientes Campestres .....	702
6.1.2.7.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	703
6.1.2.8	Redução de Espécimes da Flora com Interesse Econômico, Medicinal e Ambiental .....	703
6.1.2.8.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	705
6.1.2.9	Aumento de Incêndios em Vegetação Nativa .....	705
6.1.2.9.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias .....	706
6.1.2.10	Perda de <i>Habitat</i> .....	707
6.1.2.10.1	Perda de <i>Habitat</i> para a Fauna Florestal .....	708
6.1.2.10.2	Perda de <i>Habitat</i> para a Fauna Campestre .....	709







6.1.2.10.3	Perda de <i>Habitat</i> para a Fauna de Áreas Úmidas/Banhados.....	710
6.1.2.10.4	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	711
6.1.2.11	Perda de Qualidade de <i>Habitat</i> para a Fauna.....	711
6.1.2.11.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	715
6.1.2.12	Perda de Qualidade de <i>Habitat</i> para a Fauna por Ruído.....	715
6.1.2.12.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	718
6.1.2.13	Perda de Qualidade de <i>Habitat</i> para a Fauna por Luminosidade.....	718
6.1.2.13.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	721
6.1.2.14	Aumento da Dispersão de Espécies Invasoras da Fauna.....	721
6.1.2.14.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	722
6.1.2.15	Aumento das Fatalidades de Fauna.....	722
6.1.2.15.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	724
6.1.2.16	Aumento da Caça e Pesca.....	724
6.1.2.16.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	725
6.1.2.17	Perda de Conectividade de <i>Habitat</i> para a Fauna.....	725
6.1.2.17.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	727
6.1.2.18	Perda de Conectividade de <i>Habitat</i> para a Fauna de Cursos D'água.....	727
6.1.2.18.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	728
6.1.2.19	Atração da Fauna para a Rodovia em Função da Disponibilização de Novos Recursos.....	729
6.1.2.19.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	729
6.1.2.20	Atração da Fauna Sinantrópica.....	730
6.1.2.20.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	730
6.1.2.21	Alteração na Composição da Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos pela Perda da Heterogeneidade do Substrato do Ambiente Aquático.....	730
6.1.2.21.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	732
6.1.2.22	Perda de <i>Habitat</i> para a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos.....	732
6.1.2.22.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	734
6.1.2.23	Redução da Qualidade de <i>Habitat</i> para a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos por Contaminação com Efluentes.....	735
6.1.2.23.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	736
6.1.3	Impactos sobre o Meio Socioeconômico.....	736
6.1.3.1	Geração de Expectativas na População.....	736
6.1.3.1.1	Medidas Potencializadoras.....	737
6.1.3.2	Alterações nos Valores Imobiliários.....	738
6.1.3.2.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	739
6.1.3.2.2	Medidas Potencializadoras.....	739
6.1.3.3	Desapropriação.....	739
6.1.3.3.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	739
6.1.3.4	Afluxo Populacional Para a Região.....	740
6.1.3.4.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	740
6.1.3.4.2	Medidas Potencializadoras.....	741
6.1.3.5	Geração de Emprego e Renda.....	741
6.1.3.5.1	Medidas Potencializadoras.....	742
6.1.3.6	Aumento da Pressão sobre Infraestrutura de Serviços Locais.....	742
6.1.3.6.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	743





6.1.3.7	Aumento da Incidência de Doenças.....	743
6.1.3.7.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	744
6.1.3.8	Aumento de Ocorrência de Acidentes Rodoviários e com Maquinários da Obra.....	744
6.1.3.8.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	745
6.1.3.9	Aumento de Acidentes com Animais Peçonhentos e Proliferação de Vetores.....	746
6.1.3.9.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	747
6.1.3.10	Transtornos à População.....	747
6.1.3.10.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	748
6.1.3.11	Incremento da Economia Regional e Aumento da Arrecadação dos Municípios.....	748
6.1.3.11.1	Medidas Potencializadoras.....	749
6.1.3.12	Danos às Benfeitorias.....	749
6.1.3.12.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	750
6.1.3.13	Aumento das Atividades Informais e Ocupações Desordenadas na Faixa de Domínio.....	750
6.1.3.13.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	751
6.1.3.14	Alteração da Paisagem.....	751
6.1.3.14.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	752
6.1.3.15	Alteração/Destruição de Sítios Arqueológicos.....	753
6.1.3.15.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	753
6.1.3.16	Perda de Emprego e Renda.....	754
6.1.3.16.1	Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	754
6.1.3.17	Melhoria na Mobilidade, Acessibilidade e Segurança dos Usuários.....	754
6.1.3.17.1	Medidas Potencializadoras.....	756
6.1.3.18	Potencialização do Turismo Local e Acesso à Cultura e Lazer.....	756
6.1.3.18.1	Medidas Potencializadoras.....	757
6.1.3.19	Contribuição Científica Proporcionada por Estudos Ambientais.....	757
6.1.3.19.1	Medidas Potencializadoras.....	759
6.2	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	759
6.3	ANÁLISE INTEGRADA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	763
6.3.1	Análise do Grau de Impacto.....	768
6.3.2	Análise dos Efeitos Cumulativos Aditivos dos Impactos Ambientais.....	768
6.3.3	Análise dos Efeitos Cumulativos Sinérgicos dos Impactos Ambientais.....	771
6.3.4	Aspectos Ambientais Significativos.....	774
6.3.5	Impactos Cumulativos com Outros Empreendimentos.....	775
<b>7</b>	<b>ÁREAS DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO.....</b>	<b>780</b>
7.1	ÁREAS DE INFLUÊNCIA DIRETA.....	780
7.1.1	Área de Influência Direta do Meio Físico e Biótico.....	780
7.1.2	Área de Influência Direta do Meio Socioeconômico.....	782
7.1.3	Área de Influência Direta Total.....	784
7.2	ÁREA DE INFLUÊNCIA INDIRETA.....	784
7.2.1	Área de Influência Indireta do Meio Físico.....	784
7.2.2	Área de Influência Indireta do Meio Biótico.....	786
7.2.3	Área de Influência Indireta do Socioeconômico.....	788
7.2.4	Área de Influência Indireta Total.....	790
7.3	ÁREAS DE INFLUÊNCIA TOTAL.....	791





<b>8</b>	<b>MEDIDAS MITIGADORAS, COMPENSATÓRIAS E PROGRAMAS AMBIENTAIS.....</b>	<b>792</b>
8.1	COMPENSAÇÃO AMBIENTAL .....	813
8.1.1	Caracterização das Áreas de Influência.....	813
8.1.2	Unidades de Conservação .....	814
8.1.3	Áreas de Importância Biológica .....	816
8.1.4	Grau de Impacto e Destinação dos Recursos da Compensação Ambiental .....	819
8.1.4.1	Cálculo dos Índices.....	819
8.1.4.1.1	Índice de Magnitude .....	819
8.1.4.1.2	Índice de Biodiversidade .....	820
8.1.4.1.3	Índice de Abrangência.....	821
8.1.4.1.4	Índice de Temporalidade.....	821
8.1.4.1.5	Índice de Comprometimento de Áreas Prioritárias .....	822
8.1.4.1.6	Impacto Sobre a Biodiversidade .....	823
8.1.4.1.7	Comprometimento de Área Prioritária .....	823
8.1.4.2	Influência em Unidades de Conservação.....	824
8.1.4.3	Cálculo do Grau de Impacto do Empreendimento .....	824
8.1.4.4	Proposição de Unidade de Conservação a ser Beneficiada com os Recursos da Compensação Ambiental .....	824
<b>9</b>	<b>ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS.....</b>	<b>827</b>
9.1	ALTERNATIVAS LOCACIONAIS GERAIS .....	827
9.1.1	Procedimentos Metodológicos .....	827
9.1.1.1	Análise Multicritério .....	827
9.1.1.1.1	Estruturação Hierárquica dos <i>Layers</i> .....	828
9.1.1.1.2	Comparação Pareada.....	830
9.1.1.2	Mapa de Sensibilidade Ambiental.....	841
9.1.1.3	Índice e Razão de Consistência.....	841
9.1.1.4	Análise de Sensibilidade .....	842
9.1.1.5	Caminho Linear de Menor Custo .....	843
9.1.2	Segmento de Estudo .....	845
9.1.3	Resultados.....	845
9.1.3.1	Análise Multicritério .....	845
9.1.3.1.1	Meio Socioeconômico.....	845
9.1.3.1.2	Meio Físico .....	847
9.1.3.1.3	Meio Biótico .....	850
9.1.3.1.4	Variáveis Básicas de Projeto .....	852
9.1.3.2	Alternativas Locacionais .....	854
9.1.3.2.1	Alternativa 1 .....	855
9.1.3.2.2	Alternativa 2 .....	857
9.1.3.2.3	Alternativa 3 .....	859
9.1.3.2.4	Alternativa 4 .....	861
9.1.3.2.5	Alternativa 5 .....	863
9.2	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....	866
9.2.1	Alternativas de Pavimentação.....	866



9.2.1.1	Pavimentos Flexíveis.....	866
9.2.1.1.1	Vantagens.....	866
9.2.1.2	Pavimento Rígido.....	867
9.2.1.2.1	Vantagens.....	867
9.2.1.3	Considerações Relativas aos Custos.....	867
9.2.2	Alternativa para Execução dos Aterros.....	868
9.2.3	Alternativa para Construção de Obra de Arte Especial.....	868
9.2.4	Alternativa para Construção de Passagens de Fauna.....	868
9.3	ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E TECNOLÓGICAS ESPECÍFICAS.....	869
9.3.1	ALE 01 (km 42+200 ao 47+200).....	870
9.3.2	ALE 02 (km 47+800 ao 48+200).....	871
9.3.3	ALE 03 (km 61+400 ao 62+200).....	872
9.3.4	ALE 04 (km 85+200 ao 87+000).....	873
9.3.5	ALE 05 (km 91+000 ao 92+800).....	874
9.3.6	ALE 06 (km 93+500 ao 96+200).....	875
9.3.7	ALE 07 (km 108+200 ao 109+200).....	876
9.3.8	ALE 08 (km 110+000 ao 113+000).....	877
9.3.9	ALE 09 (km 190+000 ao 191+000).....	878
9.3.10	ALE 10 (km 197+000 ao 198+900).....	879
9.3.11	ALE 11 (km 204+600 ao 205+800).....	880
9.3.12	ALE 12 (km 208+200 ao 208+600).....	881
9.3.13	ALE 13 (km 233+300 ao 234+300).....	882
9.3.14	ALE 14 (km 236+000 ao 237+500).....	883
9.3.15	ALE 15 (km 245+000 ao 246+000).....	884
<b>10</b>	<b>PROGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>885</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>890</b>
11.1	PROVÁVEIS MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS, SOCIAIS OU ECONÔMICAS NA REGIÃO DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO, CONSIDERANDO A ADOÇÃO DAS MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS PROPOSTAS.....	890
11.2	BENEFÍCIOS E MALEFÍCIOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DECORRENTES DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	891
11.3	AValiação DO PROGNÓSTICO REALIZADO QUANTO À VIABILIDADE AMBIENTAL DO PROJETO.....	892
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>894</b>
<b>13</b>	<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>932</b>
<b>TOMO VI</b>		
<b>14</b>	<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>937</b>
<b>TOMO VII</b>		
<b>15</b>	<b>LISTA DE APÊNDICES.....</b>	<b>938</b>



## 5 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

### 5.1 Meio Físico

#### 5.1.1 Clima

##### 5.1.1.1 Metodologia

O diagnóstico climatológico da AE do Meio Físico foi baseado em dados secundários das características climáticas do Sul do Brasil, com a compilação dos parâmetros climatológicos de série histórica de 30 anos, abrangendo o período 1990-2019, coletados de diferentes estações climatológicas, conforme Quadro 35. Os parâmetros avaliados foram: evapotranspiração, insolação, umidade relativa, precipitação, regime e velocidade média dos ventos e temperatura do ar. Também foram considerados os principais fenômenos meteorológicos que atuam sobre a região Sul do Brasil.

Quadro 35. Estações meteorológicas utilizadas na análise climatológica.

Estação	Município	Operador (a)	Precipitação	Temperatura	Umidade Relativa do Ar	Insolação	Evapo-transpiração	Velocidade dos Ventos
Girúá	Girúá	CPRM	X					
Passo Viola	Guarani das Missões	CPRM	X					
Passo Major Zeferino	São Miguel das Missões	CPRM	X					
Coimbra	São Miguel das Missões	Agropan	X					
São José	Jóia	Agropan	X					
Esquina dos Lima	Capão do Cipó	CPRM	X					
Espinilho	Tupanciretã	Agropan	X					
Santa Tecla	Tupanciretã	Agropan	X					
São Bernardo	Tupanciretã	Agropan	X					
Inhacapetum	Tupanciretã	Agropan	X					
Lageado Celso	Tupanciretã	Agropan	X					
São Joaquim	Jari	Agropan	X					
Jari	Jari	Agropan	X					
Quevedos	Quevedos	CPRM	X					
Santa Maria	Santa Maria	INMET	X	X	X	X	X	X
Bom Retiro	São Gabriel	CPRM	X					
Arroio São Sepé	São Sepé	SEMA	X					
Furnas do Segredo	Jaguari	CPRM	X					
Cruz Alta	Cruz Alta	INMET		X	X	X	X	X
São Luiz Gonzaga	São Luiz Gonzaga	INMET		X	X	X	X	X

Legenda: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2020), Cooperativa Agrícola Tupanciretã Ltda. (Agropan, 2020), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA, 2020).

Para a precipitação pluviométrica, foram interpolados 18 postos pluviométricos localizados dentro e ao entorno da AE do Meio Físico. Já as informações de temperatura do ar foram obtidas a partir de dados da Somar Meteorologia (2020), considerando os municípios de Santo Ângelo, Girúá, Santa Maria, São Sepé, Quevedos, Jari e São Miguel das Missões, enquanto que, URA, direção e velocidade dos ventos, insolação e evapotranspiração foram obtidos nas três estações meteorológicas (EMs) oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas ao entorno do empreendimento, são elas: EM de Santa Maria, EM de Cruz Alta e EM de São Luiz Gonzaga.

Tanto no RS quanto no restante do Brasil, a disponibilidade de dados meteorológicos apresenta muitas lacunas, por isso a importância dos dados distribuídos pela Cooperativa Agrícola Tupanciretã Ltda. (Agropan), primordiais no desenvolvimento dessa pesquisa, uma vez que a densidade da rede de postos de coleta é fundamental, apresentando segurança ao estudo (GOMES *et al.*, 2019). Durante os trabalhos de campo, verificou-se que a localização dos pluviômetros segue o recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1994), estando situados em campo gramado e espaçado, livres de qualquer barreira.

Após a aquisição dos dados de precipitação, realizou-se o preenchimento de falhas utilizando o método de regressão linear (OLIVEIRA, 2010) e o cálculo das precipitações pluviométricas médias mensais, sazonais e anual para a AE do



Meio Físico. Assim, gerou-se uma tabela com os valores de precipitação e localização dos respectivos postos pluviométricos. A interpolação dos dados de precipitação foi realizada pelo método de krigagem ordinária<sup>4</sup> (LOUREIRO e FERNANDES, 2013), em *software* de geoprocessamento compatível com o sistema ArcGIS, conforme método também utilizado por Simioni *et al.* (2015) e Gomes *et al.* (2019), em áreas próximas a estudada nesta pesquisa.

A validação dos dados foi realizada pelo método de validação cruzada. Este método usa todos os dados para estimar os modelos de tendência e autocorrelação. Ele remove cada posto pluviométrico, um de cada vez, e prevê o valor do referido posto, através da interpolação, ou seja, a validação cruzada omite um ponto e calcula o valor nesse local usando os 17 pontos restantes. Os valores previstos e reais no local do ponto omitido são comparados. Este procedimento é repetido para os próximos pontos, e assim sucessivamente. Para todos os pontos, a validação cruzada compara os valores medidos e previstos. Após concluir a validação cruzada, alguns locais de dados podem ser deixados de lado como incomuns se contiverem erros grandes, exigindo que os modelos de tendência e autocorrelação sejam reajustados.

#### 5.1.1.2 Climatologia do Rio Grande do Sul

O RS é constituído por quatro estações bem definidas: outono, inverno, primavera e verão. O Estado costuma registrar temperaturas no mês mais quente superiores a 22°C e no mês mais frio entre 3°C e 18°C, podendo nas zonas elevadas da Serra e Campos de Cima da Serra ocorrer fortes geadas com mais frequência. A ocorrência de neve é verificada nos pontos mais elevados do Escudo e do Planalto Superior do Estado, no entanto, salienta-se que este fenômeno não ocorre regularmente.

##### 5.1.1.2.1 Climatologia na Área de Estudo do Meio Físico

###### Tipologias Climáticas

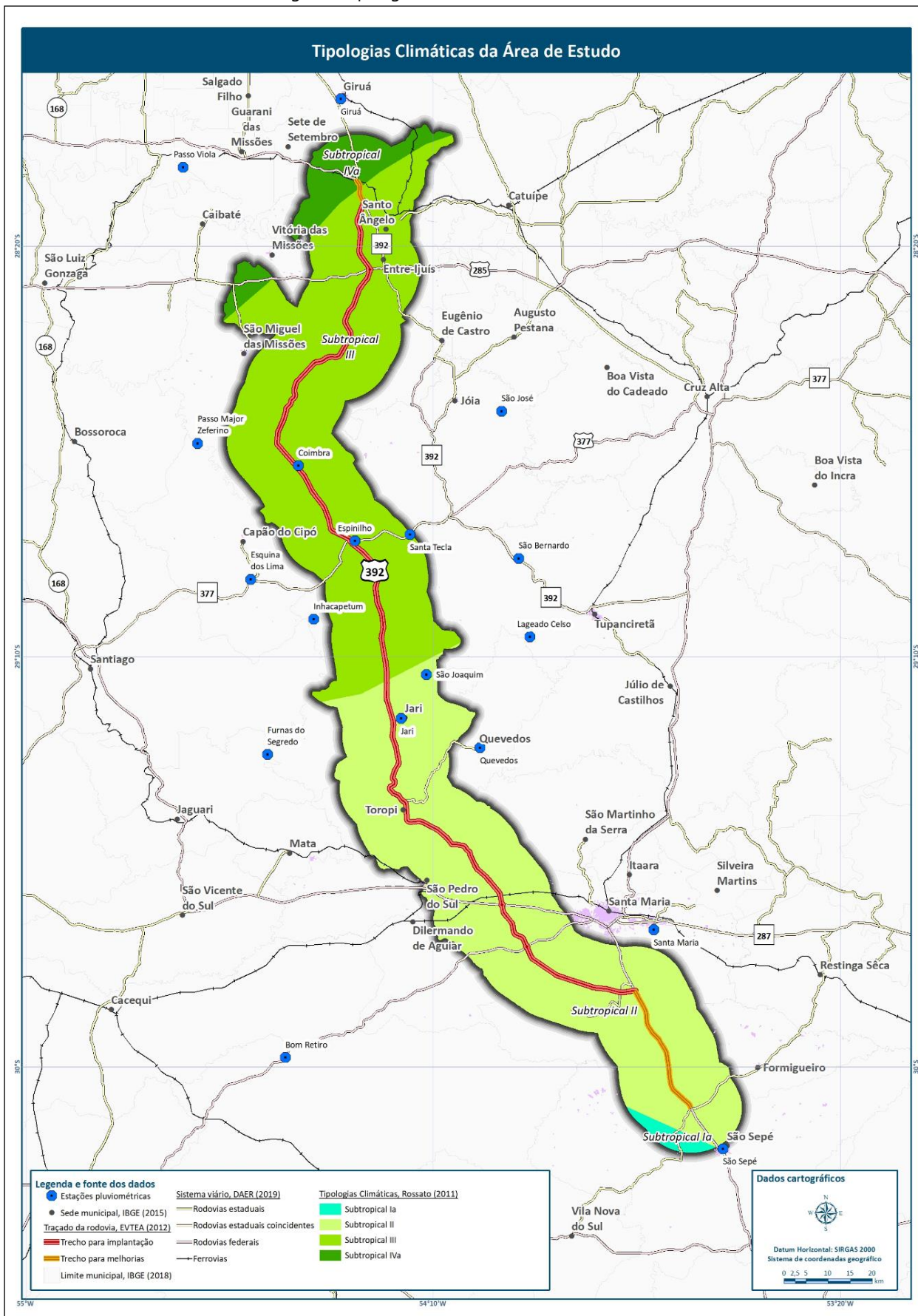
Para a AE são encontradas quatro tipologias climáticas (Figura 8) definidas por Rossato (2011), são elas:

- **Subtropical Ia** - clima pouco úmido com inverno frio e verão fresco. Áreas com maior influência dos sistemas polares.
- **Subtropical II** - medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. Esta área possui maior influência dos sistemas polares e tropicais continentais. Influenciam também o relevo, a continentalidade e a maritimidade.
- **Subtropical III** - úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. Área com influência dos sistemas polares e maior interferências dos sistemas tropicais, juntamente com os efeitos do relevo, da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas.
- **Subtropical IV** - muito úmido com inverno fresco e verão quente. Área com menor influência dos sistemas polares e maior atuação dos sistemas tropicais marítimos e continentais na primavera e no verão, juntamente com os efeitos do relevo e da continentalidade.

<sup>4</sup> Utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, criando assim pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados, diminuindo o erro e aumentando a confiabilidade dos dados.



Figura 8. Tipologias climáticas da AE do Meio Físico.

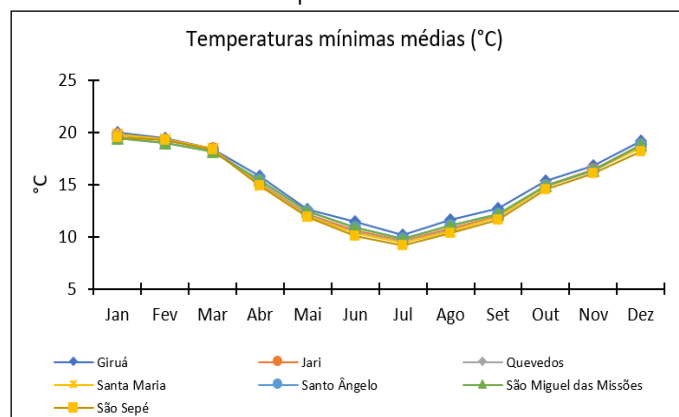




## Temperatura do Ar

As temperaturas médias mínimas e médias máximas mensais, para os municípios de referência são vistas nos Gráfico 23 e Gráfico 24. Nota-se um padrão semelhante na distribuição das temperaturas médias mínimas para os sete municípios analisados. Destaca-se o município de Giruá, que apresenta um pequeno aumento dos valores de temperatura média mínima entre os meses de abril a outubro, se comparado com os outros municípios. No geral, o mês de janeiro é o que apresenta as maiores temperaturas médias mínimas, aproximadamente 20°C, enquanto que, julho é o mês que apresenta as menores médias mínimas, variando entre 9,2°C em São Sepé a 10,2°C em Giruá, demonstrando uma diferença média de um grau Celsius nas temperaturas médias mínimas, no sentido norte-sul, entre os municípios inseridos na AE do Meio Físico.

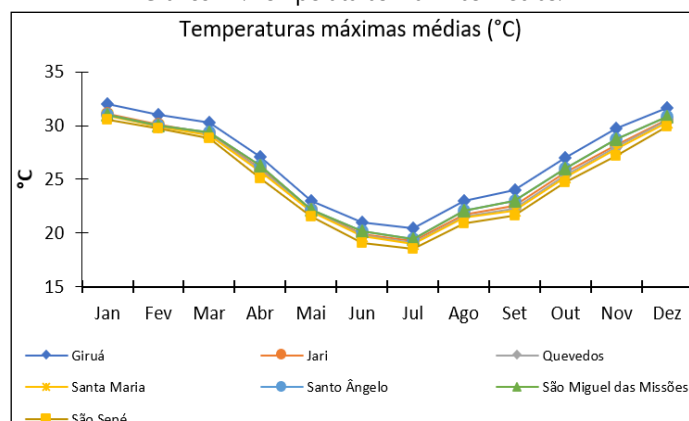
Gráfico 23. Temperaturas mínimas médias.



Fonte: INMET (2020).

Em relação as temperaturas máximas médias (Gráfico 24), o município de Giruá se destaca pelas maiores médias durante todos os meses do ano. Já os demais municípios apresentam um padrão semelhante nos valores de temperatura máxima média. As maiores temperaturas máximas médias são vistas no mês de janeiro, quando variam entre 30,6°C em São Sepé a 32°C em Giruá. Julho é o mês com as menores temperaturas máximas médias, variando entre 18,5°C em São Sepé a 20,4°C em Giruá.

Gráfico 24. Temperaturas máximas médias.



Fonte: INMET (2020).

Apesar da pequena diferença entre os valores de temperatura é possível verificar uma variação latitudinal da temperatura, onde os municípios mais ao norte da AE do Meio Físico, possuem as maiores temperaturas médias, enquanto os municípios ao sul, possuem as menores temperaturas.





### Velocidade e Direção dos Ventos

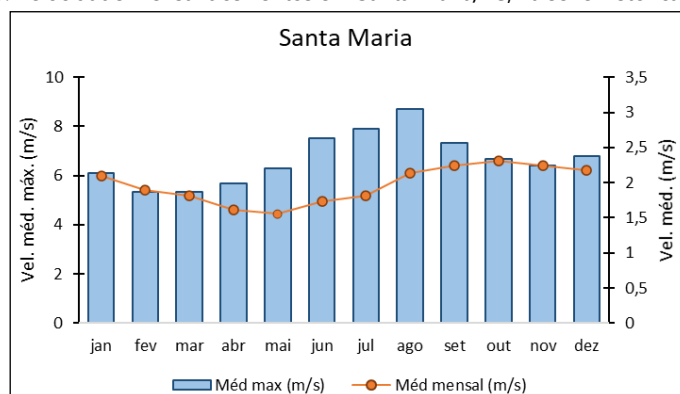
A velocidade e a direção dos ventos foram obtidas junto as EMs oficiais do INMET, em três municípios, Santa Maria, Cruz Alta e São Luiz Gonzaga. Os dados são medidos em três diferentes horários (00 h, 12 h e 18 h UTC), ou seja, 21 h, 09 h e 15 h pelo horário de Brasília.

Os Gráfico 25, Gráfico 26 e Gráfico 27 apresentam as velocidades mensal média e média máxima dos ventos para as EMs do INMET em Santa Maria, Cruz Alta e São Luiz Gonzaga. A análise contempla a normal climatológica 1990-2019. Em Santa Maria, os maiores valores mensais médios de velocidade dos ventos ocorrem nos meses de outubro e novembro, com 2,31 m/s e 2,25 m/s, respectivamente. A menor velocidade média dos ventos é verificada no mês de maio, quando os valores médios são de 1,56 m/s. Os valores médios máximos de velocidade do vento são verificados nos meses referentes ao inverno (junho, julho e agosto), quando os valores médios ultrapassam 8 m/s. Os menores valores são verificados nos meses de fevereiro e março, quando a velocidade máxima média é de 5,34 m/s.

Cruz Alta apresenta uma uniformidade nos valores médios mensais de velocidade dos ventos, sendo que, os maiores valores são verificados nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, quando os valores médios de velocidade dos ventos são iguais ou maiores que 2 m/s. Assim como em Santa Maria, a menor velocidade média dos ventos foi verificada no mês de maio, consolidando o referido mês como um dos que apresentam menores velocidades médias de vento. Os maiores valores são verificados nos meses de setembro e outubro, quando a velocidade máxima média da série histórica 1990-2019 é de 5 m/s. Os menores valores médios máximos são vistos no mês de maio, 3,75 m/s.

Para a estação meteorológica de São Luiz Gonzaga, as velocidades médias mensais dos ventos, foram superiores a 2,4 m/s, sendo que nos meses de agosto, setembro e outubro a velocidade média chegou a 3 m/s. Tais meses apresentam também as maiores velocidades médias máximas de vento, chegando a 6,9 m/s no mês de setembro. Maio é o mês de menor velocidade média máxima, 5,6 m/s.

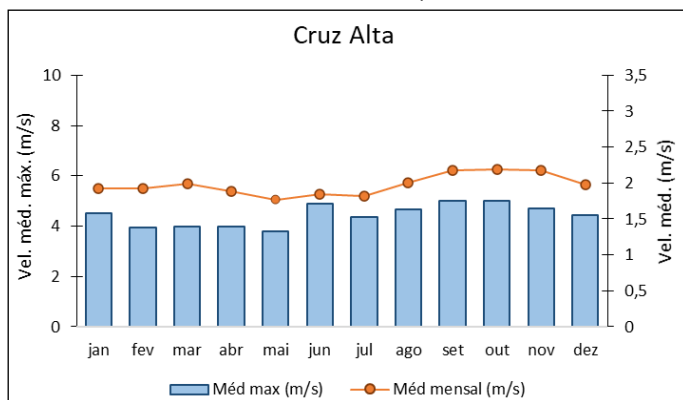
Gráfico 25. Velocidade mensal dos ventos em Santa Maria/RS, na série histórica 1990-2019.



Fonte: INMET (2020).

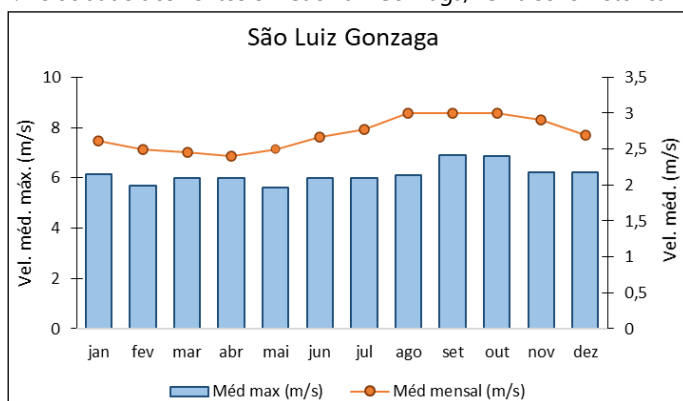


Gráfico 26. Velocidade dos ventos em Cruz Alta/RS na série histórica 1990-2019.



Fonte: INMET (2020).

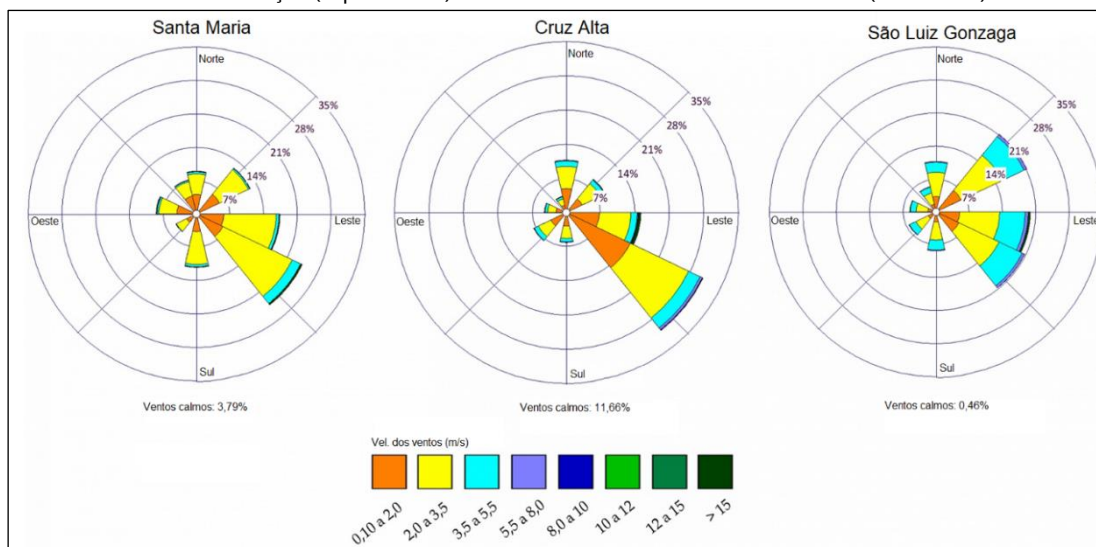
Gráfico 27. Velocidade dos ventos em São Luiz Gonzaga/RS na série histórica 1990-2019.



Fonte: INMET (2020).

Conforme o Gráfico 28, a velocidade dos ventos é maior em São Luiz Gonzaga, com predominância de ventos de direção nordeste e sudeste. Em 60% das medições os ventos apresentaram velocidades variando entre 2 a 5,5 m/s. Já em Cruz Alta e Santa Maria, os ventos possuem velocidades semelhantes, soprando principalmente de sudeste. Em Cruz Alta, as maiores velocidades dos ventos são verificadas nas direções sul e sudeste, variando entre 2 a 3,5 m/s. Em Santa Maria, 47% dos ventos sopram de sudeste, com velocidades variando, principalmente, entre 0,10 a 3,5 m/s. Em ambos os municípios foram verificadas rajadas maiores que 15 m/s no quadrante sudeste.

Gráfico 28. Direção (soprando de) e velocidade dos ventos na série histórica (1990-2019).



Fonte: INMET (2020).



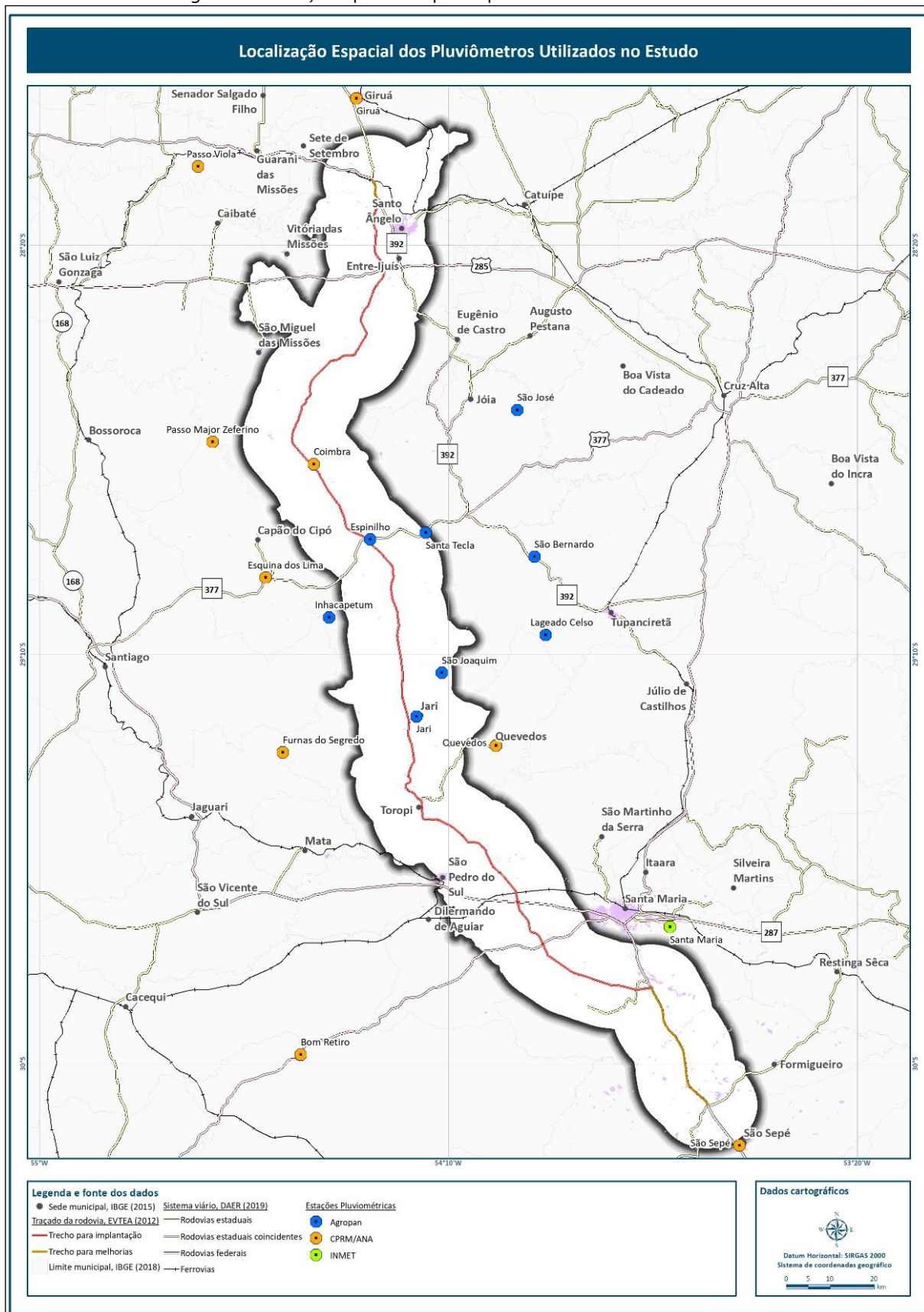
### Precipitação pluviométrica

A maior densidade de postos pluviométricos ocorre na porção central da AE do Meio Físico (estações Agropan). Já na porção sul, foram encontrados pluviômetros apenas em Santa Maria (INMET) e em São Sepé (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA)). Não há dados de precipitação pluviométrica oficiais para os municípios de Dilermando de Aguiar, Formigueiro, São Pedro do Sul e Toropi, daí a necessidade de buscar dados nos pluviômetros de Furnas do Segredo em Jaguari e Bom Retiro em São Gabriel.

Este mesmo fato foi verificado na porção norte da AE do Meio Físico sendo obtidos dados pluviométricos em áreas ao entorno da AE, uma vez que os municípios de Santo Ângelo, Entre-Ijuís, Vitória das Missões, São Miguel das Missões e Eugênio de Castro não possuem dados oficiais de precipitação pluviométrica. Assim, as estações com consistência de dados mais próximas da AE foram a de Giruá, localizada no município de mesmo nome e a de Passo Viola, em Guarani das Missões, ambas administradas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Dentro da AE, destacam-se as estações pluviométricas de Coimbra, Espinilho (ambas a menos de 1 km do traçado em estudo), Jari, São Joaquim e Santa Tecla, todas administradas pela Agropan. Na Figura 9 apresenta-se a localização das estações supracitadas.



Figura 9. Localização espacial dos postos pluviométricos utilizados no estudo.



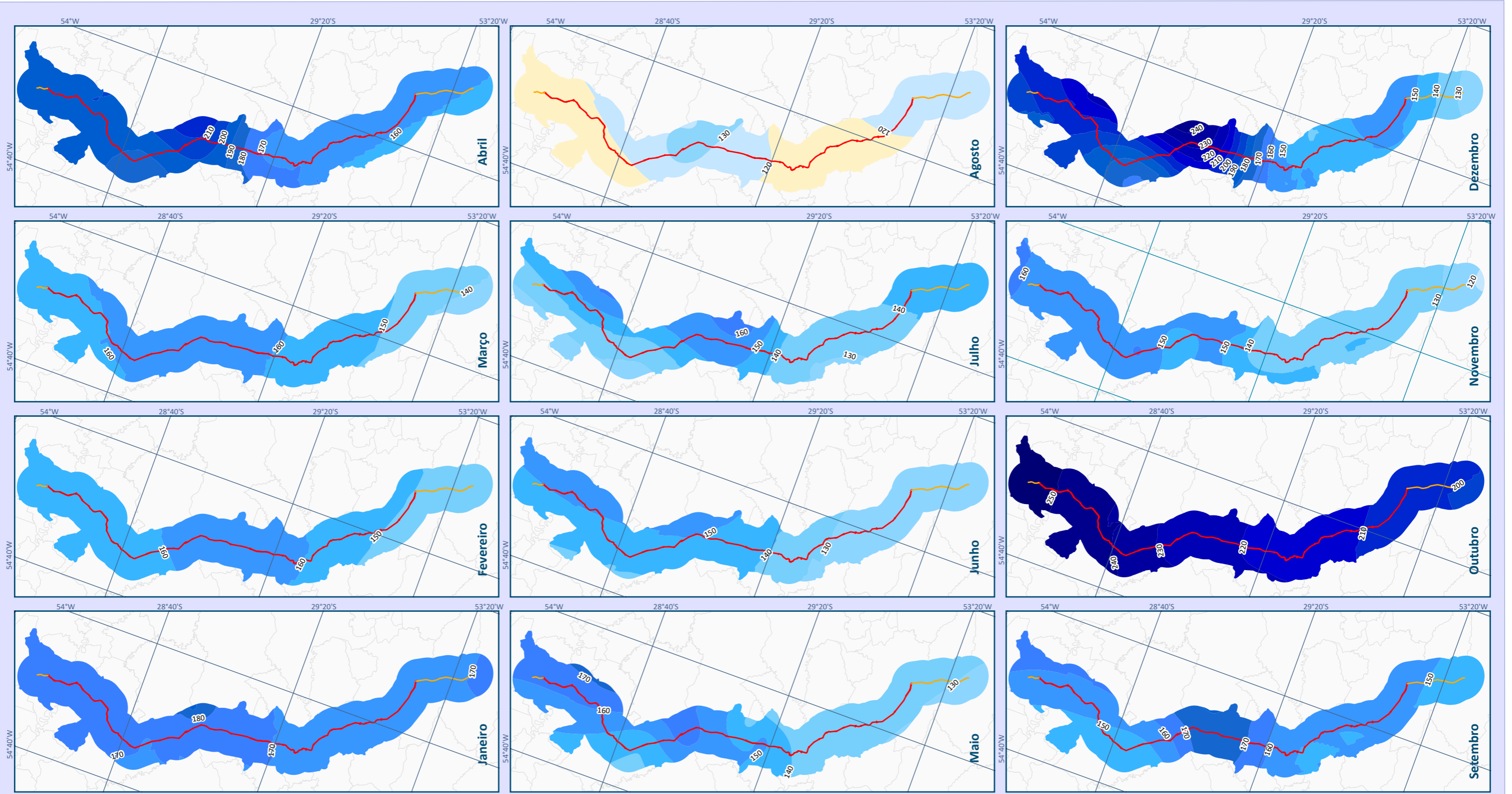


### Precipitação Mensal

A distribuição têmporo-espacial da precipitação média mensal, apresentado no Mapa 7 e no Apêndice 3, mostra uma amplitude média de 150 mm na AE do Meio Físico. A análise da precipitação média mensal aponta para uma regionalização, baseada em três diferentes setores:

- Setor sul, caracterizado pelos menores valores de precipitação mensal média em todos os meses do ano, exceto no mês de agosto, quando os menores valores de precipitação média são verificados na porção norte;
- Setor central, caracterizado pelos maiores valores médios de precipitação em todos os meses do ano, exceto no mês de outubro, quando as maiores precipitações são verificadas na porção norte da AE (Apêndice 3); e
- Setor norte, caracterizado por uma variabilidade têmporo-espacial da precipitação semelhante ao encontrando no setor central, em todos os meses do ano, exceto nos meses de agosto e outubro, meses em que esta porção da AE apresenta os menores e os maiores valores de precipitação pluviométrica, respectivamente.

Diversos fatores podem explicar esta tendência da porção central da AE apresentar os maiores valores de precipitação. Pode-se citar, por exemplo, a presença do rebordo do planalto, que atua como barlavento, fazendo com que a massa de ar que chega até Santa Maria suba e se encontre com o ar mais frio e nessa troca de calor ocorra a condensação. Também pode-se citar fatores como erro humano na coleta dos dados ou até mesmo a maior densidade de postos pluviométricos nesta área.



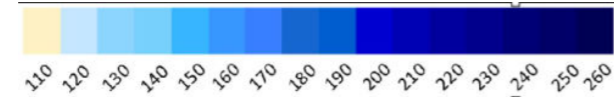
## Precipitação Mensal Média na Série Histórica (1990-2019) na Área de Estudo do Meio Físico

### Legenda e fonte dos dados

#### Traçado da rodovia, EVTEA (2012)

- Trecho para implantação
- Trecho para melhorias
- Limite municipal, IBGE (2018)

#### Precipitação pluviométrica (mm)



### Dados cartográficos



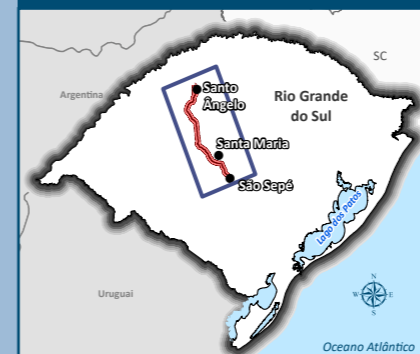
Escala: 1:2.000.000

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000  
Sistema de coordenadas geográficas



PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

### Localização



**DNIT**

**Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e  
Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)  
BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS**





### Precipitação Sazonal

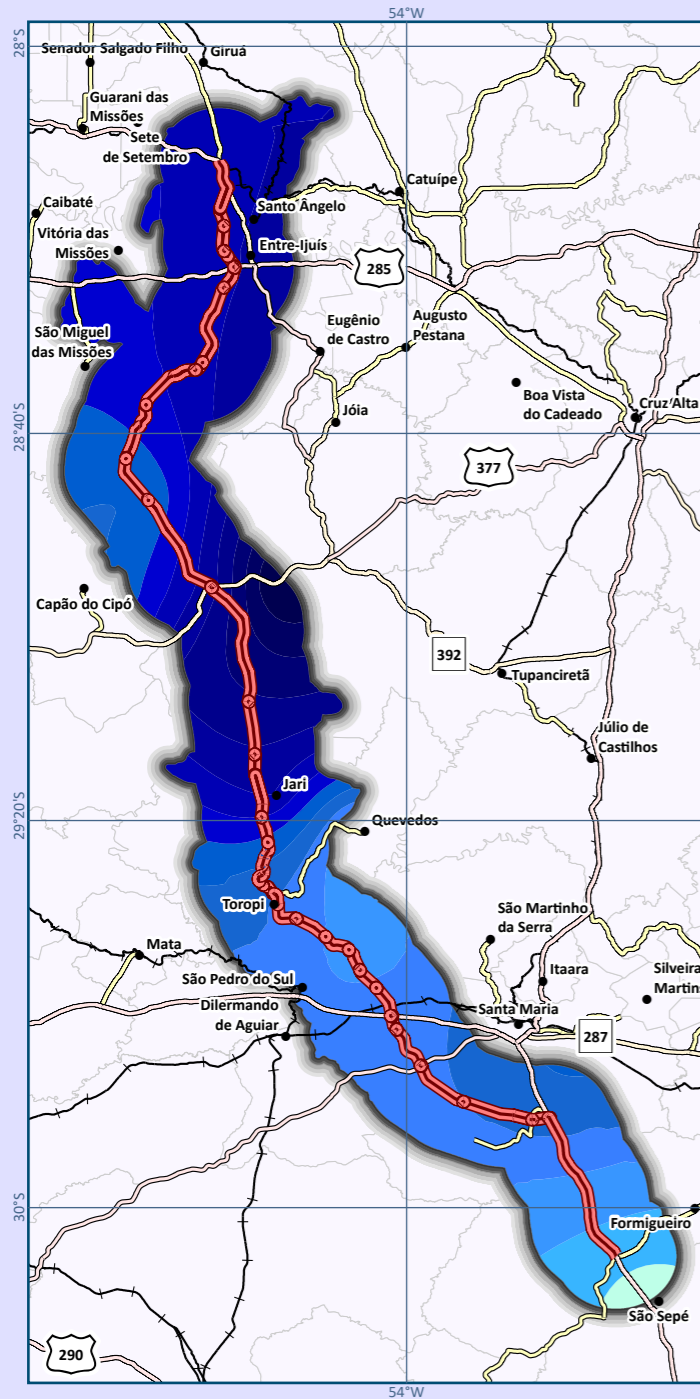
A modelagem da precipitação pluviométrica permite inferir que os meses de verão e primavera são os que ocorrem as maiores precipitações médias, enquanto, nos meses de outono e inverno, as precipitações registram os menores valores (Apêndice 4). A variabilidade sazonal mostra que a porção sul da AE é a que apresenta a menor precipitação durante todas as estações do ano.

No verão a porção central da AE apresenta os maiores valores de precipitação, ultrapassando 630 mm totais, enquanto, a porção sul, próxima a São Sepé apresenta aproximadamente 390 mm.

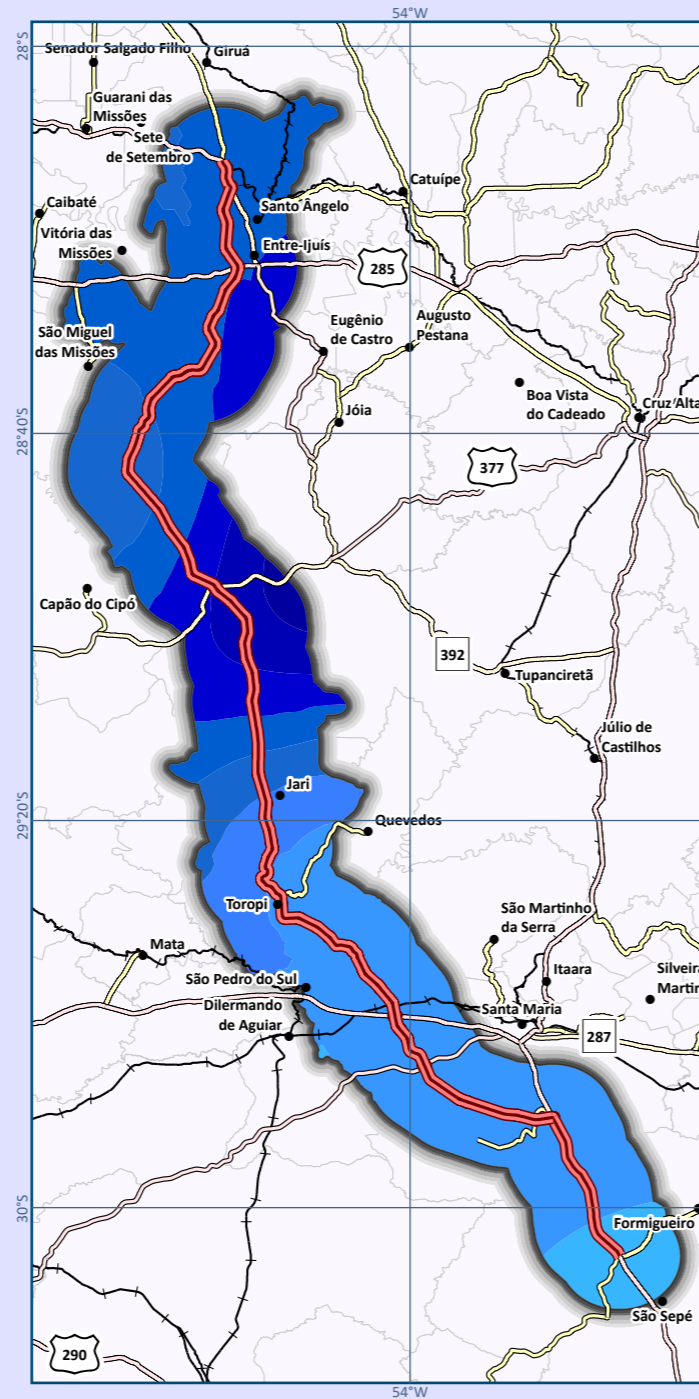
Os padrões de distribuição da precipitação pluviométrica no outono são semelhantes ao verão, porém com valores médios máximos de precipitação menores, se comparado à estação anterior, aproximadamente 550 mm. Novamente a área central possui os maiores valores de precipitação, enquanto o extremo sul da AE, próximo a São Sepé, tem os menores valores pluviométricos.

O inverno é a estação menos chuvosa, com no máximo 450 mm totais médios. Destaca-se no inverno a área oeste à Santa Maria que apresenta valores médios entre 350 a 370 mm. Já a primavera, impulsionada pelas precipitações de outubro apresenta os maiores valores totais de precipitação para a AE do Meio Físico, variando entre 490 mm médios na parte sul até aproximadamente 630 mm médios na parte norte. A seguir, no Mapa 8 está apresentada a precipitação pluviométrica sazonal média da série histórica.

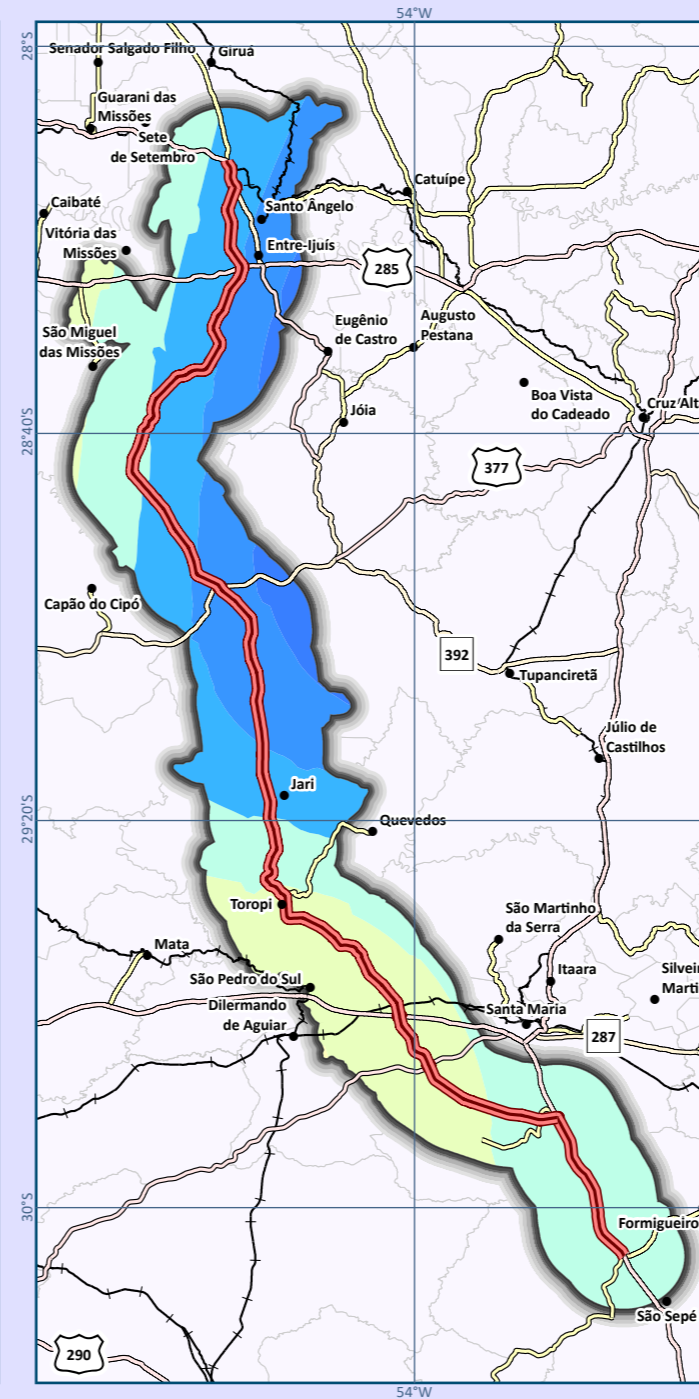
## Verão



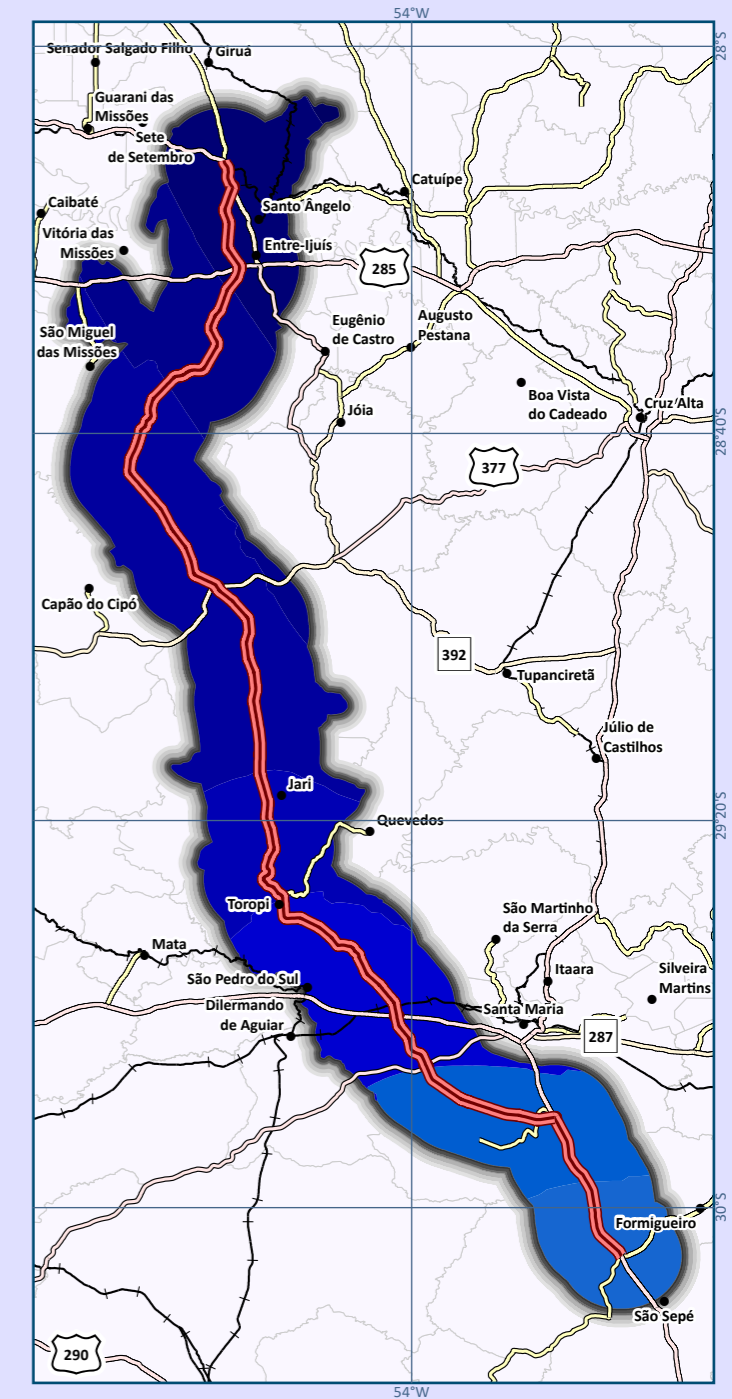
## Outono



## Inverno



## Primavera

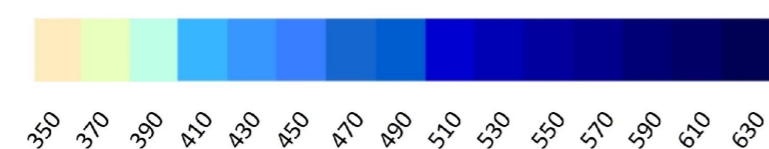


### Precipitação Pluviométrica Sazonal Média na Série Histórica

#### Legenda e fonte dos dados

- Sede municipal, IBGE (2015)
- Ferrovias
- Traçado da rodovia, EVTEA (2012)
- Sistema viário, DAER (2019)
- Rodovias estaduais
- Rodovias estaduais coincidentes
- Rodovias federais
- AE Meio físico, STE (2020)
- Limite municipal, IBGE (2018)

#### Precipitação sazonal média (mm)



#### Dados cartográficos



Escala: 1:1.450.000  
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000  
Sistema de coordenadas geográficas



PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

#### Localização



**Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS**



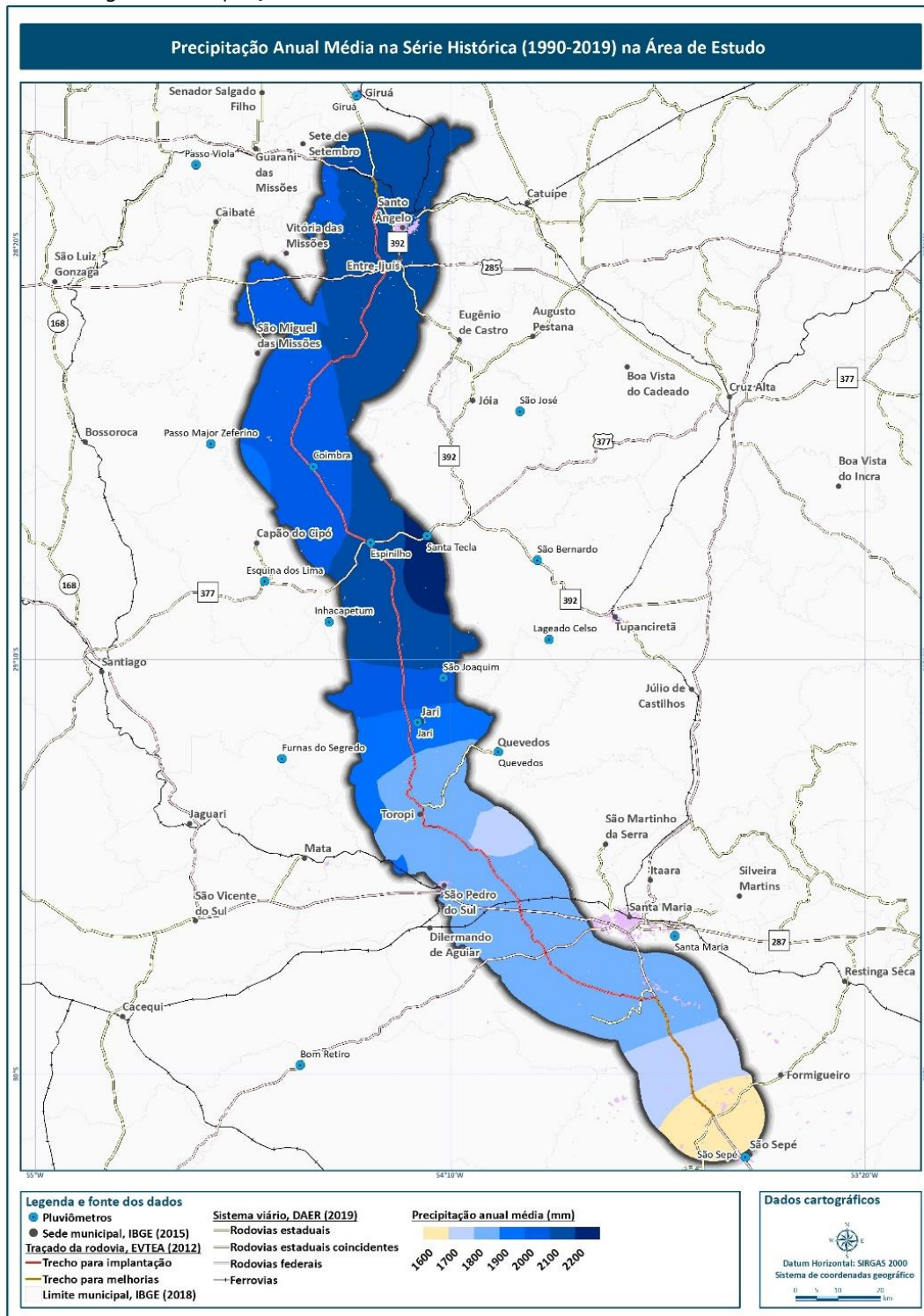




**Precipitação Anual**

A precipitação anual (Figura 10 e Apêndice 5) veio a refletir a variabilidade mensal e sazonal, com a precipitação deslocando-se, principalmente, no sentido sul ao norte, com uma área de altos valores pluviométricos na porção central, próximo a Santa Tecla. A parte sul, em São Sepé, obteve os menores valores pluviométricos médios anuais (1.600 mm/ano). A área próxima a Tupanciretã apresenta as maiores precipitações, mostrando que para a AE do Meio Físico, há um decréscimo pluviométrico no sentido do centro para as zonas periféricas, principalmente ao sul. Assim, enquanto em Santa Maria a precipitação anual média varia entre 1.700 a 1.800 mm/ano, em Santo Ângelo a precipitação varia entre 2.000 a 2.100 mm/ ano.

Figura 10. Precipitação anual média na série histórica (1990-2019) na AE do Meio Físico.



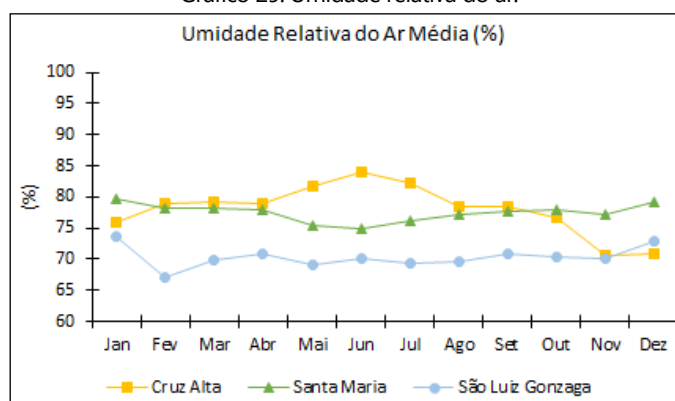


### Umidade Relativa Média do Ar

Conforme Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2013), a umidade relativa do ar (URA) é a relação entre a umidade existente no ar e a temperatura do ambiente. Conforme os dados apresentados no Gráfico 29, Cruz Alta apresenta as maiores URAs médias entre os meses de fevereiro a setembro, com destaque para o mês de junho, em que a URA média é de 85%. Já as menores URAs em Cruz Alta são verificadas no mês de novembro, quando chega a 70%.

Em Santa Maria tem-se uma distribuição quase linear da URA, variando entre 75% a 80%, sendo que, as menores URAs são verificadas nos meses de inverno, enquanto, nos meses de verão tem as maiores URAs. Em São Luiz Gonzaga tem-se também uma distribuição linear, principalmente, entre março a dezembro. O mês de janeiro é marcado pelas maiores URAs médias, aproximadamente 74%, já em fevereiro há uma forte queda, chegando a 67% de URA média.

Gráfico 29. Umidade relativa do ar.

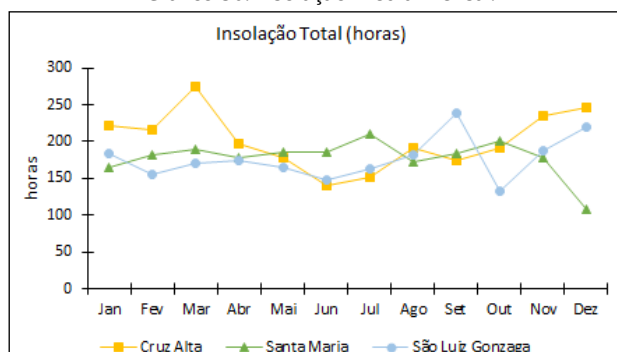


Fonte: INMET (2020).

### Insolação

Conforme apresentado no Gráfico 30, há uma considerável diferença na média da insolação entre os municípios analisados. Em Cruz Alta a maior insolação ocorre em março, quando são verificadas quase 300 horas mensais de insolação total. Já Santa Maria apresenta as maiores insolações em julho, quando são registrados 200 horas de insolação total, e em São Luiz Gonzaga a insolação máxima ocorre em setembro, quando atinge a média de 240 horas de insolação total. Em Cruz Alta e Santa Maria as menores insolações são verificadas no inverno. Neste período tem-se no RS as menores radiações devido à declinação solar (Sol em zênite na zona tropical do Hemisfério Norte) e menor insolação (SARTORI, 2000).

Gráfico 30. Insolação média mensal.



Fonte: INMET (2020).

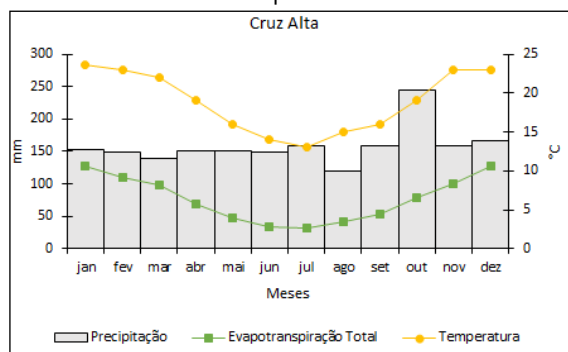
### Evapotranspiração

A evapotranspiração apresenta um processo oposto à precipitação, uma vez que, representa a água que retorna forçosamente para a atmosfera, em estado gasoso, e depende da energia solar disponível na superfície



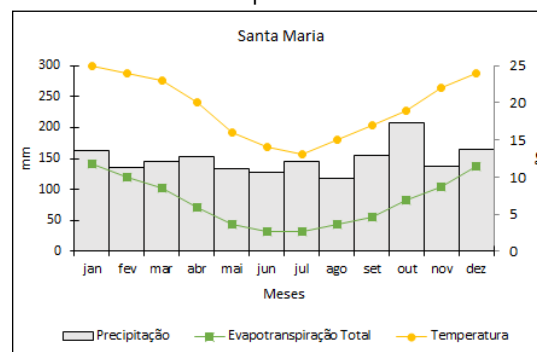
do terreno para vaporizá-la (CAMARGO e CAMARGO, 2000). Devido a isto, para as três estações, os meses de verão apresentaram os maiores valores de evapotranspiração, já nos meses de inverno tem-se os menores valores. A seguir são apresentados os gráficos termopluiométricos (Gráfico 31, Gráfico 32 e Gráfico 33).

Gráfico 31. Dados termopluiométricos de Cruz Alta.



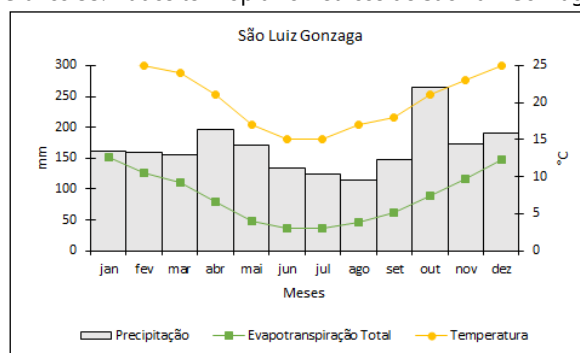
Fonte: INMET (2020).

Gráfico 32. Dados termopluiométricos de Santa Maria.



Fonte: INMET (2020).

Gráfico 33. Dados termopluiométricos de São Luiz Gonzaga.



Fonte: INMET (2020).

Os resultados da validação dos dados usado para a modelagem climatológica encontram-se no Apêndice 6.

## 5.1.2 Geologia e Geomorfologia

### 5.1.2.1 Geologia

#### 5.1.2.1.1 Metodologia

Para o levantamento geológico da AE do Meio Físico e ADA, inerentes ao traçado preliminar para implantação da rodovia, foram inicialmente consultados os mapeamentos geológicos do RS, em escalas 1:250.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1986; 2003), 1:750.000 (WILDNER *et al.*, 2007) e 1:1.000.000 (SILVA *et al.*, 2004). Foi ainda realizada pesquisa bibliográfica em busca de informações secundárias, para conhecer a evolução geológica da região; uma vistoria a campo ao longo da AE do Meio Físico, com ênfase na ADA, e interpretação de imagens de satélite para identificação da geologia estrutural.

A vistoria realizada a campo durante o mês de janeiro de 2014 permitiu a caracterização por meio de dados primários da área a receber os impactos diretos de implantação da diretriz rodoviária, já com o auxílio de imagens de satélite foram mapeadas as principais feições estruturais. Para a contextualização geológica foram descritos afloramentos ao longo de toda a ADA e pontos da AE do Meio Físico, buscando a caracterização do litotipo que ali ocorria, assim como suas implicações para o empreendimento. Análises macroscópicas e com auxílio de lupa de mão foram realizadas em campo e, em alguns pontos, foram coletadas amostras para análise mais detalhada em escritório.

Todos os dados litológicos e estruturais obtidos foram confrontados com aqueles existentes na bibliografia consultada visando definir a relação espaço-temporal das rochas, enquadrando-as em unidades estratigráficas previamente



relacionadas. A base vetorial (cartográfica) geológica utilizada foi de Wildner *et al.* (2007) disponibilizada em Viero e Silva (2010), por se tratar da base mais atualizada disponível com as divisões litoestratigráficas atuais.

#### 5.1.2.1.2 Caracterização Geotectônica

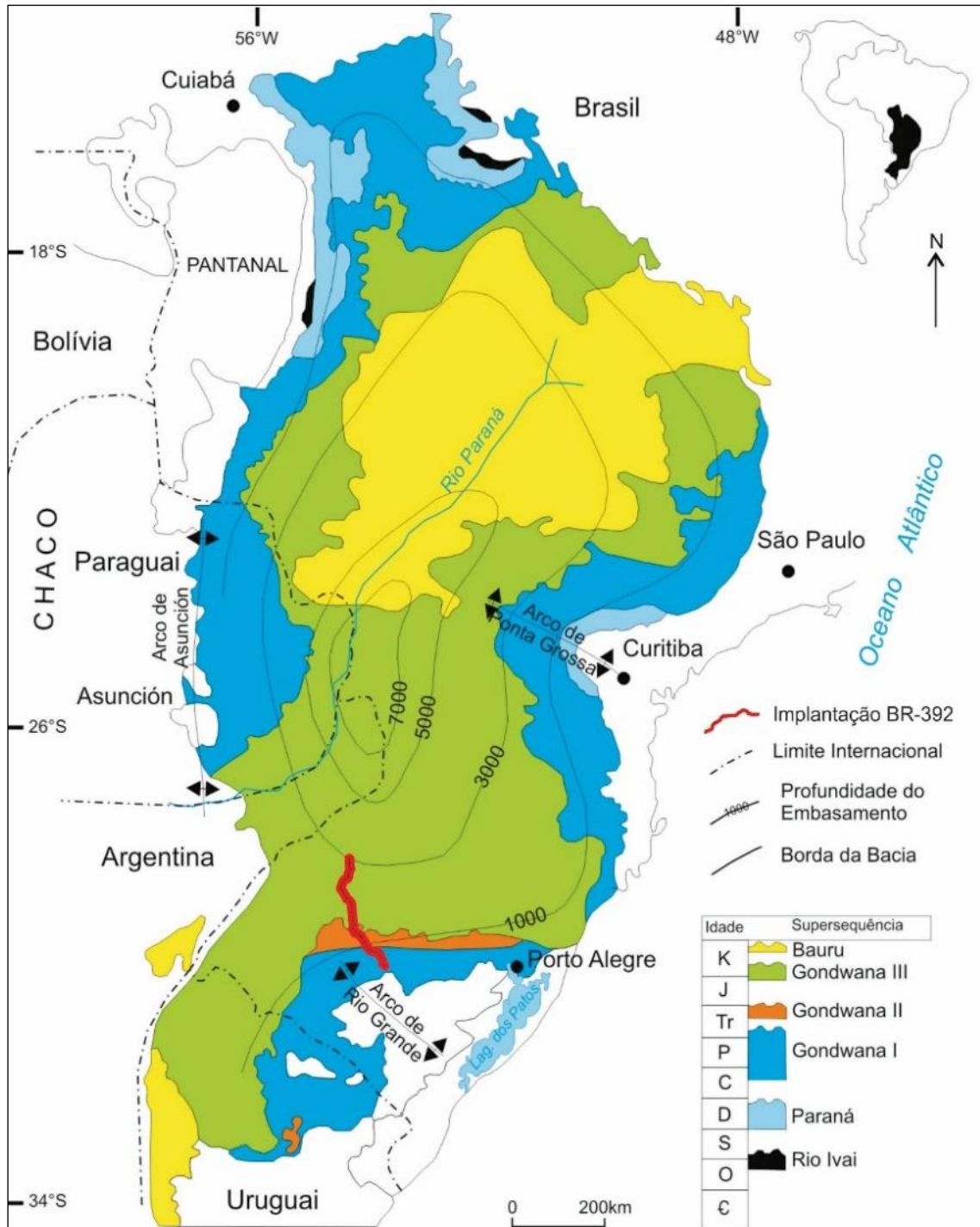
A área do empreendimento encontra-se no contexto da Bacia do Paraná (BP), uma extensa bacia sedimentar intracratônica, composta por pacotes sedimentares e magmáticos, que recobre cerca de 1.500.000 km<sup>2</sup> nos territórios do Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina. A espessura do pacote sedimentar-magmático pode atingir, em alguns locais, espessura total máxima em torno dos sete mil metros (MILANI, 2007). As idades dos depósitos que a compõe vão desde o Neo-Ordoviciano até o Neocretáceo (MILANI *et al.*, 2000). Conta ainda com depósitos recentes do Quaternário nos vales fluviais e planícies de inundação que recobrem as rochas da bacia. De forma geral, os contatos são determinados pela topografia, sendo que as litologias sedimentares ocorrem em porções de cota inferiores àquelas onde ocorrem registros do vulcanismo, ficando evidente o empilhamento litoestratigráfico.

Conforme Milani (1997), seis supersequências constituem o arcabouço estratigráfico da BP: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru, destas, três sequências estão inseridas no RS, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 11.

- Supersequência Gondwana I - engloba o maior volume sedimentar da BP, na base desta unidade se inserem os depósitos glaciais, sucedidos por depósitos marinhos, com o encerramento de depósitos continentais.
- Supersequência Gondwana II - possuiu um grande vínculo ao pacote pelítico fossilífero de vertebrados da BP, as formações geológicas intercalam arenitos e pelitos, oriundos de depósitos fluviais, lacustres e de planície de inundação.
- Supersequência Gondwana III - é amplamente distribuída pela BP, representada pelo Grupo São Bento que compreende a Formação Botucatu composta de Arenitos eólicos sucedidos derrames de rochas básicas e ácidas da Formação Serra Geral.



Figura 11. Mapa geológico simplificado da BP, com o contorno estrutural (profundidade) do embasamento cristalino.



Fonte: modificado de MILANI (1997) apud Viero e Silva (2010).

### 5.1.2.1.3 Caracterização Litoestratigráficas

Estratigraficamente, na AE do Meio Físico ocorrem as unidades litológicas apresentadas no Quadro 36, compreendendo um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno dos sete mil metros (MILANI, 2007).



Quadro 36. Unidades presentes na AE do Meio Físico.

Éon	Era	Período	Provincia	Unidades litológicas	Sigla, Unidades litológicas	Litologia	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de abrangência (%) na AE
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	-	-	Q4a, Depósitos aluviais	Areia, cascalho, silte, argila, localmente turfa	516,35	8,87
	Mesozoico	Cretáceo	Bacia do Paraná	São Bento	K1_α_cx, Serra Geral, Fácies Caxias	Riodacito	279,9	4,81
					K1_β_pr, Serra Geral, Fácies Parapanema	Basalto, Andesito	256,15	4,4
					K1_β_gr, Serra Geral, Fácies Gramado	Basalto	3286,6	56,43
					J3K1bt, Botucatu	Arenito	209,5	3,6
		Jurássico		Rosário do Sul	T3c, Caturrita	Arenito, conglomerado, siltito arenoso/argiloso e folhelho	87,78	1,51
					T23sm, Santa Maria	Arenito e arenito conglomerático e pelito; e siltito argiloso maciço,	375,5	6,45
					T1sc, Sanga do Cabral	Subarcóseo e arcóseo, brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito	588,63	10,11
		Triássico		Passa Dois	P3T1p, Pirambóia	Arenito médio a fino	25,99	0,45
					P3T1rr, Rio do Rastro	Pelito, arenito, siltito, arenito fino	45,7	0,79
					P23en, Subgrupo Estrada Nova	Folhelho, arenito siltito/argilito	88,45	1,52
	Paleozóico	Permiano	Grupo Guatá	P1p, Palermo	Siltito, siltito arenoso, arenito fino a muito fino e folhelho, lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos	17,27	0,3	
				P1rb, Rio Bonito	Siltito, siltito carbonoso folhelho carbonoso e quartzoarenito, diamictito com matriz carbonosa e marga,	30,23	0,52	
Proterozóico	Neoproterozóico	Edicariano	Mantiqueira	Suite Intrusiva Saibro	NP3yss, Granito São Sepé	Sienogranito, com cavidades miarolíticas	7,43	0,12
Total							5815,6	100%

Fonte: Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000 (WILDNER et al., 2007).

### Provincia da Bacia do Paraná

Grande parte da AE do Meio Físico é composta por litologias pertencentes a BP, sendo as Unidades São Bento e Rosário do Sul as mais representativas. Por isso, uma descrição detalhada pode ser visualizada a seguir e no item que aborda a caracterização geotectônica da área.

#### Grupo Rosário do Sul

Engloba depósitos sedimentares continentais que ocorreram no Triássico Inferior ao Superior, que sucedem os depósitos do Grupo Passa Dois, são depósitos formados em ambientes fluviais, lacustres, leque deltaicos e desérticos, é considerado como fóssilífero (SILVA et al., 2004).

Este grupo é representado pelas litologias das formações Sanga do Cabral, Caturrita e Santa Maria, contemplando 1.051,91 km<sup>2</sup>, representando 18,07% e ocorre nos municípios de São Pedro do Sul, Santa Maria, Formigueiro, São Sepé e Dilermando de Aguiar.



- Formação Sanga do Cabral

Compondo a porção basal do Grupo Rosário do Sul, os depósitos da Formação Sanga do Cabral estão sobrepostos aos sedimentos eólicos da Formação Pirambóia. Os arenitos quartzosos a arcoseanos, finos a médios, com estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas, estão associados a brechas e conglomerados intraformacionais, além de sedimentos pelíticos (NOWATZKI, 1997). Os ambientes deposicionais relacionados à essa sucessão sedimentar foram interpretados como eólicos, fluviais e lacustres (LAVINA, 1991; FACCINI, 1989). Possui conteúdo fóssilífero.

- Formação Santa Maria

A Formação Santa Maria, inserida na porção média do Grupo Passa Dois e pertencente ao Período Triássico, pode ser subdividida em Membro Passo das Tropas e Membro Alemoa, depositados em ambientes flúvio-lacustres. O Membro Passo das Tropas é composto por arenitos e pelitos subordinados. O Membro Alemoa apresenta argilitos e siltitos maciços com fragmentos vegetais fósseis associados (WILDNER *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2004).

- Formação Caturrita

Conforme Wildner *et al.* (2007) esta formação é constituída por arenito, conglomerado, siltito arenoso/argiloso e folhelho, com cores claras a avermelhadas, contendo fragmentos fósseis de ambiente continental, depósitos fluviais, associados ao rompimento de diques marginais e deltas lacustres.

#### *Grupo São Bento*

O grupo São Bento é representado pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu (Jurássico) e pelos pacotes magmáticos da BP, compostos por rochas básicas e ácidas da Formação Serra Geral (cretáceo).

Este grupo ocupa, na AE do Meio Físico, cerca de 4.032,15 km<sup>2</sup>, representando 69,24% e ocorre nos municípios de Santa Maria, São Pedro do Sul, Toropi, Quevedos e Jari.

- Formação Botucatu

De Idade Jurássica, é formada em ambiente continental eólico de clima desértico, composta por arenitos finos a grossos de coloração avermelhada, normalmente bimodais, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ou cosets de estratificações cruzadas de grande porte (SILVA *et al.*, 2004). Esta Formação apresenta uma inconformidade regional na base, ao longo de toda a BP, e é sobreposta pelos depósitos basálticos da Formação Serra Geral (MELFI *et al.*, 1988; FACCINI, 1989; MILANI *et al.*, 1999).

- Formações Botucatu e Serra Geral

Uma série de feições preservadas sugere que os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral recobriram campos de dunas eólicas ativos da Formação Botucatu, indicando que não existe um hiato temporal entre as duas unidades estratigráficas (SHERER *et al.*, 2003). Na AE essa característica é observada em forma de brechas Peperíticas no contato entre as formações.

- Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, constitui-se no topo da sequência estratigráfica do grupo São Bento na BP no RS. É composta por uma sucessão de derrames com uma espessura de até 1.700 m (MELFI *et al.* 1988 apud WAICHEL, 2006). O magmatismo apresenta características bimodais, estando constituídas por uma série de derrames de basaltos e basalto andesíticos de filiação toleíticas, intercaladas com alguns derrames riolíticos e riodácíticos, especialmente em direção ao topo da sequência, além de intrusões de diques e sills de diabásio (WILDNER *et al.*, 2003). Datações pelo método <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar em amostras da Formação Serra Geral indicam idades entre 138 a 125 Ma, com o clímax do vulcanismo entre 133 e 129 Ma (RENNE *et al.*, 1992 apud WAICHEL, 2006), estando temporalmente localizada dentro do Cretáceo Inferior. Já, Wildner *et al.* (2003) estabeleceu a estratigrafia da



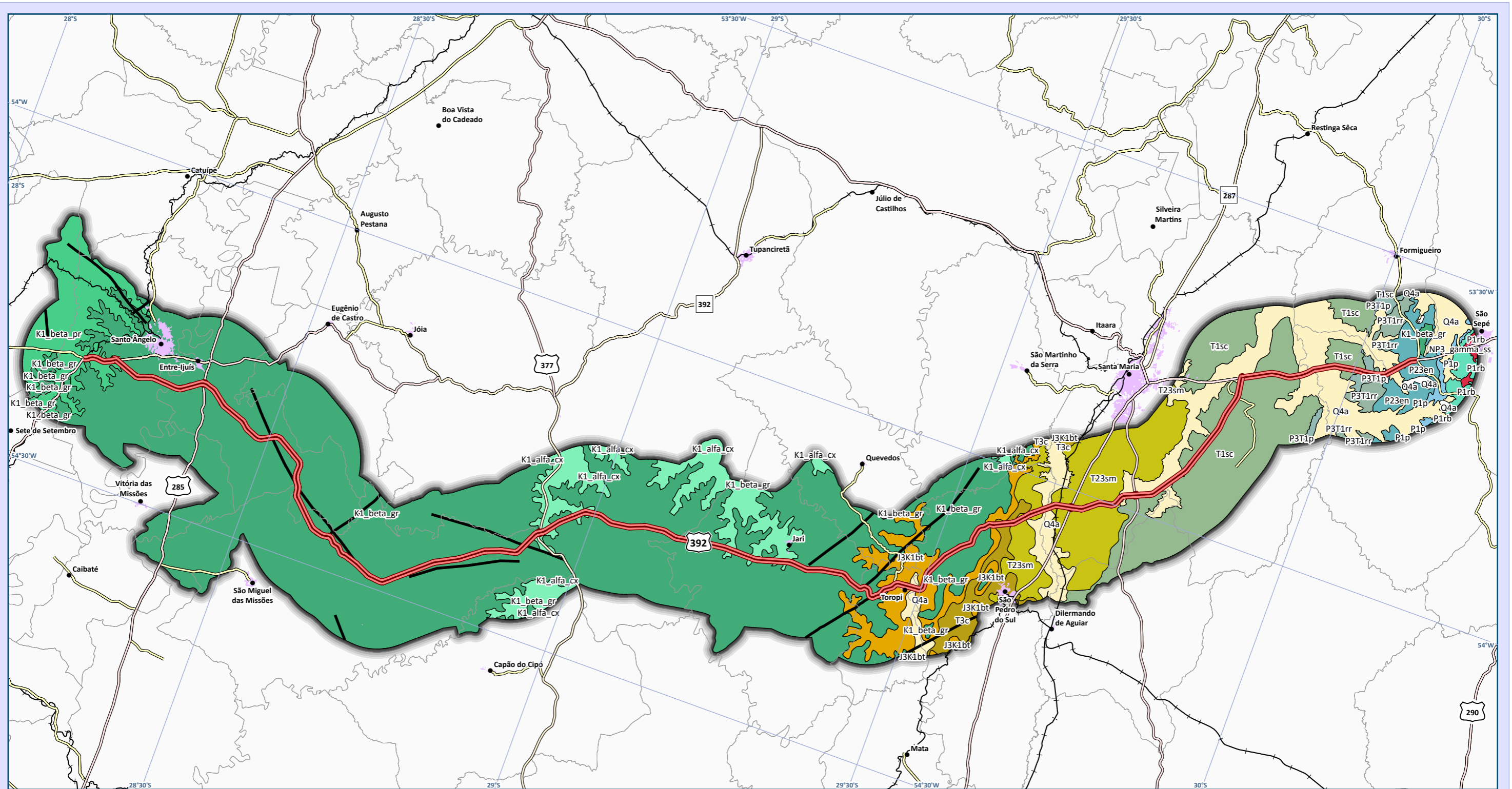
Formação Serra Geral subdividindo-a em fácies. Na AE do Meio Físico ocorrem as fácies Gramado, Caxias e Paranapanema.

- Fácies Gramado é composta por uma sequência de derrames básicos maciços e frequentemente com estruturas de fluxo. A porção superior apresenta zona vesicular bem desenvolvida preenchidos por zeolitas, carbonatos e sapotina, enquanto a base é incipiente. A porção central é marcada pela disjunção colunar em um basalto microfanerítico (WILDNER *et al.*, 2003).
- Fácies Paranapanema são derrames basálticos, granulares finos a médios, cinza, cinza esverdeado a cinza-avermelhados quando alterado. Contendo horizontes vesiculares espessos onde formam-se geodos arredondados a ovalados, as cavidades possuem uma paragênese preenchida por quartzo (ametista) zeolitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita (WILDNER *et al.*, 2003). A região desta fácies compreende as maiores concentrações de jazidas de ametista do Brasil e uma das maiores do mundo (JUCHEM, 1999).
- Fácies Caxias são derrames de composição intermediária a ácida, riocititos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum, forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região (WILDNER *et al.*, 2007).

Uma série de feições preservadas sugere que os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral recobriram campos de dunas eólicas ativos da Formação Botucatu, indicando que não existe um hiato temporal entre as duas unidades estratigráficas (SHERER *et al.*, 2003). Na AE essa característica é observada em forma de brechas Peperíticas no contato entre as formações.

No Mapa 9 estão apresentadas as Unidades litológicas presentes na AE do Meio Físico.



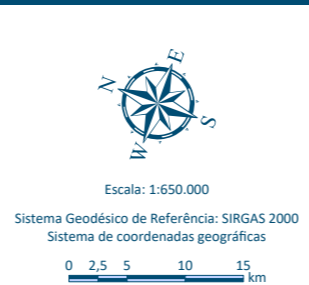


## Mapa de Geologia

### Legenda e fonte dos dados

- Sede municipal, IBGE (2015)
- Ferrovias
- Traçado da rodovia, EVTEA (2012)
- Sistema viário, DAER (2019)
  - Rodovias estaduais
  - Rodovias estaduais coincidentes
  - Rodovias federais
- AE Meio físico, STE (2020)
- Limite municipal, IBGE (2018)
- Mancha urbana municípios interceptados, STE (2020)
- Geologia estrutural, CPRM (2010)
- Unidades litológicas, CPRM (2010)
  - K1\_alfa\_cx - Formação Serra Geral, Fácies Caxias
  - K1\_beta\_gr - Formação Serra Geral - Fácies Gramado
  - K1\_beta\_pr - Formação Serra Geral - Fácies Paranapanema
  - NP3\_gamma\_ss - Granito São Sepé
  - P1p - Formação Palermo
  - P1rb - Formação Rio Bonito
  - P23en - Subgrupo Estrada Nova
  - P3T1p - Formação Pirambóia
  - P3T1rr - Formação Rio do Rastro
  - Q4a - Depósitos Aluviais
  - T1sc - Formação Sanga do Cabral
  - T23sm - Formação Santa Maria
  - T3c - Formação Caturrita

### Dados cartográficos



PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

### Localização



**DNIT**

**Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS**

**ste**  
SERVIÇOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA S.A.



5.1.2.1.4 Aspectos Gerais Observados em Campo

Tendo em vista que na escala de 1:750.000 da base utilizada (WILDNER *et al.*, 2007) nem sempre os detalhes são observados, apenas em atividades *in loco* é possível o registro de depósitos recentes nos vales fluviais do planalto e depressão central, brechas peperíticas no contato entre basalto e arenito, além de derrames de rochas ácidas da Formação Serra Geral (Fácies Caxias) onde está identificado como rochas básicas.

A maior parte dos afloramentos descritos corresponde a lajeados, leitos de rio, taludes de corte, leito de estrada e encostas de morro (Foto 3 a Foto 12).

Foto 3. Lajeado em estrada.  
Coord.: -28,323800° e -54,314500°.



Foto 4. Lajeado em campo de pastagem.  
Coord.: -29,345821° e -54,244446°.



Foto 5. Leito do rio Piratini.  
Coord.: -28,658386° e -54,463733°.



Foto 6. Leito do afluente do Ibicuí-Mirim.  
Coord.: -29,679448° e -54,024828°.



Foto 7. Talude corte de estrada (Santo Ângelo).  
Coord.: -28,309300° e -54,305200°.



Foto 8. Talude em corte de estrada em Toropi.  
Coord.: -29,460900° e -54,228500°.





Foto 9. Leito de estrada em Tupanciretã.  
Coord.: -28,951651° e -54,312737°.



Foto 10. Leito de estrada em Santa Maria.  
Coord.: -29,870000° e -53,810100°.



Foto 11. Encosta de morro Toropi.  
Coord.: -29,484625° e -54,226643°



Foto 12. Encosta de morro São Pedro do Sul.  
Coord.: -29,557830° e -54,156371°.



A AE do Meio Físico e ADA encontram-se em sua maior parte sobre rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral (65,7%) Fácies Gramado, Caxias e Paranapanema. Em geral são rochas de composição básica a ácida. São Afaníticas, melanocráticas, de coloração cinza, cinza escura acinzentada a castanha com tons avermelhados/amarelados, podendo ou não apresentar estruturas, dependendo da porção do derrame em que se encontram (básicas). Ocorrem variações de rochas porfíricas com matriz afanítica e fenocristais de plagioclásio (ácidas).

O restante da AE do Meio Físico e ADA (34,3%) são compreendidas por formações da BP e depósitos aluvionares. Em geral são rochas de granulometria muito fina a grossa até grânulos, de coloração vermelha a laranja, amarelo, roxa a rosada e esbranquiçada. As formações que fazem parte são os Depósitos Aluvionares Formação Botucatu, Formação Caturrita, Formação Santa Maria, Formação Sanga do Cabral, Formação Pirambóia, Formação Rio do Rasto, Formação Estrada Nova e Palermo.

Em verificação a campo constatou-se que as formações presentes na AE, corroboram com a base apresentada por Wildner *et al.* (2007), no entanto, algumas formações na porção sul, as quatro últimas citadas acima, estão cobertas por vegetação, áreas de agricultura, além do alto grau de intemperismo dos afloramentos rochosos, descaracterizando a visualização da rocha exposta. O alto grau de intemperismo pode indicar alta taxa de escoamento de água no local.

A Formação Sanga do Cabral na AE é a porção sedimentar mais abundante, abrangendo 10,09%. É predominantemente composta por arenito fino maciço e com laminação horizontal e camadas lenticulares com até 0,5 m de espessura e grande continuidade lateral, de coloração laranja rosada. Subordinadamente ocorrem camadas de Siltito com espessuras dessimétricas (Foto 13 a Foto 16).



Foto 13. Talude em corte de estrada com rocha intemperizada.  
Coord.: -29,872400° e -53,792400°.



Foto 14. Talude em corte de estrada na BR-158.  
Coord.: -29,758300° e -53,978500°.



Foto 15. Talude em corte de estrada com rocha intemperizada.  
Coord.: -29,872400° e -53,739600°.



Foto 16. Arenitos lenticulares.  
Coord.: -29,889500° e -53,732000°.



As Formações Caturrita e Santa Maria na AE do Meio Físico afloram em cortes de estrada, leito de estrada e estão bem preservadas, muito pouco alteradas.

Na Foto 17 verifica-se o afloramento e seu entorno. A rocha de coloração laranja rosada possui estratificação cruzada com intercalações de conglomerado, arenito médio a grosso e arenito muito fino (Foto 18). A campo foi verificado arenito de granulação fina até grânulos e lentes de siltito (Foto 19).

A Foto 20 mostra siltito de coloração roxa em leito de estrada. Camada tabular de arenito fino de coloração esbranquiçada e abaixo siltito vermelho, conforme Foto 21. O contato abrupto entre os arenitos das Formações Caturrita e Santa Maria pode ser observado em um afloramento tipo corte de estrada em ambos os lados de um talude de 3 m (Foto 22), estando condizente com o mapeamento de Wildner *et al.* (2007). A Foto 23 mostra o detalhe do arenito com estratificação cruzada da Formação Caturrita e a Foto 24 do arenito da Formação Santa Maria no contato.

Foto 17. Talude em corte de estrada.  
Coord.: -29,785600° e -53,888300°.



Foto 18. Aparência macro.  
Coord.: -29,785600° e -53,888300°.





Foto 19. Lente de siltito em rocha de granulometria fina a grossa até os grânulos. Coord.: -29,770300° e -53,897200°.



Foto 20. Aparência de siltito em leito de estrada. Coord.: -29,591400° e -54,083900°.



Foto 21. Camada de arenito e siltito em talude. Coord.: -29,596100° e -54,065700°.



Foto 22. Contato abrupto das Formações Santa Maria e Caturrita. Coord.: -29,604100° e -54,059700°.

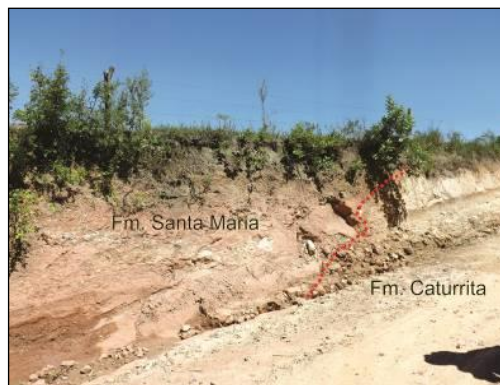


Foto 23. Detalhe Formação Caturrita, Arenito de estratos cruzados. Coord.: -29,604100° e -54,059700°.



Foto 24. Detalhe Formação Santa Maria Arenito maciço. Coord.: -29,604100° e -54,059700°.



A Formação Botucatu na AE do Meio Físico faz contato com a Formação Serra Geral, e na base pela Formação Caturrita e Santa Maria, verificados na forma de taludes em corte de estrada, barranco e leito de estrada. Na Foto 25 pode-se observar o arenito quartzoso de coloração laranja rosado com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, bem selecionado, o afloramento tipo corte de estrada (Foto 26) de aproximadamente 400 m de extensão, é perpendicular ao traçado preliminar, o mesmo pode ser observado em imagem de alta resolução (*Google Earth Pro*, 2021), onde o afloramento descrito encontra-se em zona de transição entre a Depressão Central e o Planalto Meridional, destaca-se a seta indicando uma paleoduna eólica, circundada por uma planície (Figura 12). A Foto 27 evidencia a alteração da rocha em um grau moderado, de coloração amarelada.



Foto 25. Aparência macro do Arenito Botucatu.  
Coord.: -29,502311°; -54,189834°.

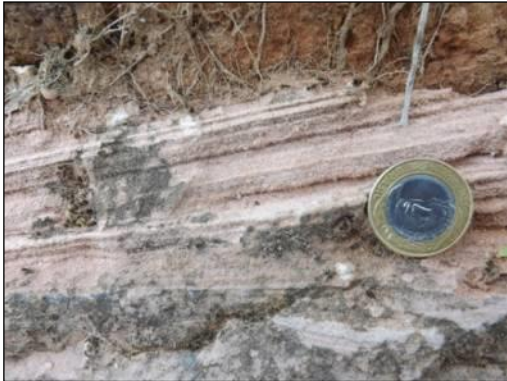


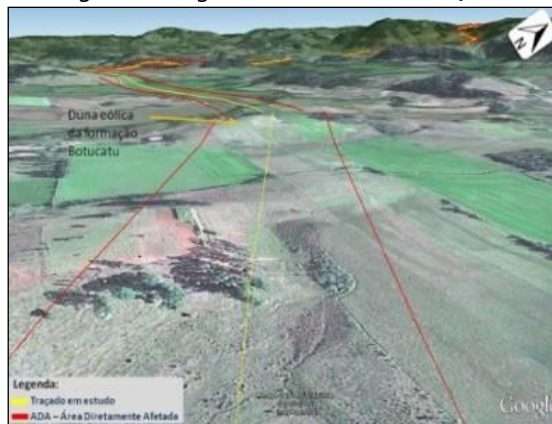
Foto 26. Talude em corte de estrada e cruzada de médio porte.  
Coord.: -29,502311°; -54,189834°.



Foto 27. Detalhe da rocha intemperizada. Coord.: -29,460900°; -54,228500°.



Figura 12 Imagem de duna eólica no traçado.



Fonte: Google Earth (2010).

### Contato entre basalto e arenito

Nas fácies verificadas a campo ocorrem brechas peperíticas em níveis de interderrames e contato entre as formações. São compostas por clastos de rocha vulcânica vesicular amigdalóide em matriz arenítica (Foto 28 e Foto 29).



Foto 28. Contato entre arenito e basalto, em detalhe, brecha peperítica.  
Coord.: -29,557079° e -54,156353°.



Foto 29. Aparência da brecha peperítica em macro matriz arenítica e clastos de basalto amigdalóide.  
Coord.: -29,484625 e -54,226643°.



### Rochas básicas

Os litotipos de meio de derrame são os mais observados em campo. As rochas são maciças, afaníticas, de coloração cinza a castanha, melanocráticas e, mesocrática atestando seu caráter básico a intermediário (Foto 30 a Foto 32). A alteração destas rochas se dá a partir de suas superfícies e de fraturas, formando capas de intemperismo (Foto 33) até um grau elevado de alteração (Foto 34). A oxidação ao longo de fraturas gera colorações mais claras, amareladas a alaranjadas caracterizando o processo de lateritização (Foto 35), a esfoliação esferoidal também é bem-marcada nos derrames (Foto 36 e Foto 37).

A alteração por oxidação está diretamente associada com o processo pedogenético de formação e transformação do solo no local em que a rocha se encontra. Há enriquecimento da superfície por óxidos hidratados de ferro ou alumínio, formando argilominerais como resultado da alteração intensa. Este processo de lateritização do solo pode causar a dificuldade de penetração de raízes e consequente aumento de impermeabilidade.

Foto 30. Amostra de basalto cinza.  
Coord.: -28,309300° e -54,305200°.



Foto 31. Amostra basalto cinza e castanho.  
Coord.: -29,441122° e -54,235561°.





Foto 32. Amostra basalto cinza.  
Coord.: -28,622167° e -54,425359°.



Foto 33. Capa de alteração.  
Coord.: -28,309300° e -54,305200°.



Foto 34. Grau elevado de intemperismo.  
Coord.: -28,998900° e -54,280600°.



Foto 35. Laterita preenchendo fratura.  
Coord.: -29,557830° e -54,156371°.



Foto 36. Esfoliação esferoidal em leito de estrada.  
Coord.: -28,951651° e -54,312737°.



Foto 37. Esfoliação esferoidal em leito de estrada.  
Coord.: -28,998900° e -54,280600°.



Os litotipos de topo de derrame são marcados pela intensa presença de amígdalas, vesículas e vênulas em rocha afanítica. Estas possuem tamanhos desde milímetros a centímetros e podem encontrar-se preenchidas mais comumente por carbonato, zeólitas, quartzo e malaquita (Cu), conforme Foto 38 a Foto 40.





Foto 38. Amígdalas preenchidas.  
Coord.: -28,323800° e -54,314500°.



Foto 39. Amígdalas preenchidas.  
Coord.: -28,323800° e -54,314500°.



Foto 40. Amígdalas preenchidas. Coord.: -29,345821° e -54,244446°.



### Rochas ácidas

Consiste em derrames acamadados com cor cinza claro e cor de alteração branco ou castanho. As camadas são em geral tabulares, com 5 a 20 cm de espessura (Foto 41), a mesma possui paleossolo abaixo das camadas tabulares, a textura de fluxo característicos desse tipo de derrames, podem ser observados em muitos afloramentos, sendo estas com aspecto de dobras (Foto 42). Macroscopicamente sua matriz é afanítica e, subordinadamente porfiríticas com fenocristais (Foto 43). Entre as camadas do derrame as fraturas estão preenchidas por quartzo (Foto 44).

A alteração destas rochas se dá a partir de suas superfícies e de fraturas, formando capas de intemperismo (Foto 45) a esfoliação esferoidal também ocorre nesses derrames (Foto 46). Este tipo de alteração esferoidal nas rochas ácidas pode indicar um intemperismo progressivo, levando a exposição de um solo autóctone, ou seja, solos gerados a partir da intemperização das rochas subjacentes e não de sedimentos transportados.

Foto 41. Acamadamento e abaixo paleossolo.  
Coord.: -29,375800° e -54,241600°.



Foto 42. Estruturas de fluxo magmático.  
Coord.: -29,350400° e -54,242400°.





Foto 43. Amostra macro.  
Coord.: -29,090005° e -54,293893°.



Foto 44. Fratura preenchida por quartzo.  
Coord.: -29,375800° e -54,241600°.



Foto 45. Capa de alteração.  
Coord.: -29,090005° e -54,293893°.



Foto 46. Esfoliação Esferoidal.  
Coord.: -29,350400° e -54,242400°.



### Depósitos Aluvionares

Em alguns pontos no Planalto Meridional, recobrimo as rochas vulcânicas, encontram-se sedimentos recentes, associados aos vales fluviais que cortam a AE do Meio Físico. Os clastos possuem tamanhos entre seixo, blocos até matacões, são angulosos e pouco esféricos, atestando sua baixa seleção (Foto 47 e Foto 48). São depósitos de organização caótica, e não são mapeados em Wildner *et al.* (2007). Já na depressão central recobrimo as rochas sedimentares da BP, encontram-se sedimentos associados aos vales fluviais e as planícies de inundação. São depósitos inconsolidados, de granulometria variando de muito fina a muito grossa, grânulos e seixos (Foto 49 e Foto 50).

A baixa seleção dos sedimentos nesses depósitos não pode ser utilizada para a interpretação do seu ambiente deposicional, é de uso restrito à comparação entre sedimentos recentes. Já o arredondamento se dá em função do grau de abrasão, controlado pela resistência das partículas, distância e tempo percorrido pelos grãos, assim como o mecanismo de transporte. Desta forma, os grãos angulosos e dispostos de forma caótica nos depósitos observados podem indicar pouca distância e tempo de transporte, com área fonte próxima e quantidade pequena de percursos, de alta energia.



Foto 47. Aparência dos seixos no afluente do rio Toropi.  
Coord.: -29,450000° e -54,238300°.



Foto 48. Aparência dos seixos no arroio Portão.  
Coord.: -29,350250° e -54,210622°.



Foto 49. Barras de canal de sedimentos quartzoso em afluente do rio Ibicuí-Mirim. Coord.: -29,679448° e -54,024828°.



Foto 50. Sedimentos quartzos em leito do rio Vacacai.  
Coord.: -29,937550° e -53,711362°.



## 5.1.2.2 Geomorfologia

### 5.1.2.2.1 Metodologia

Os estudos geomorfológicos foram desenvolvidos com base nas Unidades Geomorfológicas identificadas através do Mapa Geomorfológico do Radar da Amazônia do Brasil (RADAMBRASIL) (IBGE, 1986)<sup>5</sup> em escala 1:1.000.000. Além das informações secundárias as unidades foram caracterizadas genericamente a campo e fotografadas.

O Mapa Geomorfológico foi obtido em formato digital junto ao Volume 33, disponibilizado pelo IBGE (1986). Em seguida, em *software* de geoprocessamento foi georreferenciado no sistema de referência e coordenadas original. Após foi convertido para o sistema de referência SIRGAS2000 e de coordenadas geográficas, para compatibilização com os demais dados cartográficos deste EIA.

Com base no Mapa Geomorfológico georreferenciado, as unidades geomorfológicas existentes na AE do Meio Físico foram delimitadas por meio de digitalização manual, com respectiva identificação em tabela de atributos associada. Desta forma, foi criado um arquivo em formato *shapefile*, contendo as unidades geomorfológicas da AE, onde foi possível calcular a área aproximada e a participação percentual de cada uma delas na AE.

A declividade foi extraída do MDE Alos Palsar I (2010), banda L, que penetra através de árvores e outros obstáculos, chegando sempre até a superfície terrestre, garantindo melhores resultados, se comparado a outros sensores. O MDE é obtido a partir da interferometria, ou seja, através da sobreposição de duas imagens Alos Palsar I. O MDE (em metros) e a declividade (em porcentagem) são disponibilizados gratuitamente pela Agência Espacial Japonesa, bastando ao usuário selecionar o retângulo envolvente da AE do Meio Físico. Após o *download* das imagens

<sup>5</sup> O projeto RADAMBRASIL foi extinto como órgão autônomo, tendo sido incorporado ao IBGE através do Decreto 91.295/85.



referentes a declividade para a AE, em *software* de geoprocessamento, realizou-se a conversão do formato raster (.tiff) para vetor (.shp).

Em seguida, a declividade foi classificada quanto as formas de relevo correspondentes, através das classes sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979). Essa metodologia categoriza a declividade em seis classes de relevo, conforme descrito em sequência:

- Relevo Plano: Superfície topográfica esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 0 a 3%;
- Relevo suavemente ondulado: Superfície topográfica pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas com (elevações de altitudes relativas da ordem de 50 a 100m, respectivamente), apresentando declives suaves, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 3 a 8%;
- Relevo ondulado: Superfície topográfica pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas que apresentam expressiva ocorrência de áreas com declives entre 8 e 20%;
- Relevo fortemente ondulado: Superfície topográfica movimentada formada morros com elevações de 100 a 200m de altitude relativa e predominância de declives de 20 a 45%;
- Relevo montanhoso: Superfície topográfica vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes da ordem de 45 a 75%; e
- Relevo escarpado: Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes de vales encaixados etc., com declives acima de 75%.

#### 5.1.2.2.2 Aspectos Gerais

Na AE do Meio Físico estão presentes oito Unidades Geomorfológicas (Quadro 37), sendo predominante as unidades: Planalto de Santo Ângelo, Planalto dos Campos Gerais e Depressão Rio Jacuí, que juntas ocupam aproximadamente 71% da AE do Meio Físico.

Apresenta-se no Quadro 37 um resumo dos principais atributos das Unidades Geomorfológicas, as classes de relevo e as faixas de declividade correspondentes. Observa-se que predominam as classes de relevo suave-ondulado e ondulado que juntas somam 79% da AE do Meio Físico.

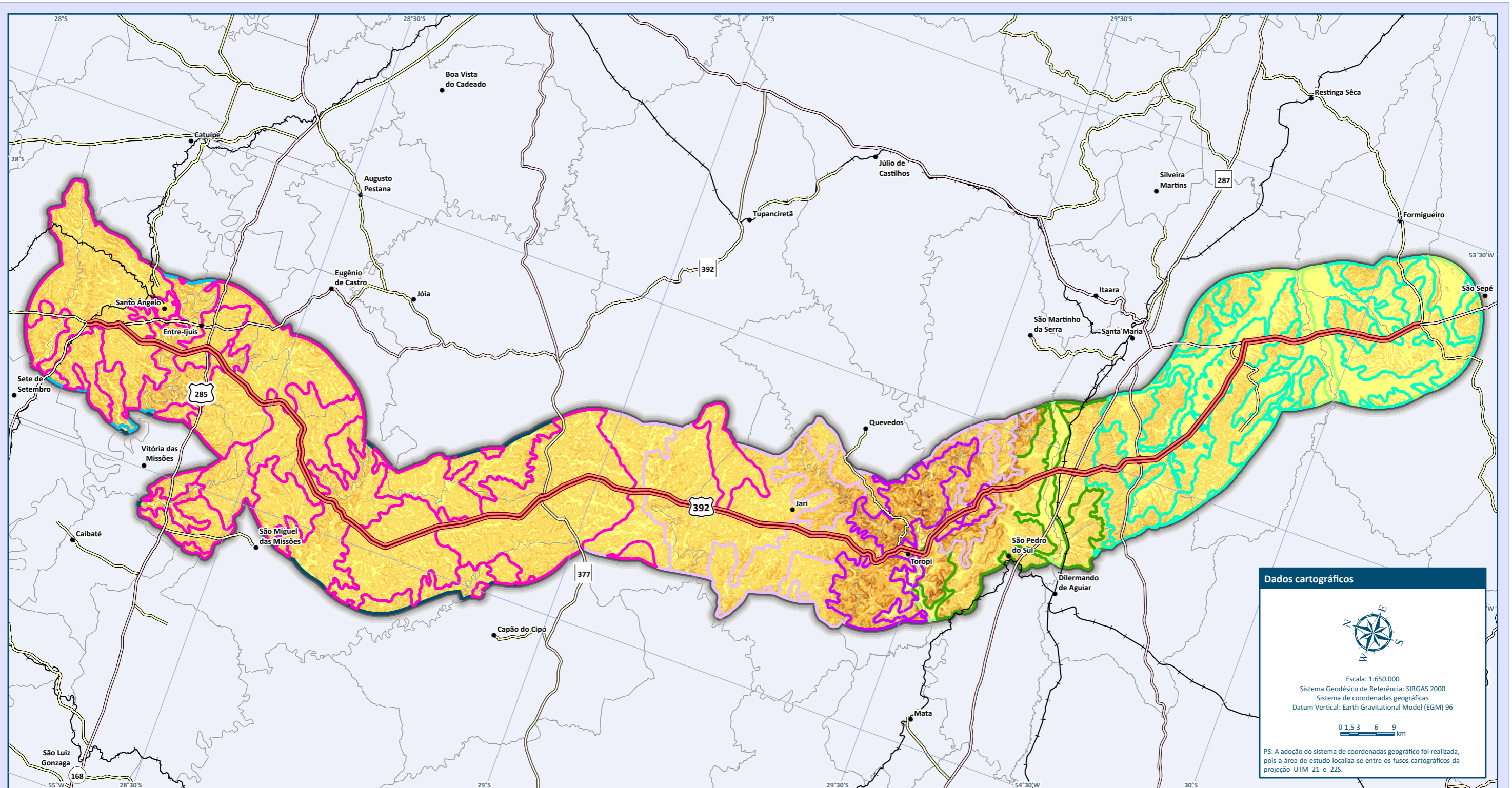
Quadro 37. Classes de relevo e incidência de cada Unidade Geomorfológica na AE do Meio Físico.

Unidades	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual em relação à AE	Classes de relevo	Faixas de declividade	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual em relação à unidade geomorfológica
Planalto de Santo Ângelo	2.124,78	36,38	Plano	0 - 3%	241,29	11,36
			Suave Ondulado	3 - 8%	1.105,69	52,04
			Ondulado	8 - 20%	755,14	35,54
			Forte Ondulado	20 - 45%	22,22	1,05
			Montanhoso	45-75%	0,02	0,00
			Escarpado	> 75%	0,00	0,00
			Sem dados	0	0,41	0,02
Planalto dos Campos Gerais	983,68	16,93	Plano	0 - 3%	102,92	10,46
			Suave Ondulado	3 - 8%	434,13	44,13
			Ondulado	8 - 20%	356,26	36,22
			Forte Ondulado	20 - 45%	80,49	8,18
			Montanhoso	45-75%	9,14	0,93
			Escarpado	> 75%	0,56	0,06
			Sem dados	0	0,18	0,02



Unidades	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual em relação à AE	Classes de relevo	Faixas de declividade	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual em relação à unidade geomorfológica
Depressão Rio Jacuí	1.027,82	17,67	Plano	0 - 3%	233,51	22,72
			Suave Ondulado	3 - 8%	505,35	49,17
			Ondulado	8 - 20%	277,37	26,99
			Forte Ondulado	20 - 45%	11,40	1,11
			Montanhoso	45-75%	0,02	0,00
			Escarpado	> 75%	0,00	0,00
			Sem dados	0	0,17	0,02
Planalto Dissecado Rio Iguçu-Rio Uruguai	194,10	3,34	Plano	0 - 3%	16,06	8,27
			Suave Ondulado	3 - 8%	67,52	34,79
			Ondulado	8 - 20%	87,97	45,32
			Forte Ondulado	20 - 45%	22,19	11,43
			Montanhoso	40-75%	0,31	0,16
			Escarpado	> 75%	0,00	0,00
			Sem dados	0	0,05	0,03
Planalto de Uruguaiana (Nível Baixo)	331,64	5,71	Plano	0 - 3%	34,99	10,55
			Suave Ondulado	3 - 8%	156,18	47,09
			Ondulado	8 - 20%	128,81	38,84
			Forte Ondulado	20 - 45%	11,51	3,47
			Montanhoso	45-75%	0,06	0,02
			Escarpado	> 75%	0,00	0,00
			Sem dados	0	0,09	0,03
Serra Geral	269,15	4,63	Plano	0 - 3%	8,93	3,32
			Suave Ondulado	3 - 8%	39,65	14,73
			Ondulado	8 - 20%	100,01	37,16
			Forte Ondulado	20 - 45%	97,56	36,25
			Montanhoso	45-75%	21,69	8,06
			Escarpado	> 75%	1,26	0,47
			Sem dados	0	0,05	0,02
Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro	462,02	7,92	Plano	0 - 3%	52,85	11,44
			Suave Ondulado	3 - 8%	170,00	36,79
			Ondulado	8 - 20%	173,59	37,57
			Forte Ondulado	20 - 45%	51,81	11,21
			Montanhoso	45-75%	12,83	2,78
			Escarpado	> 75%	0,67	0,15
			Sem dados	0	0,27	0,06
Planície Alúvio-coluvionar	431,38	7,42	Plano	0 - 3%	206,63	47,90
			Suave Ondulado	3 - 8%	181,91	42,17
			Ondulado	8 - 20%	36,24	8,40
			Forte Ondulado	20 - 45%	5,39	1,25
			Montanhoso	45-75%	1,02	0,24
			Escarpado	> 75%	0,14	0,03
			Sem dados	0	0,05	0,01
<b>Total</b>	<b>5.824,57</b>	<b>100%</b>			<b>5824,57</b>	

Fonte: elaborado a partir de IBGE (1986) e EMBRAPA (1979).



**Dados cartográficos**

Escala: 1:650.000  
 Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000  
 Sistema de coordenadas geográficas  
 Datum Vertical: Earth Gravitational Model (EGM) 96

0 1,5 3 6 9 km

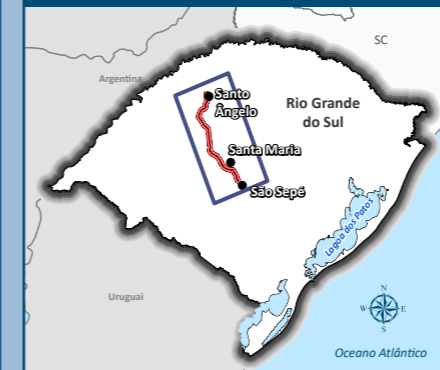
PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

## Mapa de Geomorfologia e Declividade

### Legenda e fonte dos dados

- Sede municipal, IBGE (2015)
  - ▬ Traçado da rodovia, EVTEA (2012)
  - Sistema viário, DAER (2019)
  - ▬ Rodovias estaduais
  - ▬ Rodovias estaduais coincidentes
  - ▬ Rodovias federais
  - ▬ Ferrovias
  - Limite municipal, IBGE (2018)
  - Geomorfologia
  - Domínio, Região, Unidade
  - I. Depósitos Sedimentares, Planície Continental, Planície Alúvio-cóluviônara
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Depressão Central Gaúcha, Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Depressão Central Gaúcha, Depressão Rio Jacuí
- 
- II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Planalto da Campanha, Planalto de Uruguiana (Nível Baixo)
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Planalto das Araucárias, Planalto Dissecado Rio Iguaçu-Rio Uruguai
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Planalto das Araucárias, Planalto dos Campos Gerais
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Planalto das Araucárias, Serra Geral
  - II. Bacias e Coberturas Sedimentares, Planalto das Missões, Planalto de Santo Ângelo
- 
- Declividade
- Classe, Relevo
- Até 3%, Plano
  - De 3 a 8%, Suavemente ondulado
  - De 8 a 20%, Ondulado
  - De 20 a 45%, Fortemente ondulado
  - De 45 a 75%, Montanhoso
  - Maior que 75%, Fortemente montanhoso

### Localização



## Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS





### 5.1.2.2.3 Descrição das Unidades Geomorfológicas

#### Planalto de Santo Ângelo

Ocupa uma extensão aproximada de 95 km do traçado em estudo, localizando-se na porção norte, em direção aos municípios de Entre-Ijuís e Santo Ângelo (Foto 51). Caracteriza-se de modo geral por um relevo de dissecação homogênea mostrando densidade de drenagem grosseira, em especial com aprofundamento dos vales fluviais entre 22 e 28 m.

Este relevo, traduzido por formas em colinas é conhecido regionalmente por "coxilhas". São elevações arredondadas e de pouca extensão, seccionadas por pequenos aprofundamentos fluviais que ocorrem nas áreas pertencentes aos Domínios Morfoestruturais das Bacias e Coberturas Sedimentares como dos Embasamentos em Estilos Complexos. Associadas a essas formas em colinas é comum a ocorrência de arroios, sangas e zonas deprimidas e brejosas conhecidas por *dales*.

O relevo em forma de coxilhas, a norte e sul do rio Ibicuí corresponde à Serra do Espinilho, que representa a área interfluvial Ijuí e Piratini, com altitudes entre 200 e 500 m, cujas cotas decrescem em direção ao rio Uruguai. Os entalhamentos dos vales fluviais em direção à calha do rio Ijuí estão na ordem de 22 a 28 m de aprofundamento. Na coxilha do Espinilho registra-se o contato entre esta unidade e a do Planalto de Uruguiana.

Em relação à Formação Tupanciretã, que se compõe de arenitos finos, friáveis e conglomerados basais não se observa identidade entre litologia e um tipo característico de relevo, pois as formas de relevo registradas como amplas colinas, com maior entalhamento da drenagem, ultrapassam a área de ocorrência do arenito da Formação Tupanciretã.

Os solos profundos apresentam-se desenvolvidos indistintamente tanto em rochas efusivas como nos arenitos da Formação Tupanciretã. De modo geral, a espessura do solo varia entre 1,50 e 4,0 m podendo atingir 6 m.

Em resumo, a Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo caracteriza-se por forma de relevo em colinas, geralmente associadas a solos profundos e à disseminação de fenômenos de erosão e movimentos de massa em diversos estágios de evolução nas vertentes das colinas, assim como nas cabeceiras de drenagem (IBGE, 1986).

Foto 51. Vista da Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo. Coord.: -28,459600° e -54,328700°.





### Planalto dos Campos Gerais

Ocupa uma extensão aproximada de 43 km, localizando-se na parte central, predominantemente no município de Jari (Foto 52). Apresenta-se recortada pelas áreas escarpadas da Serra Geral, fragmentada algumas vezes por áreas de relevo mais dissecado.

A unidade caracteriza-se por um relevo de plano a ondulado, representada por topos de morros tabulares preferencialmente. As formas do relevo evidenciam a ocorrência de processos evolutivos de dissecção, observando-se áreas bastante conservadas de morfologia planar, outras onde os processos erosivos deixaram rupturas de declive ou evidencia-se o alargamento de vales, deixando resíduos da antiga superfície de aplainamento. Apresenta uma sucessão de colinas e pequenos morros, separadas por amplos vales de fundo achatado, cobertos por campos nativos.

As características gerais do relevo permitem dividir o Planalto dos Campos Gerais em dois setores:

#### *Setor Vacaria*

Registra grande área com relevos de dissecção homogêneas constituídos por amplas colinas seccionadas por vales fluviais com aprofundamentos que variam entre 32 a 50 m. Essas formas são mais constantes para oeste à medida que vai se aproximando do contato com a Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo. Em áreas mais restritas ocorrem colinas alongadas, por vezes de menores extensões com aprofundamento fluvial entre 57 e 75 m.

#### *Setor Catarinense*

Superfícies aplanadas, áreas com colinas suaves de pequeno desnível entre topo e vale, com ocorrência de rupturas de declives e sulcos estruturais associados.

O fato de o relevo desta Unidade Geomorfológica ser de pouco dissecado a planar, onde ocorrem principalmente Latossolos, permite a instalação de uma agricultura mecanizada, o que tem acelerado os processos erosivos ligados ao escoamento superficial, evidenciado pela formação de sulcos nas encostas cultivadas e nas laterais das estradas (IBGE, 1986).

Foto 52. Vista da Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais. Coord.: -29,346000° e -54,243700°.



### Depressão Rio Jacuí

Ocupa uma extensão aproximada de 53 km, localizada na porção sul do trecho da rodovia objeto deste estudo (Foto 53). Caracteriza-se por apresentar um relevo sem grandes variações altimétricas onde dominam as coxilhas. O rio Jacuí desenvolve no seu trajeto, um traçado com sinuosidades e segmentos retilíneos, fato observado também em alguns de seus afluentes, como o Vacacaí.

O rio Jacuí apresenta ao longo de suas margens, incluindo as margens de seus afluentes, amplas áreas de acumulação fluvial. As margens baixas e planas, resultantes da acumulação fluvial, apresentam áreas brejosas sujeitas a inundações periódicas, correspondentes às várzeas atuais ou áreas levemente inclinadas,





apresentando rupturas de declive em relação à várzea e ao leito do rio (terraços fluviais). São áreas de baixa declividade (0 a 2 %) que apresentam sedimentos Quaternários com as seguintes características: (i) variação de textura (depósitos arenosos, areno-argilosos e cascalhos); (ii) permeabilidade e erosão variáveis; (iii) lençol freático próximo ou na superfície (áreas periodicamente ou permanentemente alagadas); (iv) favorecimento do escoamento superficial, com possibilidade de formações de sulcos ou ravinas. Os vales das bacias do rio Jacuí e seus afluentes são geralmente largos e de fundo plano.

No trecho entre Cachoeira do Sul e Santa Maria, encontram-se áreas de relevos de topos planos, mostrando truncamento das rochas. É constante na área da Unidade a ocorrência de fenômenos de erosão e movimentos de massa generalizados, que provocam sulcamentos e ravinamentos.

Foto 53. Vista da Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí. Coord.: -29,786889° e -53,954116°.



#### Planalto Dissecado Rio Iguacu-Rio Uruguai

Esta Unidade é representada por uma área no extremo nordeste e outra no extremo noroeste do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares. Representa uma extensão aproximada de 9 km ao longo do traçado preliminar (Foto 54).

A área do extremo noroeste apresenta-se estreita e alongada, estando associada à dissecação do rio Ijuí, em especial e do rio Comandáí, ambos afluentes do rio Uruguai. Limita-se para sul e para oeste com trechos da Unidade Geomorfológica Planalto de Uruguiana.

#### *Dissecação dos rios Ijuí e Comandáí*

Apresenta-se acompanhando o traçado do rio Ijuí e trechos do baixo curso do rio Comandáí, ambos afluentes do rio Uruguai. Configura-se de modo geral como uma área de maior dissecação do relevo, por vezes com controle estrutural marcante, incrustada em meio a formas de relevo retratadas por colinas alongadas e pequenos aprofundamentos dos vales fluviais, referentes à Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo. Limita-se para sul e para oeste com trechos da Unidade Geomorfológica Planalto de Uruguiana.

As formas de relevo desenvolveram-se associadas aos Nitossolos e Neossolos, ambos resultantes da alteração de rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, estando cobertas predominantemente por Floresta Estacional Decidual. O rio Ijuí, principal curso deste segmento, é bastante extenso, descrevendo grande sinuosidade em seu curso, desde as nascentes onde as curvas apresentam menor amplitude até a foz, onde se expandem.



Foto 54. Vista da Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu-Rio Uruguai.  
Coord.: -28,327591° e -54,314272°.



### Planalto de Uruguiana

Esta Unidade faz parte do Domínio Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná. As formas de relevo foram esculpidas em rochas efusivas básicas da Formação Serra Geral, e secundariamente, no arenito da Formação Botucatu (IBGE, 1986). Ocupa uma extensão aproximada de 8 km do traçado em estudo, estando localizada à Leste da cidade de São Miguel das Missões, iniciando no lado norte na localidade de Esquina Ezequiel (Foto 55).

No âmbito das Unidades Morfoesculturais, o Planalto de Uruguiana caracteriza-se por apresentar uma morfologia suavemente ondulada, com caimento suave para oeste, em direção ao rio Uruguai. É comum a ocorrência de um relevo de aplanamento retocado desnudado nas áreas interfluviais em ampla superfície de aplanamento em situações topográficas inferiores que de modo geral desce em rampa suave em direção aos extensos terraços fluviais do rio Uruguai. Por ser uma área extensa, ela é dividida em setores: Coxilha de Santana, Dissecção do Rio Quaraí, Pontal do Quaraí, Área Degradacional Oriental, Pediplano do Médio Uruguai, Área Transicional Setentrional e Área de Acumulação Fluvial.

Limita-se com várias Unidades Geomorfológicas, a norte com o Planalto de Santo Ângelo, a leste com o Planalto dos Campos Gerais e Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro. Para oeste limita-se com o Uruguai e a Argentina.

A porção desta Unidade Geomorfológica que se faz presente na AE do Meio físico é a que compreende a Área Transicional Setentrional que avança até o extremo norte, ao longo do rio Uruguai e distribui-se em fragmentos esparsos mais para leste associados aos principais canais fluviais, em especial o rio Piratini que é interceptado pelo traçado em estudo. Predominam as formas de relevo planares, planos inclinados irregulares desnudados, referentes à superfície do aplanamento elaboradas por processo de pediplanação sobre rochas efusivas da Formação Serra Geral. Associam-se a essas formas planas Neossolos (antigos solos litólicos) e de modo geral, vegetação de contato entre Savana e Savana Estépica.

Relacionadas com os rios Piratini e Icamauã ocorrem áreas com relevo dissecado em colinas que apresentam, nas encostas, rupturas de declive estando seccionadas por cursos fluviais com entalhamento de seus vales na ordem de 15 a 25 m. Esta área está mais sujeita ao desenvolvimento de sulcos e ravinas.



Foto 55. Vista da Unidade Geomorfológica Planalto de Uruguaiana. Coord.: -28,620700° e -54,436300°.



### Serra Geral

Unidade presente no entorno da cidade de Toropi, entre as Unidades Geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais e Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro, perfazendo uma extensão aproximada de 7 km do traçado em estudo (Foto 56).

Configura-se nos terminais escarpados abruptos do Planalto dos Campos Gerais, desenvolvidos sobre rochas efusivas básicas, com desníveis acentuados de até 1.000 m. As formas de relevo abruptas apresentam vales fluviais com aprofundamentos superiores a 500 m em suas nascentes, desenvolvendo verdadeiros cânions, tendo sua frente já consideravelmente recuada e dissecada pelo alto poder erosivo da rede de drenagem. As características do relevo desta Unidade Geomorfológica são propícias ao desenvolvimento e preservação de uma vegetação do tipo florestal, embora em alguns trechos seja indevidamente substituída por culturas (IBGE, 1986).

A porção desta Unidade presente na AE do Meio Físico compreende fragmentos isolados associados à dissecação do rio Toropi, que integra a rede hidrográfica do rio Ibicuí. Registra-se a presença da Floresta Estacional Decidual e Semidecidual com vegetação secundária que nas áreas mais rebaixadas, de mais fácil ocupação humana, já foram substituídas por culturas, em geral associadas aos Argissolos e Nitossolos.

Foto 56. Vista da Unidade Geomorfológica Serra Geral. Coord.: -29,543200° e -54,133600°.





### Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro

Esta Unidade ocupa uma extensão aproximada de 32 km do traçado em estudo, localizada entre as Unidades Geomorfológicas Serra Geral e Depressão Rio Jacuí, porém com uma parte dela entrando pelo vale do rio Toropi. Em direção à cidade de São Pedro do Sul, encontra-se uma faixa com as Unidades Geomorfológicas Serra Geral e Planalto dos Campos Gerais, após a qual segue a Unidade Geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro até encontrar a Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí (Foto 57).

Apresenta-se dissecada em formas de topos convexos ou planos cujas encostas caem suavemente em direção aos vales. Essas formas estão relacionadas ao trabalho erosivo dos rios Ibicuí da Armada, Santa Maria e Ibicuí-mirim. À margem direita do rio Ibicuí, entre Cacequi e Rosário do Sul, as formas em colinas, alongadas, apresentam encostas rampeadas onde também ocorrem fenômenos de erosão. Os rios na depressão apresentam, de modo geral, praias, bancos e ilhas arenosas no leito do canal.

Foto 57. Vista da Unidade Geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro. Coord.: -29,531900 e -54,144200°.



### Planície Alúvio-Coluvionar

Esta Unidade ocupa uma extensão aproximada de 11 km do traçado preliminar, apresentando-se de forma descontinuada ao longo dos principais rios das Unidades Geomorfológicas Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro e Depressão Rio Jacuí (Foto 58).

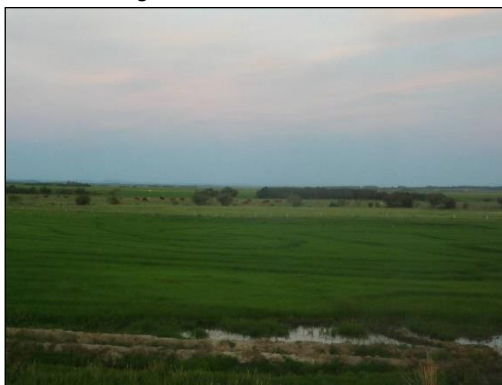
Corresponde à superfície plana, rampeada suavemente para leste, em alguns trechos descontínuas, posicionada entre a Planície Lagunar a leste e os relevos das Regiões Geomorfológicas Planaltos das Araucárias Sul-Rio-Grandense a oeste. Do ponto de vista da origem da deposição trata-se de uma área de transição entre influências continental e marinha.

Esta morfologia de rampa pode ser atribuída, em parte, à existência de vários pontos de afluxo sedimentar favorecendo a coalescência dos leques e aos efeitos de retrabalhamento e erosão posterior, incluindo-se aqui os entalhamentos fluviais e os terraceamentos marinhos e lagunares, que afetaram as partes distais dos leques como resultado das oscilações do nível relativo do mar.

Nas áreas de influência continental predominam os modelados planos ou embaciados, resultantes da convergência de leques coluviais de espraiamento, cones de dejeções ou concentração de depósitos e enxurradas nas partes terminais de rampas de pedimentos, ocorrendo ainda formas de topo plano ou baixos tabuleiros.



Foto 58. Vista da Unidade Geomorfológica Planície Aluvio-Coluvionar. Coord.: -29,948774° e -53,702208°.



### 5.1.3 Solos e Geotecnia

#### 5.1.3.1 Solos

##### 5.1.3.1.1 Metodologia

Os estudos pedológicos foram desenvolvidos com base no livro "Solos do Rio Grande do Sul" (STRECK *et al.*, 2008) e no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018a).

A caracterização e descrição, a suscetibilidade à erosão e a resistência a impactos ambientais das respectivas unidades de mapeamento interceptados pelo traçado da rodovia foi realizada por meio das informações obtidas no mapa de Solos (KÄMPF *et al.*, 2008).

A identificação das áreas críticas quanto à sensibilidade a impactos ambientais teve como embasamento metodológico o Guia do Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais (KÄMPF *et al.*, 2008), conforme consta no Quadro 38.

Quadro 38. Roteiro para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais.

Fator do solo ou terreno	Classes de resistência a impactos ambientais			
	Alta (A)	Média (B)	Baixa (C)	Muito Baixa (D)
Profundidade	> 150 cm	100 a 150 cm	50 a 100 cm	< 50 cm
Textura	Argilosa (>35% de argila)	Média (15 a 35% de argila)	Arenosa (<15% de argila)	Arenosa (<15% de argila)
Gradiente textural	Sem ou pouco	Com	Abrupto	Com ou sem
Drenagem	Bem ou moderada	Forte ou acentuada	Imperfeita ou excessiva	Mal ou muito mal
Lençol freático	Ausente	Ausente ou eventualmente suspenso	Alto	Superficial
Lençol suspenso	Não	Não	Sim	Sim
Risco de inundação	Nulo	Nulo	Raro	Ocasional ou frequente
Erodibilidade	Ligeira a moderada	Moderada a forte	Forte	Forte a muito forte
Relevo	Plano, suave ondulado ou ondulado	Ondulado	Forte ondulado	Forte ondulado ou montanhoso
Declividade	< 3% 3-8% 8-20%	8-20%	20-45%	>45%
Aptidão agrícola	Boa	Boa a regular	Regular a restrita	Restrita

Fonte: KÄMPF *et al.* (2008).

A caracterização e descrição dos solos interceptados pelo traçado preliminar foi realizada por meio de vistorias na ADA, tendo por base o mapa de Solos (KÄMPF *et al.*, 2008) e suas respectivas unidades de mapeamento indicadas, as quais orientaram a descrição dos perfis, também foram coletadas amostras dos diferentes horizontes identificados, as quais foram encaminhadas ao laboratório para análise granulométrica.

Para a descrição dos perfis utilizou-se a metodologia proposta por Santos *et al.* (2015) no "Manual de descrição e coleta de solos no campo" e no "Manual Técnico de Pedologia" do IBGE (2007) e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018a).



A caracterização dos solos não inclui as características químicas, não tendo sido identificadas as diferenças a este nível, visto que para o tipo de empreendimento a ser implantado (rodovia) o interesse maior está na descrição das características físicas.

#### 5.1.3.1.2 Regiões Fisiográficas

O levantamento de solo, que mapeia e localiza as diferentes classes de solo de determinada região, forma a base para o planejamento do uso das terras. Na AE do Meio Físico são destacadas três regiões fisiográficas distintas nas quais são encontrados diferentes tipos de solo:

##### Depressão Central

Se localiza no trecho Sul da AE do Meio Físico, com uma extensão aproximada de 69,4 km, predomina o material sedimentar das Formações Rosário do Sul e Santa Maria (BRASIL, 1973). Nesta região ocorrem os argilitos, siltitos e arenitos da Formação Santa Maria, nos municípios de Santa Maria e São Pedro do Sul.

Nesta região ocorrem os solos: Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos no topo das coxilhas com boa drenagem; na meia encosta os Argissolos Bruno-Acinzentados com drenagem imperfeita; nas várzeas e pequenas elevações os Planossolos Háplicos e nas faixas próximas aos cursos d'água os Gleissolos Háplicos (STRECK *et al.* 2008).

##### Região das Missões (sub-região do Planalto Sul-Riograndense)

Onde se localiza o trecho norte da AE do Meio Físico, com uma extensão aproximada de 154,75 km, predomina o Basalto e o relevo mais comum é ondulado a suavemente ondulado, caracterizado por elevações arredondadas (coxilhas), sem rupturas bruscas de declive entre as elevações vizinhas (BRASIL, 1973).

Nesta região ocorrem os solos: Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos; Neossolos e Cambissolos (como inclusões nas classes de Latossolos e Argissolos, especialmente nos vales dos principais rios e arroios e no final das pendentes) e Nitossolos, estes últimos especialmente no terço inferior das pendentes. Nesta região predominam solos bem drenados.

##### Unidade Modelados de Rebordo do Planalto

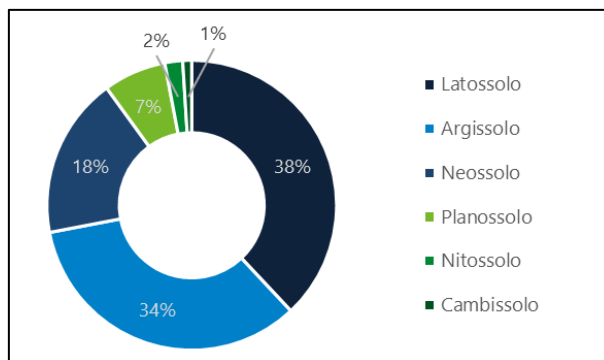
Compreendida entre o curso médio dos afluentes do rio Ibicuí, várzea do rio Ibicuzinho até o rio Toropi, onde se localiza o trecho intermediário da rodovia com uma extensão de aproximadamente 34,45 km. Esta região de transição entre o Planalto e a Depressão Central apresenta configuração acidentada que testemunha a atual fase de evolução do Planalto da Serra Geral. O relevo é formado por escarpas abruptas associadas a formas de morros e morrotes com declividades superiores a 15%. O substrato é vulcânico com intertraps de rochas areníticas coesas. Os solos são rasos e pedregosos com afloramentos de blocos de rochas. Predominam os Neossolos e Cambissolos. Movimentos de massa em vertentes são refletidos pela presença de ressaltos topográficos na meia encosta e depósitos de base, caracterizados como colúvios (ROBAINA *et al.*, 2010). De maneira geral, os neossolos (em especial os fragmentários) são bem drenados o mesmo ocorrendo com os cambissolos.

#### 5.1.3.1.3 Classificação dos Solos na Área de Estudo do Meio Físico

Na AE do Meio Físico são encontradas seis classes de solos, as quais estão distribuídas conforme apresentado no Gráfico 34 e Mapa 11, sendo mais significativos os Latossolos e os Argissolos que juntos perfazem um total de 72% da AE.



Gráfico 34. Classes de solos na AE do Meio Físico.



No Quadro 39 consta um detalhamento das classes de solos presentes na AE do Meio Físico.

Quadro 39. Quantificação das classes de solos presentes na AE do Meio Físico.

Classes de solos	Área (km <sup>2</sup> )	Extensão (km) sobre o traçado	Percentual na AE	Legenda
Latossolo Vermelho distroférico típico	1.984,39	90,1	34,14	LRd
Latossolo Vermelho distrófico típico	208,97	5,2	3,60	LEa
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico	1.179,22	57,8	20,29	PEa
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico úmbrico	35,17	0,0	0,61	PEd
Argissolo Bruno acinzentado alítico abrupto	470,35	27,9	8,09	PBPa
Argissolo Amarelo alítico típico	300,41	17,6	5,17	PBPe
Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico	768,1	20,8	13,22	Re
Neossolo Litólico distro-úmbrico fragmentario ou Neossolo Regolítico distro-húmbrico típico	294,92	8,10	5,07	Rd
Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico	49,8	15,0	0,86	Ce
Planossolo Háplico eutrófico arênico	415,9	11,1	7,16	PLe
Nitossolo Vermelho eutrófico típico	105,0	5,0	1,81	TRe
<b>Total</b>	<b>5.812,23</b>	<b>258,6</b>	<b>100,0</b>	

Fonte: KÄMPF *et al.* (2008).

### Latossolos

Conforme apresentado no Quadro 39, na AE do Meio Físico predomina o Latossolo Vermelho distroférico. São solos geralmente profundos a muito profundos, bem drenados, homogêneos e altamente intemperizados (STRECK *et al.*, 2008). Apresentam em seu perfil uma sequência de horizontes A-Bw-C, sendo o Bw um horizonte do tipo latossólico. Em alguns casos, quando associados a inclusões de Neossolos Regolíticos ou Litólicos, podem ser pouco profundos. Apresentam pouco ou nenhum incremento de argila com a profundidade, com transição gradual e difusa entre horizontes o que lhes confere um perfil homogêneo. Devido à alta intemperização predominam a caolinita e os óxidos de ferro.

As características físicas (profundos, bem drenados, muito porosos, friáveis e bem estruturados) e as condições de relevo onde ocorrem (suave-ondulado a ondulado) se constituem em fatores altamente favoráveis à implantação da rodovia, tanto pela facilidade de serem trabalhados como pelas possibilidades de seu uso (como por exemplo, em aterros), não apresentando restrições significativas e/ou pontos de fragilidade.

### Argissolos

Predomina na AE o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico. São solos profundos a muito profundos cuja drenagem varia de bem drenados a imperfeitamente drenados. Possuem perfil com sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C. Estes solos apresentam perfil com gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso que os horizontes A e. São originados de diferentes tipos de materiais como: basaltos, granitos, arenitos, argilitos e siltitos (STRECK *et al.*, 2008). O caráter úmbrico (quarto nível categórico) indica a presença de horizonte superficial, com boa estrutura, bom teor de carbono, mas de baixa fertilidade (Santos *et al.*, 2018a).



Em relação às limitações físicas, destacam-se a textura e a espessura do horizonte superficial que determinam o grau de suscetibilidade à erosão hídrica e o seu potencial de uso. Para o caso dos Argissolos Vermelho-Amarelos (predominantes na AE) com presença de horizonte B textural, ocorre rápida infiltração da água nas camadas superficiais com redução no horizonte B, devido à sua menor permeabilidade. A saturação das camadas superiores leva ao escoamento superficial e erosão em sulcos que se não estancada pode levar à formação de voçorocas. Esta situação é especialmente preocupante em casos de cortes e áreas de empréstimo de material que, se não protegidas adequadamente, podem levar a processos erosivos e a necessidade de atenção no controle da erosão.

### Cambissolo

São solos rasos a profundos apresentando no perfil uma sequência de horizontes A-Bi-C ou O-A-Bi-C, sendo o horizonte Bi do tipo incipiente. As condições de drenagem vão de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo da posição que ocupam na paisagem. A presença de fragmentos de rocha é comum no perfil o que indica o baixo grau de intemperização do material de origem (STRECK *et al.*, 2008).

Os cambissolos ocorrem em parte das áreas indicadas como Chernossolos da unidade Ciriaco (BRASIL, 1973 apud STRECK *et al.*, 2008), possivelmente pela degradação do horizonte A devido ao seu uso por dezenas de anos com atividades agrícolas extrativistas. Os Chernossolos Argilúvicos Férricos Típicos, originados do basalto, ocorrem nas encostas do vale do Rio Uruguai e da Serra do Mar e na Encosta Inferior do Nordeste, associados aos Neossolos Regolíticos ou Litólicos Eutróficos. No entanto, uma grande proporção destes solos foi degradada pelo uso agrícola resultando na erosão do horizonte A chernozêmico original, transformando-os em Cambissolos Háplicos ou em Luvisolos Háplicos (STRECK *et al.*, 2008).

A classe de suscetibilidade à erosão do Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, na AE, é moderada.

### Neossolos

São solos rasos ou profundos que apresentam no perfil uma sequência de horizontes: A-R, A-C, A-C-R, A-Cr-R, O-R ou H-C. Podem apresentar horizonte B desde que tenha insuficiência de requisitos para qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. São solos de formação muito recente que se desenvolveram a partir de diferentes tipos de rochas e encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem (STRECK *et al.*, 2008).

Na AE estão presentes: (i) Neossolo Litólico distro-úmbrico fragmentário ou Neossolo Regolítico distro-úmbrico típico ou léptico ocupando 294,92 km<sup>2</sup> (5,07% da AE) e uma extensão de 8,1 km. Apresenta um horizonte A ou O assentado diretamente sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais da sua massa constituída de fragmentos de rocha com diâmetro > 2 mm (cascalhos, calhaus, matações), com contato lítico (rocha, camada R) dentro de 50 cm da superfície do solo; (ii) Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico que ocupa uma área de 768,1 km<sup>2</sup> (13,2% da AE) e uma extensão de 20,8 km. Apresenta horizonte A assentado sobre a rocha totalmente alterada (horizonte C ou Cr) e contato lítico em profundidade maior que 50 cm, admitindo horizonte Bi com espessura < 10 cm (STRECK *et al.*, 2008).

As características físicas que implicam em dificuldades para a construção da rodovia nestes solos são a pouca profundidade, o contato lítico e o relevo que pode variar de ondulado a montanhoso, que lhes confere uma forte suscetibilidade à erosão.

### Nitossolos

São solos profundos que apresentam no perfil uma sequência de horizontes A-B-C, onde o horizonte B é do tipo nítico. São muito similares aos Latossolos, pois também apresentam pouco incremento de argila com a profundidade e uma transição difusa entre horizontes sendo difícil a distinção entre eles. O que os distingue dos





Latossolos é a presença de um horizonte B com uma estrutura mais desenvolvida (na forma de blocos angulares e subangulares) com revestimento reluzente (cerosidade), característica do horizonte B nítico (STRECK *et al.*, 2008).

Suas características físicas (profundos, bem drenados, sem gradiente textural e bem estruturados) e as condições de relevo onde ocorrem (ondulado) se constituem em fatores favoráveis à implantação da rodovia, tanto pela facilidade de serem trabalhados como pelas possibilidades de seu uso (como por exemplo, em aterros), não apresentando restrições significativas e/ou pontos de fragilidade. Apresenta uma suscetibilidade à erosão ligeira a moderada.

#### Planossolos

São solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em várzeas, com relevo plano a suave ondulado. Apresentam perfis com sequência de horizontes A-E-Bt-C, com o horizonte A geralmente de cor escura e o horizonte E de cor clara (tipo E alábico), ambos de textura mais arenosa, com passagem abrupta para o horizonte Bt (que é do tipo plânico), bem mais argiloso e adensado, de cor acinzentada com ou sem mosqueados vermelhos e/ou amarelos. A mudança abrupta de textura dos horizontes mais superficiais (A+E) para o horizonte Bt define uma mudança textural abrupta pela qual se distinguem os Planossolos dos Gleissolos (STRECK *et al.*, 2008).

Os Planossolos são caracterizados como arênicos quando apresentam os horizontes A ou A+E de textura arenosa com mais de 100 cm de espessura até o horizonte B. As características físicas como existência de gradiente textural de transição abrupta, drenagem imperfeita e lençol freático alto dificultam a construção da rodovia e imprimem a este solo muito baixa resistência a impactos ambientais.

#### 5.1.3.1.4 Suscetibilidade à Erosão

A suscetibilidade à erosão, segundo Kämpf *et al.* (2008), indicou as seguintes percentagens para cada classe:

- Nula: 4,9% (associada aos Planossolos);
- Ligeira/Média: 37,5% (associada ao Latossolo distroférico e ao Nitossolo Vermelho);
- Média: 26,0% (associada ao Latossolo distrófico; Argissolo Vermelho-amarelo e Cambissolo);
- Média a Forte: 26,1% (associada aos Neossolos e Argissolos Bruno-acinzentado e Amarelo); e
- Forte: 5,5% (associada aos Neossolos Fragmentários e Regolíticos).

#### 5.1.3.1.5 Resistência a Impactos Ambientais

A avaliação da resistência a impactos ambientais considerou as seguintes classes: Alta (A); Média (B); Baixa (C); Muito Baixa (D). Tendo em vista o tipo de empreendimento, foram considerados com sensibilidade ambiental crítica os trechos do leito estradal que se enquadraram nas classes C e D.

Os resultados da classificação dos solos presentes na AE do Meio Físico quanto à resistência a impactos ambientais constam no Quadro 40. Observa-se que 158,1 km da rodovia estarão inseridos em solos com alta resistência a impactos ambientais; 27,9 km estarão inseridos sobre solos com média resistência a impactos ambientais; 32,6 km inseridos sobre solos de baixa resistência a impactos ambientais e; 40,0 km estarão inseridos sobre solos de muito baixa resistência a impactos ambientais.

Quadro 40. Classificação dos solos presentes na AE do Meio Físico quanto à resistência a impactos ambientais.

Classes de solos	Classe de resistência	Área (km <sup>2</sup> )	Extensão (km) sobre o traçado	Percentual na AE
Latossolo Vermelho distroférico típico	A	1.984,39	90,1	34,14
Latossolo Vermelho distrófico típico	A	208,97	5,2	3,60
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico	A	1.179,22	57,8	20,29
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico úmbrico	A	35,17	0,0	0,61
Argissolo Bruno acinzentado alítico abrupto	B	470,35	27,9	8,09
Argissolo Amarelo alítico típico	C	300,41	17,6	5,17
Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico	D	768,1	20,8	13,22



Classes de solos	Classe de resistência	Área (km <sup>2</sup> )	Extensão (km) sobre o traçado	Percentual na AE
Neossolo Litólico distro-úmbrico fragmentário ou Neossolo Regolítico distro-húmbrico típico	D	294,92	8,10	5,07
Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico	C	49,8	15,0	0,86
Planossolo Háplico eutrófico arênico	D	415,9	11,1	7,16
Nitossolo Vermelho eutroférico típico	A	105,0	5,0	1,81
Total		5.812,23	258,6	100,0

Fonte: KÄMPF et al. (2008). Legenda classes de resistência: A: Alta; B: Média; C: Baixa; D: Muito Baixa.

### Análise dos fatores que levam às classes de resistência a impactos ambientais

#### *Solos com Alta Resistência (classe A)*

Os solos que apresentam alta resistência a impactos ambientais representam 60,4% da AE: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico e úmbrico; Latossolo Vermelho distrófico típico; Latossolo Vermelho distrófico típico; Nitossolo Vermelho eutroférico típico. Os fatores comuns que conferem a estes solos alta resistência a impactos ambientais são: (i) profundidade superior a 200 cm; (ii) boa drenagem; (iii) ausência de lençol freático; (iv) relevo plano, suave ondulado ou ondulado; (v) declividade até 20%; (vi) textura argilosa; (vii) suscetibilidade à erosão, ligeira a moderada.

#### *Solos com Média Resistência (classe B)*

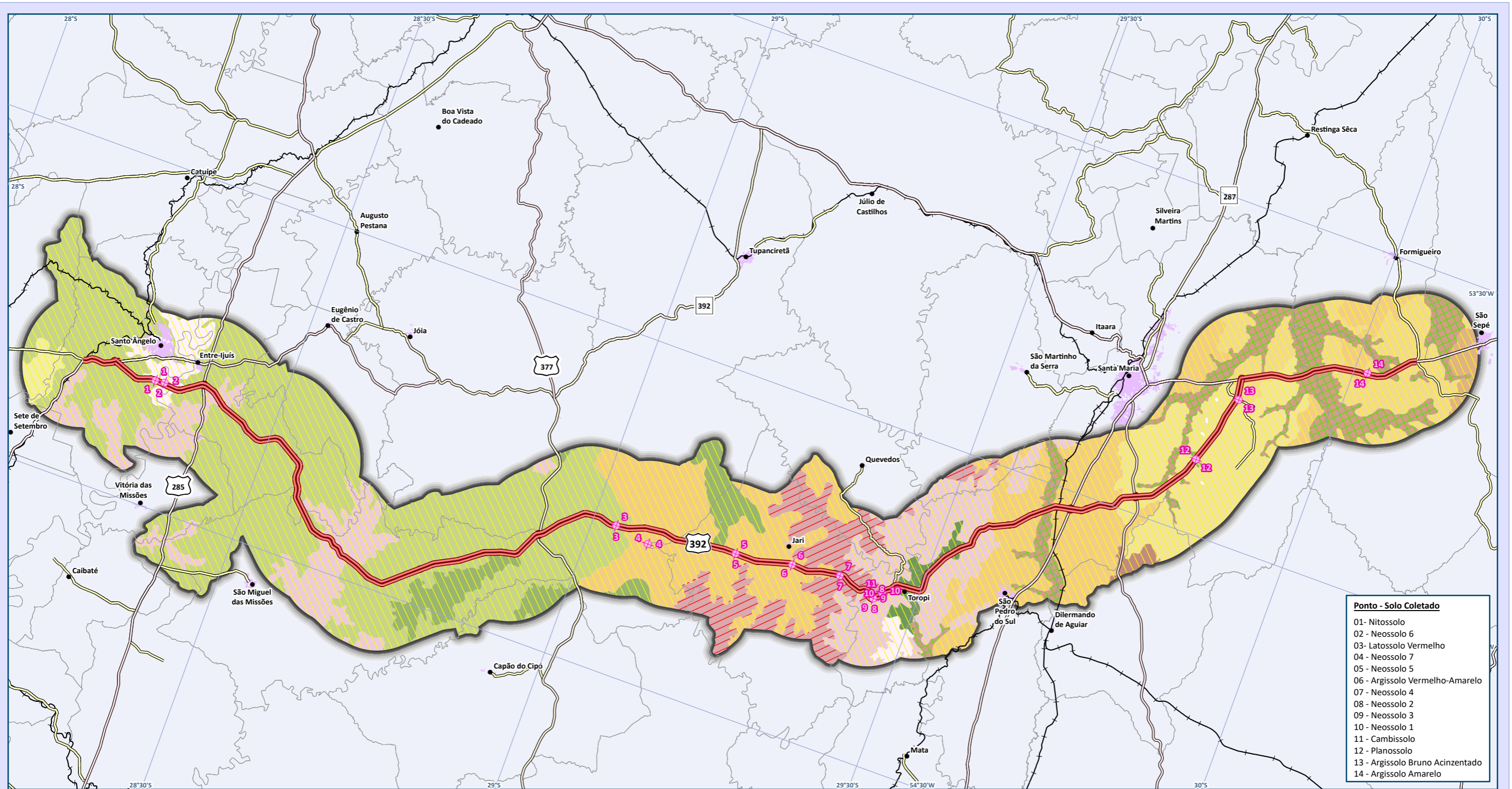
Os solos de média resistência a impactos ambientais estão presentes em 8,1% da AE: (i) Argissolo Bruno Acinzentado alítico abrupto - Apresenta média resistência a impactos ambientais devido à presença de gradiente textural abrupto e drenagem moderada a imperfeita e apresenta suscetibilidade à erosão de média a forte.

#### *Solos com Baixa Resistência (classe C)*

Os solos que apresentam baixa resistência a impactos ambientais estão presentes 6% AE: (i) Argissolo Amarelo alítico típico - A baixa resistência a impactos ambientais é devida à profundidade inferior a 100 cm; drenagem imperfeita; lençol freático alto e presença (embora pouco) de gradiente textural; (ii) Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico - A baixa resistência a impactos ambientais se deve à profundidade inferior a 100 cm; relevo que pode chegar a forte ondulado e montanhoso com uma suscetibilidade à erosão, forte.

#### *Solos com Muito Baixa Resistência (classe D)*

Os solos que apresentam muito baixa resistência a impactos ambientais estão presentes em 25% da AE: (i) Neossolo Litólico Distro-húmbrico - Os fatores que imprimem a este solo resistência muito baixa a impactos ambientais são: profundidade menor que 50 cm; alta declividade (até 40%); relevo forte-ondulado a montanhoso e forte suscetibilidade à erosão; (ii) Neossolo Regolítico Húmico Léptico ou Típico - Os fatores que lhe conferem resistência muito baixa a impactos ambientais são: profundidade inferior a 50 cm; relevo forte ondulado e suscetibilidade à erosão, média a forte; (iii) Planossolo Háplico Eutrófico Arênico - Os fatores que o classificam como de resistência muito baixa a impactos ambientais são: gradiente textural abrupto; drenagem imperfeita e lençol freático alto.



**Ponto - Solo Coletado**

- 01 - Nitossolo
- 02 - Neossolo 6
- 03 - Latossolo Vermelho
- 04 - Neossolo 7
- 05 - Neossolo 5
- 06 - Argissolo Vermelho-Amarelo
- 07 - Neossolo 4
- 08 - Neossolo 2
- 09 - Neossolo 3
- 10 - Neossolo 1
- 11 - Cambissolo
- 12 - Planossolo
- 13 - Argissolo Bruno Acinzentado
- 14 - Argissolo Amarelo

## Mapa de Solos e Suscetibilidade à Erosão

### Legenda e fonte dos dados

<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Pontos de coleta de solos, STE (2014)</li> <li>● Sede municipal, IBGE (2015)</li> <li>▬ Traçado da rodovia, EVTEA (2012)</li> <li><b>Sistema viário, DAER (2019)</b></li> <li>▬ Rodovias estaduais</li> <li>▬ Rodovias estaduais coincidentes</li> <li>▬ Rodovias federais</li> <li>▬ Ferrovias</li> <li>■ Mancha urbana municípios interceptados, STE (2020)</li> <li>□ AE Meio físico, STE (2020)</li> <li>□ Limite municipal, IBGE (2018)</li> </ul>	<p><b>Suscetibilidade em erosão, CPRM (2010)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▬ Forte</li> <li>▬ Média</li> <li>▬ Nula</li> </ul> <p><b>Unidade de solos EMBRAPA (2006)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ce, Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico</li> <li>■ LEa, Latossolo Vermelho distrófico típico</li> <li>■ LRd, Latossolo Vermelho distrófico típico</li> <li>■ LRd, Latossolo Vermelho distrófico típico</li> <li>■ BBPa, Argissolo Bruno-acinzentado alítico abrupto</li> <li>■ BBPe, Argissolo Amarelo alítico típico</li> <li>■ PEa, Argissolo Vermelho-amarelo distrófico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PEd, Argissolo Vermelho-amarelo distrófico úmb</li> <li>■ PLe, Planossolo Háptico eutrófico arênico</li> <li>■ PVa, Argissolo Bruno-acinzentado alítico abrupto</li> <li>■ Rd, Neossolo Litólicos Distro-úmbricos frag</li> <li>■ Re, Neossolo Regolítico húmico léptico ou t</li> <li>■ TRe, Nitossolo Vermelho Eutrófico Típico</li> </ul>
--	--	---

### Dados cartográficos



PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

### Localização



## Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS





## 5.1.3.1.6 Levantamento de Campo

Os resultados dos levantamentos de campo são apresentados no Quadro 41. Os laudos do laboratório constam no Anexo 7. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Solos da UFRGS.

Quadro 41. Resultados da análise granulométrica dos solos descritos no campo.

Solo	Horizonte	Classe de textura	Granulometria (%)			
			Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte
Latossolo vermelho	A	Franco argilosa	58	13	6	23
	B	Argilosa	72	8	5	15
Argissolo Bruno-Acinzentado	A	Média	20	18	44	18
	BT1	Média	34	12	33	21
	BT2	Argilosa	40	11	29	20
Argissolo Vermelho-Amarelo	A	Argilosa	58	14	6	22
	BT	Muito argilosa	66	7	5	22
Argissolo Amarelo	A	Média	22	38	36	4
	BT	Argilosa	40	21	27	12
Neossolo	A	Franco argilosa	30	14	12	44
Cambissolo	A	Areia franca	8	35	50	7
	B	Franco arenosa	10	38	40	12
Planossolo Háptico	A	Média	14	30	40	16
	E	Média	10	33	41	16
	BP	Argilosa	38	12	16	34
Nitossolo Vermelho	A	Muito argilosa	62	6	7	25
	BT	Muito argilosa	74	3	4	19

OBS: Resultados expressos no material seco a 45°C.

Aspectos gerais observados a campo

Tendo em vista que a escala do mapa de solos é de 1:750.000 (KÄMPF *et al.*, 2008), nem sempre os detalhes de inclusões e associações de solo são observados a este nível de escala, tendo sido observados a campo, tais como inclusões de solos rasos (especialmente Neossolos) nas manchas de Latossolos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Nitossolos.

Descrição dos solos identificados a campoArgissolos

Pelo mapeamento de Kämpf *et al.* (2008), são apresentados quatro Argissolos na AE (Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico; Argissolo Bruno Acinzentado alítico abrupto; Argissolo Amarelo alítico típico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico úmbrico). A descrição dos perfis é apresentada no Quadro 42.

Quadro 42. Descrição dos perfis de Argissolos identificados a campo.

Solo	Argissolo Bruno Acinzentado
Características gerais	Quando a drenagem é imperfeita e o material de origem são siltitos da Formação Santa Maria, ocorrem solos profundos, de coloração bruno-escura e textura arenosa a argilosa nos horizontes superficiais passando a bruno-acinzentado com mosqueados vermelhos e cinzentos e textura argilosa nos horizontes subsuperficiais, classificados como Argissolos Bruno Acinzentados Úmbricos (Unidades Santa Maria, textura superficial média a argilosa e Argissolos Bruno Acinzentados Alíticos Abruptos (Unidade Livramento, textura superficial arenosa) (KLAMT e SCHNEIDER, 2003).
Identificação do perfil	Localização: Perfil descrito a aproximadamente 15 km da cidade de Santa Maria, RS, próximo ao traçado previsto da rodovia Coordenadas: -29,851868° e -53,784833° (Foto 59 e Foto 60) Situação: Terço superior de uma coxilha com declividade aproximada de 10% Relevo: Ondulado, formado por coxilhas com declividade entre 8 e 11% Material de Origem: Arenito Cobertura Vegetal: Pastagem Drenagem: Imperfeitamente drenado
Descrição morfológica	A 0-70 cm - Textura franco argiloarenosa (20% de argila); fração média granular e bloco sub-angulares pequenos; macio; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana; raízes abundantes. Bt1 70-105 cm - Textura franco argilosa (34% de argila); fração média blocos sub-angulares; macio; friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana. Bt2 105-150 cm - Textura argilosa (40% de argila); forte média blocos sub-angulares; pegajoso; transição gradual e plana. BC 150-210 cm+ - Arenito em decomposição









Foto 59. Perfil do Argissolo Bruno Acinzentado.		Foto 60. Paisagem do Argissolo Bruno Acinzentado.	
			
<b>Solo</b>	<b>Argissolo Amarelo</b>		
Características gerais	São solos medianamente profundos, com cores bruno-acinzentadas no horizonte A e bruno-amareladas no horizonte B, textura média, friáveis e imperfeitamente drenados (BRASIL, 1973).		
Identificação do perfil	Localização: Perfil descrito próximo à BR-392 Coordenadas: -29,999823° e -53,672338° (Foto 61 e Foto 62) Situação: Terço médio de uma coxilha com declividade aproximada de 10% Relevo: Ondulado, formado por coxilhas com declividade entre 8 e 10%, com declives longos Material de Origem: Arenito Cobertura Vegetal: Pastagem Drenagem: Imperfeitamente drenado		
Descrição morfológica	A 0-40cm - Textura franco argiloarenosa (22% de argila); fraca média granular e blocos sub-angulares pequena; macio; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual; raízes abundantes. Bt 40-75cm - Textura argiloarenosa (40% de argila); fraca médio blocos sub-angulares; macio; friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara. Presença de nódulos escuros, possivelmente constituídos de óxido de manganês (STRECK <i>et al.</i> , 2008). 75cm+ Arenito parcialmente decomposto.		
Foto 61. Perfil do Argissolo Amarelo.		Foto 62. Paisagem do Argissolo Amarelo.	
			
<b>Solo</b>	<b>Argissolo Vermelho-Amarelo</b>		
Características gerais	São solos medianamente a profundos (150 cm ou mais), de coloração avermelhada, argilosos, bem drenados e desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas (basalto) (BRASIL, 1973).		
Identificação do perfil	Localização: Perfil descrito a aproximadamente 3 km da cidade de Jari, RS, próximo ao traçado previsto da rodovia Coordenadas: -29,305062° e -54,247897° (Foto 63 e Foto 64) Situação: Topo de coxilha em corte de estrada Relevo: Suave ondulado com declividade de aproximadamente 5% Material de Origem: Basalto Cobertura Vegetal: Culturas anuais (soja) e pastagem nativa Drenagem: Bem drenado		
Descrição morfológica	A 0-40 cm - Textura argilosa (58% de argila); blocos sub-angulares, plástico e ligeiramente pegajoso; poroso; transição gradual e clara. Bt 40-140 cm+ - Textura muito argilosa (66% de argila); blocos sub-angulares; muito duro; firme; plástico; pegajoso.		





Foto 63. Perfil do Argissolo Vermelho-Amarelo.	Foto 64. Paisagem do Argissolo Vermelho-Amarelo.
	

*Latossolos*

Pelo mapeamento do Kämpf *et al.* (2008), existem dois Latossolos na AE (Latossolo Vermelho Distroférico Típico e Latossolo Distrófico Típico). Tendo em vista que a diferença entre ambos está nas características químicas, a descrição das características morfológicas apresentadas em um dos perfis pode ser considerada para os dois tipos de Latossolos identificados, conforme consta no Quadro 43.

Quadro 43. Descrição do perfil de Latossolo identificado a campo.

Solo	Latossolo Vermelho
Características gerais	São solos que apresentam o maior grau de intemperização da AE São profundos e de coloração vermelha escura; bem drenados; friáveis e desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas (basalto). Inclusões de solos charrua (10%) e pequena incidência de solos Ciriaco e Guassupi (BRASIL, 1973) (Foto 65 e Foto 66).
Identificação dos perfis	<p>Perfil 1: Localização: Sobre o traçado previsto da rodovia                      Coordenadas: -29,036069° e -54,283657°                      Situação: Terço superior de coxilha em corte de estrada                      Relevo: Ondulado com declividade de aproximadamente 10%                      Material de Origem: Basalto                      Cobertura Vegetal: Culturas anuais (soja)                      Drenagem: Bem drenado</p> <p>Perfil 2: Localização: Sobre o traçado previsto da rodovia                      Coordenadas: -29,199984° e -54,212403°                      Situação: Terço médio de coxilha em corte de estrada                      Relevo: Ondulado com declividade de aproximadamente 12%                      Material de Origem: Basalto                      Cobertura Vegetal: Culturas anuais (soja)                      Drenagem: Bem drenado</p>
Descrição morfológica	<p>A 0-50 cm - Textura argilosa (58% de argila); moderada pequena e média granular; poroso; ligeiramente duro; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.</p> <p>B 50-150 cm+ - Textura muito argilosa (72% de argila); forte grande blocos sub-angulares com aspecto de maciça porosa pouco coerente; muito duro; firme e friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.</p>



Foto 65. Perfil do Latossolo Vermelho.	Foto 66. Paisagem do Latossolo Vermelho.
	











Neossolos

Pelo mapeamento de Kämpf *et al.* (2008), existem dois tipos de Neossolos na AE (Neossolo Litólico distro-úmbrico fragmentario ou Neossolo Regolítico distro-húmbrico típico e Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico). Foram descritos a campo sete perfis de Neossolos, em diferentes locais da ADA e nas maiores manchas identificadas no mapeamento, bem como inclusões em outras classes de solos, conforme anteriormente destacado. Foram identificadas as características morfológicas, conforme pode ser visualizado no Quadro 44.

Quadro 44. Descrição dos perfis de Neossolos identificados a campo.



Solo	Neossolo
Características gerais	Os Neossolos identificados a campo apresentam as seguintes características gerais: pouco desenvolvidos, rasos, em geral bem drenados e desenvolvidos de basaltos, espessura do horizonte A de até 40 cm, em sua maioria fragmentários (apenas um perfil litólico foi identificado).
Identificação dos perfis	<p>Perfil 1 - Localização (i): Ao lado do traçado previsto da rodovia; Coordenadas (ii): -29,446333° e -54,242123° (Foto 67); Situação (iii): Terço inferior de morro em corte de estrada, distante 4 km da cidade de Toropi; Relevo (iv): Fortemente ondulado (20 a 45%); Material de Origem (v): Basalto; Cobertura Vegetal (vi): Pastagem nativa (potreiro); Drenagem (vii): Bem drenado</p> <p>Perfil 2 - (i): Ao lado do traçado previsto da rodovia; (ii): -29,437179° e -54,253492° (Foto 68); (iii): Terço inferior de morro em corte de estrada, distante 6 km da cidade de Toropi; (iv): Fortemente ondulado (20 a 45%); (v): Basalto; (vi): Mata nativa; (vii): Bem drenado</p> <p>Perfil 3 - (i): Ao lado do traçado previsto da rodovia; (ii): -29,437179° e -54,253805° (Foto 69 e Foto 70); (iii): Terço médio de morro em corte de estrada, distante 6,2 km da cidade de Toropi; (iv): Fortemente ondulado (20 a 45% de declividade) a montanhoso (&gt;45% de declividade); (v): Basalto; (vi): Mata nativa; (vii): Bem drenado</p> <p>Perfil 4 - (i) Próximo ao traçado previsto da rodovia; (ii): -29,378429° e -54,23896° (Foto 71 e Foto 72); (iii): Terço médio de coxilha, dentro da mancha de Argissolo Vermelho-Amarelo, em corte de estrada, após a cidade de Toropi, indo em direção a Jari; (iv): Ondulado; (v): Basalto; (vi): Pastagem nativa; (vii): Bem drenado</p> <p>Perfil 5 - (i): Próximo ao traçado previsto da rodovia; (ii): -29,219347° e -54,261460° (Foto 73 e Foto 74); (iii): Terço médio de coxilha, dentro da mancha de Argissolo Vermelho-Amarelo, após Jari, em direção a Espinilho Grande, em corte de estrada; (iv): Ondulado; (v) Basalto; (vi): Culturas anuais (soja); (vii): Imperfeitamente drenado</p> <p>Perfil 6 - (i): Sobre o traçado previsto da rodovia; (ii): -28,323545° e -54,313691° (Foto 75 e Foto 76); (iii): Terço inferior de encosta, dentro da mancha de Nitossolo, em corte de estrada, próximo ao ponto de coleta de água no rio Ijuí; (iv): Ondulado; (v): Basalto; (vi): Culturas anuais diversificadas e pastagem nativa (potreiro); (vii): bem drenado</p> <p>Perfil 7 - (i): Sobre o traçado previsto da rodovia; (ii): -29,090246° e -54,292934° (Foto 77 e Foto 78); (iii): Próximo ao rio Jaguari, dentro da mancha do Argissolo Vermelho-Amarelo, próximo ao ponto de coleta de água neste rio; (iv): Ondulado; (v): Basalto; (vi): Culturas anuais diversificadas e pastagem nativa (potreiro); (vii): Bem drenado. (viii) Este perfil é de Neossolo Litólico</p>
Descrição morfológica (perfil 5)	A 0-35 cm - Textura franco argilosa (30% de argila); moderada pequena média granular; poroso; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; clara e plana. C 35-80 cm+ - Basalto intemperizado
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Foto 67. Perfil 1 de Neossolos.</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Foto 68. Perfil 2 de Neossolo.</p>  </div> </div>	



Solo	Neossolo	
<p data-bbox="347 203 603 232">Foto 69. Perfil 3 de Neossolo.</p> 	<p data-bbox="943 203 1289 232">Foto 70. Paisagem perfil 3 de Neossolo.</p> 	
<p data-bbox="347 645 603 674">Foto 71. Perfil 4 de Neossolo.</p> 	<p data-bbox="943 645 1289 674">Foto 72. Paisagem perfil 4 de Neossolo.</p> 	
<p data-bbox="347 1086 603 1115">Foto 73. Perfil 5 de Neossolo.</p> 	<p data-bbox="943 1086 1289 1115">Foto 74. Paisagem perfil 5 de Neossolo.</p> 	
<p data-bbox="347 1527 603 1556">Foto 75. Perfil 6 de Neossolo.</p> 	<p data-bbox="943 1527 1289 1556">Foto 76. Paisagem perfil 6 de Neossolo.</p> 	







Solo	Neossolo
Foto 77. Perfil 7 de Neossolo litólico.	Foto 78. Paisagem perfil 7 de Neossolo litólico.
	

*Nitossolo*

Pelo mapeamento do Kämpf *et al.* (2008), existe um tipo de Nitossolo na AE (Nitossolo Vermelho eutroférico típico), o qual foi descrito a campo considerando as características morfológicas (Quadro 45).

Quadro 45. Descrição do perfil de Nitossolo identificado a campo.



Solo	Nitossolo Vermelho
Características gerais	São solos profundos que apresentam no perfil uma sequência de horizontes A-B-C, onde o horizonte B é do tipo nítrico. São muito similares aos Latossolos, pois também apresentam pouco incremento de argila com a profundidade e uma transição difusa entre horizontes sendo difícil a distinção entre os mesmos. O que os distingue dos Latossolos é a presença de um horizonte B com uma estrutura mais desenvolvida (na forma de blocos angulares e subangulares) com revestimento reluzente (cerosidade), característica do horizonte B nítrico (STRECK <i>et al.</i> , 2008).
Identificação do perfil	Localização: Perfil descrito próximo do traçado previsto para a rodovia distante aproximadamente 3,5 km da cidade de Santo Ângelo, dentro da mancha de Nitossolo Vermelho eutroférico típico do mapeamento do RADAMBRASIL (IBGE, 2006) Coordenadas: -28,309344° e -54,315407° (Foto 79 e Foto 80) Situação: Terço inferior de pendente longa (mais de 100m) Relevo: Ondulado com declividade aproximada de 10% Material de Origem: Basalto Cobertura Vegetal: Culturas anuais (soja) Drenagem: Bem drenado
Descrição morfológica	A 0-25 cm - Textura muito argilosa (62% de argila); blocos sub-angulares, médios; forte; pegajosa e ligeiramente plástica; transição gradual. B 25-60 cm+ - Textura muito argilosa (74% de argila); blocos sub-angulares; médios; forte; cerosidade moderada e comum; pegajoso e ligeiramente plástica; transição gradual.
Foto 79. Perfil do Nitossolo Vermelho.	Foto 80. Paisagem do Nitossolo Vermelho.
	



### Cambissolo

Pelo mapeamento de Kämpf *et al.* (2008), existe um Cambissolo na AE (Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico). O perfil descrito considerando as características morfológicas consta no Quadro 46.

Quadro 46. Descrição do perfil de Cambissolo identificado a campo.

Solo	Cambissolo		
Características gerais	São solos rasos a profundos apresentando no perfil uma sequência de horizontes A-Bi-C ou O-A-Bi-C, sendo o horizonte Bi do tipo incipiente. As condições de drenagem vão de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo da posição que ocupam na paisagem. A presença de fragmentos de rocha é comum no perfil o que indica o baixo grau de intemperização do material de origem (STRECK <i>et al.</i> , 2008).		
Identificação do perfil	Localização: Perfil localizado próximo à ADA Coordenadas: -29,539134° e -54,139613° (Foto 81 e Foto 82) Situação: terço médio de morro em corte de estrada Relevo: Ondulado a fortemente ondulado Material de Origem: Arenito Cobertura Vegetal: mata nativa mesclada com eucalipto Drenagem: Bem drenado		
Descrição morfológica	A 0-45 cm - Textura areia franca (8% de argila); granular, moderada; muito friável; transição difusa. Bi 45-105 cm - Textura franco-arenosa (10% de argila); blocos sub-angulares pequenos, moderada; pegajoso, muito friável, ligeiramente duro; transição difusa. C 105 cm + - Material intemperizado.		
<p>Foto 81. Perfil do Cambissolo.</p> 		<p>Foto 82. Paisagem do Cambissolo.</p> 	

### Planossolo

Pelo mapeamento de Kämpf *et al.* (2008), existe um Planossolo na AE (Planossolo Háplico eutrófico arênico). Foi identificado a campo um perfil o qual foi descrito considerando as características morfológicas, conforme o Quadro 47.

Quadro 47. Descrição do perfil de Planossolo identificado a campo.

Solo	Planossolo Háplico
Características gerais	Ocorrem em relevos planos nas várzeas dos rios. São mal a imperfeitamente drenados, influenciados pela presença de água, ocasionando processos de redução, com o perfil apresentando cores cinzentas, características de gleização. Pode apresentar mosqueados de várias tonalidades no horizonte indicando a flutuação do lençol freático (REINERT <i>et al.</i> , 2007). Os Planossolos da AE são utilizados em larga escala com a cultura do arroz irrigado.
Identificação do perfil	Localização: Perfil descrito próximo do traçado previsto para a rodovia, distante aproximadamente 13 km da cidade de Santa Maria, dentro da mancha de Planossolo Háplico eutrófico arênico do mapeamento do RADAMBRASIL (IBGE, 2006) Coordenadas: -29,822158° e -53,890820° (Foto 83 e Foto 84) Situação: Corte de estrada na várzea Relevo: Plano Material de Origem: Sedimentos Cobertura Vegetal: Arroz irrigado Drenagem: Imperfeitamente drenado
Descrição morfológica	A 0-70 cm - Textura franco arenosa (14% de argila); fraca média granular e fraca média blocos sub-angulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara; raízes abundantes. E 70-85 cm - Textura franco arenosa (10% de argila); sem estrutura, grãos simples e fraca pequena granular; poroso com alguns poros grandes; solto, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e plana; raízes poucas. Btg 85-115 cm - Textura franco argilosa (38% de argila); mosqueado grande abundante e proeminente, e mosqueado grande comum e distinto; forte grande blocos sub-angulares; pouco poroso; extremamente duro; muito firme; muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana. C 115-160 cm+ - Estrutura forte média e grande prismática; pouco poroso; firme, muito plástico e muito pegajoso; raízes ausentes.



#### Outros solos

Nos levantamentos de campo, foi identificada uma mancha de Neossolo Quartzarênico hidromórfico. Mesmo sendo uma mancha pequena (com uma extensão de aproximadamente 300 m), pelo fato de estar localizada praticamente sobre o traçado proposto da futura rodovia, julga-se importante destacá-lo, pois o caráter hidromórfico com lençol freático praticamente na superfície exige atenção especial quanto ao sistema de drenagem. A área a montante do local do perfil (Foto 85) apresenta degraus com indícios de deslocamento de camadas solifluxão/colapsamento. O horizonte A apresentou textura franco-arenosa (12% de argila).

Foto 85. Perfil e paisagem do Neossolo Quartzarênico hidromórfico. Coord.: -29,548314° e -54,117261°.



#### 5.1.3.2 Geotecnia

O atual estudo possui como objetivo a análise descritiva e espacializada das características geotécnicas da AE, a qual inclui a caracterização das litologias, dos solos e declividades predominantes, além da apresentação de áreas potencialmente instáveis e suscetíveis a movimentos de massa. Também faz parte deste estudo a avaliação das áreas onde estão previstas construções das obras de arte especiais (OAEs), abordando a sua potencialidade frente a deflagração de instabilidades geotécnicas e movimentos de massa.

##### 5.1.3.2.1 Mapeamento das Áreas com Potencialidade para Desenvolvimento de Movimentos de Massa

Os movimentos de massa podem ser caracterizados como o movimento descendente de variados volumes de solo e/ou rocha que se deslocam a partir da ação da gravidade. Esses movimentos são o reflexo de desequilíbrio de fatores ambientais, como grande quantidade de pluviosidade, vibrações ou a abertura de cortes para a construção de rodovias. De acordo com a sua magnitude e localização, esses eventos podem causar grandes prejuízos econômicos e sociais e, por isso, devem ser realizados estudos que identifiquem áreas suscetíveis a eles e a realização de ações que permitam mitigar o problema.



Os movimentos de massa são classificados de acordo com o tipo de material (solo/rocha) e de acordo com a sua velocidade. Os tipos de movimentos de massa existentes e suas características são brevemente descritos no Quadro 48.

Quadro 48. Principais características dos movimentos de massa.

Movimentos de massa	Características
Rastejo	Velocidades muito baixas (cm/ano) Movimentos constantes Geometria indefinida Caráter plástico Podem causar problemas nas fundações de pilares de pontes e viadutos
Escorregamentos	Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Variado volume de material (pequenos a grandes) Variam de acordo com a geometria, podendo ser planares, circulares ou em cunha
Quedas	Velocidades muito altas (vários m/s) Não possuem planos de deslocamento Pequenos a médios volumes Podem ser caracterizados como rolamento de matacões, tombamentos de blocos, queda de blocos e deslocamento
Corridas	Velocidades médias a altas Muitas superfícies de deslocamento Movimentação conjunta de rocha, solo, detritos e água. Grandes volumes de material

Fonte: OLIVEIRA e BRITO (1998).

### Metodologia

Diante da importância de investigação e caracterização geotécnica da área da implantação da rodovia, optou-se por executar uma modelagem para identificação de locais com potencialidade para o desenvolvimento de movimentos de massa, realizada por meio da metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Para a execução deste mapeamento, primeiramente foram definidos os planos de informação (PIs) inerentes ao tema, sendo cada um deles considerado uma variável geoambiental. Com essas informações, cada variável foi analisada e caracterizada de acordo com o grau de suscetibilidade que ela oferece frente a deflagração de instabilidades geotécnicas. Por fim, esses dados foram modelados, utilizando o método AHP, e como resultado obteve-se um mapa de risco geotécnico para movimentos de massa. Essas etapas e os resultados serão detalhados nos itens a seguir.

#### *Definição dos planos de informação e bases cartográficas*

Para a elaboração do mapeamento de áreas de risco geotécnico, primeiramente definiu-se os PIs de relevante importância para a deflagração de processos de instabilidade geotécnica. De acordo com a grande abrangência da AE, e a complexidade das variáveis físicas que podem desencadear processos de instabilidade em encostas e taludes, a equipe técnica definiu como fundamentais para execução do estudo a integração de sete PIs, sendo eles: geologia, geomorfologia, declividade, solos, uso e ocupação atual do solo, lineamento geológicos-estruturais e rede de drenagem superficial que cruza ou margeia a rodovia.

Com a definição dos PIs (ou variáveis geoambientais) necessários para o estudo, que consistem em bases cartográficas contendo esses temas, foi realizada busca por estas informações em fontes confiáveis, tais como universidades, órgãos e instituições públicas e privadas. Detalhes sobre os planos de informações/variáveis geoambientais estão dispostas no Quadro 49.

As variáveis declividade e uso e ocupação do solo são informações elaboradas para o presente estudo a partir de dados secundários e/ou primários, com o intuito de caracterizar a AE do Meio Físico. Já os lineamentos geológicos-estruturais e a rede de drenagem superficial são informações derivadas, ou seja, informações que foram tratadas de acordo com o objetivo específico de compor as variáveis geoambientais necessárias para o estudo da geotecnia. As variáveis derivadas e as que foram elaboradas são abordadas detalhadamente a seguir.



Quadro 49. Variáveis utilizadas para determinação das áreas de risco geotécnico.

Plano de informação (PI)	Tipo de informação	Fonte
Geologia	Base	Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000 (WILDNER <i>et al.</i> 2007).
Geomorfologia	Base	Levantamento de recursos naturais, escala 1:1.000.000 (IBGE, 1986).
Declividade	Elaborada	Declividade, escala 1:40.000, obtida a partir do MDE do Alos Palsar I (14/06/2011), com resolução de 12,5m e classes a partir de EMBRAPA (1979).
Solos	Base	Mapa de Solos do RS, escala de 1:750.000 (KÄMPF <i>et al.</i> 2008).
Uso e Ocupação Atual do Solo	Elaborada	Mapeamento, escala 1:35.000.
Lineamento Geológicos-Estruturais	Base e derivada	Adaptado de Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000 (WILDNER <i>et al.</i> 2007).
Rede de Drenagem Superficial	Base e derivada	Cartografia oficial do Estado do RS, escala 1:25.000 (SEMA, 2020).

- Declividade

O mapeamento das classes de declividade foi realizado a partir do MDE do Alos Palsar I, com resolução espacial de 12,5 m, disponibilizadas pela Agência Espacial Japonesa (JAXA, 2020). As classes de declividade foram determinadas a partir da metodologia proposta pela EMBRAPA (1979), conforme classificação desenvolvida pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. O mapeamento e determinação das classes de declividade estão detalhadas no item 5.1.2.2 deste Diagnóstico.

- Uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo da AE do Meio Físico foi realizado a partir da classificação digital de imagens do satélite Sentinel 2A, obtidas na plataforma do *Google Earth Engine*. Essas imagens foram então processadas através de *software Geographic Resources Analysis Support System (GRASS-GIS)*, (ESA, 2020). Após a aquisição e processamento das imagens realizou-se a obtenção das amostras de validação, as quais foram obtidas em trabalho de campo ocorrido entre os dias 16 a 28 de fevereiro de 2020 e mostraram que os resultados da classificação foram altamente satisfatórios (> 90% de acurácia global). O detalhamento técnico dos procedimentos realizados para processamento das imagens, classificação e obtenção das classes de uso e cobertura do solo, pode ser visualizado no item 5.3.8 do Diagnóstico Socioeconômico.

- Lineamentos geológicos estruturais

A caracterização dos principais lineamentos geológico-estruturais que ocorrem na AE do Meio Físico foi efetuada a partir da interpretação visual de imagens de satélite. Além disso, também foram utilizados os lineamentos que constam no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul elaborado por Wildner *et al.* (2007).

Com o objetivo de relacionar os lineamentos com a possível condição estrutural do maciço rochoso, caracterizou-se a AE do Meio Físico de acordo com a densidade dessas estruturas, onde foi avaliada a proximidade ou cruzamento entre os lineamentos identificados. Para essa classificação, utilizou-se do conceito de distância euclidiana, a qual determina a distância exata entre os lineamentos (em metros). Os resultados foram categorizados em cinco níveis de influência conforme a distância entre os lineamentos, a saber: muito alto (0 a 50m), alto (50 a 100m), médio (100 a 150m), baixo (150 a 200m) e muito baixo (maior que 200m). A densidade de lineamentos representa em escala macro a condição estrutural e tectônica que atuou sobre os diferentes tipos litológicos.

- Rede de Drenagem Superficial

Para a análise da rede de drenagem superficial da AE do Meio Físico, utilizou-se a malha hidrográfica oriunda da base cartográfica vetorial oficial do RS, na escala 1:25.000 disponibilizada por SEMA (2020).

Com o objetivo de relacionar a rede de drenagem superficial com as características físicas do local (topografia, litologia, pedologia e cobertura vegetal), caracterizou-se a AE de acordo com a densidade das drenagens, onde foi avaliada a proximidade ou cruzamento entre elas através da distância euclidiana. Os resultados foram categorizados em cinco níveis de influência conforme a distância entre as linhas de drenagem, sendo eles: muito alto (0 a 10 m), alto (10 a 20 m), médio (20 a 30 m), baixo (30 a 100 m) e muito baixo (maior que 100 m).



*Determinação do grau de suscetibilidade dos planos de informação e integração dos dados via aplicação da técnica de AHP*

Conforme anteriormente mencionado, cada PI selecionado para caracterização da área é constituído por diversas classes, as quais foram analisadas de acordo com o grau de suscetibilidade que oferecem frente a deflagração de instabilidades geotécnicas. As classes foram definidas com base na metodologia de Sampaio e Robaina (2019), onde foram atribuídos valores entre 1 e 10, sendo que, as classes com valor 1 são as que possuem menor suscetibilidade para desenvolvimento de movimentos de massa, já as classes com valor 10 são as possuem maior suscetibilidade a movimentos de massa.

Com as classes das variáveis já avaliadas de acordo com o grau de suscetibilidade geotécnica, iniciou-se o procedimento para integração dos dados e geração das áreas de risco geotécnico para movimentos de massa. As variáveis geoambientais selecionadas foram integradas pelo método AHP, que possui uma base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre os critérios e medir a consistência dos julgamentos, sendo uma das ferramentas de múltiplos critérios de decisão mais utilizada.

Para a integração dos PIs, as variáveis foram comparadas entre si, com a finalidade de estabelecer uma escala de importância mútua. A fase de escolha dos valores a partir da escala de ponderadores é o momento mais importante de todo o processo de construção do mapa de risco geotécnico, pois é neste instante que é definido o grau importância que cada variável geoambiental exerce sobre a outra. Portanto, a atribuição dos valores de ponderação foi realizada de forma multidisciplinar entre os membros da equipe técnica, com base no conhecimento adquirido a partir de consultas bibliográficas, experiências individuais e debates entre os membros da equipe.

A ponderação das variáveis selecionadas deriva da realidade do local, considerada a matriz de comparação pareada ou matriz de decisão, que utiliza a escala fundamental de Saaty (1977), conforme pode ser visualizado no Quadro 50.

Quadro 50. Exemplo de valores e suas respectivas escalas mútuas.

Valores	Escala de Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: SAATY (1977).

A definição dos pesos na escala de Saaty (1977) reflete as respostas de duas perguntas: "1) qual dos dois elementos é mais importante?" e, "2) com base na escala de 1-9, que intensidade um critério é mais importante que outro?".

A matriz de comparação pareada dos julgamentos de importância entre os PIs podem ser observados no Quadro 51.

Quadro 51. Matriz de comparação pareada dos PIs.

Fatores	Geologia	Geomorfologia	Declividade	Solos	Uso e Ocupação do Solo	Distância Entre Lineamentos	Densidade de Drenagem
Geologia	1	3/1	8/1	1/2	3/1	1/3	5/1
Geomorfologia	1/3	1	3/1	1/5	1/5	1/3	4/1
Declividade	1/8	1/3	1	1/7	1/2	1/9	8/1
Solos	2/1	5/1	7/1	1	5/1	1/2	6/1
Uso e Ocupação do Solo	1/9	0,5	2/1	0,2	1	1/8	3/1
Densidade Entre Lineamentos	3/1	3/1	9/1	2/1	8/1	1	9/1
Densidade de Drenagem	1/4	1/5	1/8	1/6	1/3	1/9	1



Os pesos finais para cada variável geotécnica são adquiridos através da divisão de cada elemento pelo somatório dos elementos da coluna a que ele pertence e, ao final, é realizado a média aritmética entre as colunas.

Os valores de peso obtidos para cada variável são multiplicados com o valor determinado pela classe e somados a cada tema em uma média ponderada. Esta operação entre matrizes é realizada na ferramenta *Weighted Overlay* do software de geoprocessamento. O resultado obtido é um arquivo *raster*, o qual contém os valores da área para o risco de desenvolvimento de instabilidade geotécnica. Estes valores foram então classificados em cinco classes de risco geotécnico, que são detalhadas no Quadro 52.

Quadro 52. Classes de risco e suas características.

Classes de risco geotécnico	Características
Muito baixa	Sem risco.
Baixa	Áreas planas ou com relevo suave, indicando baixa ou muito baixa probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, não oferecendo perigo ao uso e ocupação do solo. Geralmente apresentam pouquíssimas restrições com relação a realização de corte ou aterro, ou mesmo fundações. Os problemas originados nesses locais provêm de cortes mal dimensionados ou barramentos excessivos, resultando em erosão ou aumento inadequado da declividade do terreno.
Média	São áreas onde as condições do terreno já indicam um grau mediano para a ocorrência de movimentos de massa. Ainda que não se tenha registro de ocorrência desde tipo de fenômeno, a utilização destas áreas pelo homem deve considerar soluções técnicas e medidas de proteção para evitar o reduzir possíveis riscos.
Alta	Nestas áreas as condições naturais do terreno já são altamente condicionantes à ocorrência de deslizamento, apresentando restrições para a ocupação ou realização de quaisquer atividades humanas no solo. Em geral são terrenos que possuem alta instabilidade, tendo a necessidade de projetos técnicos e estudos detalhados, envolvendo obras de engenharia de grande porte e custos elevados. Normalmente contemplam a convivência com algum nível de risco e a adoção de planos de prevenção e reparação de acidentes.
Muito alta	Em geral são áreas impróprias para atividades humanas, onde os terrenos de forma natural são extremamente favoráveis à ocorrência de movimentos de massa. Normalmente possuem altíssima declividade, onde nem grandes obras de engenharia garantem a eliminação dos riscos, sendo que a utilização destas áreas só é justificada quando se tem a necessidade de implantação de obras de transposição tais como rodovias, linhas de transmissão, entre outros, e tem-se a necessidade da implantação de medidas de prevenção e mitigação contra riscos e acidentes.

Fonte: SANTOS (2007).

## Resultados

### *Graus de Suscetibilidade Geotécnica atribuídos às classes dos planos de informação*

- Geologia

As diferentes classes geológicas, representadas pelas unidades litológicas, foram analisadas e a atribuição dos valores de suscetibilidade geotécnica foi considerada conforme as características de cada tipo de litologia (Quadro 53). As unidades geológicas sedimentares receberam uma escala de suscetibilidade geotécnica com valores altos, devido as suas características friáveis e suscetibilidade a movimentos de massa. É importante destacar que, apesar dos depósitos aluviais serem compostos por sedimentos inconsolidados com potencial para deflagração de movimentos de massa, foi atribuído um valor 4 na escala de suscetibilidade, visto que os locais em que esses sedimentos se encontram na AE do Meio Físico são caracterizados pelas baixas declividades, ocorrendo em cabeceiras de rios e planícies de inundação ao longo dos vales.



Quadro 53. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para a variável geologia.

Província	Unidade litológica	Sigla	Litologia	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de abrangência (%) na AE	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
		Q4a, Depósitos aluviais	Areia, cascalho, silte, argila, localmente turfa	516,35	8,87	4
Bacia do Paraná	São Bento	K1_α_cx, Serra Geral, Fácies Caxias	Riodacito	279,90	4,81	4
		K1_β_pr, Serra Geral, Fácies Paranapanema	Basalto, Andesito	256,15	4,40	4
		K1_β_gr, Serra Geral, Fácies Gramado	Basalto	3286,60	56,43	5
		J3K1bt, Botucatu	Arenito	209,50	3,60	6
	Rosário do Sul	T3c, Caturrita	Arenito, conglomerado, siltito arenoso/argiloso e folhelho	87,78	1,51	8
		T23sm, Santa Maria	Arenito e arenito conglomerático e pelito; e siltito argiloso maciço,	375,50	6,45	8
		T1sc, Sanga do Cabral	Subarcóseo e arcóseo, brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito	588,63	10,11	8
	Passa Dois	P3T1p, Pirambóia	Arenito médio a fino	25,99	0,45	6
		P3T1rr, Rio do Rastro	Pelito, arenito, siltito, arenito fino	45,70	0,79	7
		P23en, Subgrupo Estrada Nova	Folhelho, arenito siltito/argilito	88,45	1,52	8
	Grupo Guatá	P1p, Palermo	Siltito, siltito arenoso, arenito fino a muito fino e folhelho, lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos	17,27	0,30	7
		P1rb, Rio Bonito	Siltito, siltito carbonoso folhelho carbonoso e quartzarenito, diamictito com matriz carbonosa e marga	30,23	0,52	7
Mantiqueira	Suíte Intrusiva Saibro	NP3yss, Granito São Sepé	Sienogranito, com cavidades miarolíticas	7,43	0,12	3

Fonte: elaborado a partir de WILDNER et al. (2007).

- Geomorfologia

As diferentes classes, representadas pelas unidades geomorfológicas foram analisadas e a atribuição dos valores de suscetibilidade foi considerada conforme as suas características (Quadro 54). Unidades geomorfológicas caracterizadas por baixas declividades, sem grandes quebras de relevo, apresentam baixa suscetibilidade para a deflagração de movimentos de massa e recebem baixos valores para a escala.

Quadro 54. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para o plano de informação referente à geomorfologia.

Domínios	Regiões	Unidades Geomorfológicas	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de abrangência (%) na AE	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
I. Depósitos Sedimentares	Planície Continental	Planície Alúvio-coluvionar	431,37	7,40	4
II. Bacias e Coberturas Sedimentares	Depressão Central Gaúcha	Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro	459,67	8	8
		Depressão Rio Jacuí	1026,50	17,65	8
	Planalto das Missões	Planalto de Santo Ângelo	2113,76	36,30	8
	Planalto da Campanha	Planalto de Uruguaiana (Nível Baixo)	331,65	5,70	4
	Planalto das Araucárias	Serra Geral	269,16	4,6	5
		Planalto dos Campos Gerais	983,70	17	5
		Planalto Dissecado Rio Iguaçu-Rio Uruguai	194,1	3,35	5

Fonte: elaborado a partir de IBGE (1986).





- Declividade

As diferentes classes de declividades foram analisadas e a atribuição dos valores de suscetibilidade foi considerada conforme as suas características. As classes com relevo mais acentuado receberam valores mais elevados por estarem associadas a áreas com maior risco para movimentos de massa. Já as áreas mais planas estão associadas com menor risco geotécnico. No Quadro 55 constam as classes de declividade que ocorrem conforme classes de relevo da AE do Meio Físico.

Quadro 55. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para a variável declividade.

Classe de relevo	Declividade	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de Abrangência (%) na AE	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
Plano	0 - 3 %	897,49	15,40	1
Suavemente Ondulado	3 - 8 %	2.660,85	45,68	3
Ondulado	8 - 20 %	1.915,56	32,88	5
Fortemente Ondulado	20 - 45 %	302,61	5,19	7
Montanhoso	45 - 75 %	45,14	0,77	9
Escarpado	> 75 %	2,63	0,04	10

Fonte: elaborado a partir de Alos Palsar I e EMBRAPA (1979).

- Solos

Para a determinação da escala de suscetibilidade geotécnica para as classes de solo, inerentes as unidades de mapeamento, utilizou-se como subsídio a classificação em relação a sua resistência a impactos ambientais elaborada por Kämpf *et al.* (2008). Esta classificação é importante, pois relaciona as características intrínsecas ao tipo de solo, como textura, gradiente textural e drenagem com as características do ambiente onde ele está inserido, como profundidade, lençol freático, lençol suspenso, risco de inundação, erodibilidade, relevo e declividade. Sendo assim, as classes com maior resistência ao impacto ambiental receberam as notas mais baixas por apresentarem menor suscetibilidade para a ocorrência de movimentos de massa. As informações referentes à classificação de Kämpf *et al.* (2008) podem ser visualizadas no Quadro 40 do item 5.1.3.1. Os solos encontrados na AE do Meio Físico, assim como a escala de suscetibilidade geotécnica atribuída a eles, podem ser visualizados no Quadro 56.

Quadro 56. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para o plano de informação referente à solos.

Classe de solos	Sigla	Classe de Resistência ao Impacto Ambiental	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de Abrangência (%) na AE	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
Latossolo Vermelho distroférico típico	LRd	A	1.984,39	34,14	4
Latossolo Vermelho distrófico típico	LEa	B	208,97	3,60	6
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico	PEa	A	1.179,22	20,29	4
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico úmbrico	PEd	A	35,17	0,61	4
Argissolo Bruno acinzentado alítico abrupto	PBPpa	B	470,35	8,09	6
Argissolo Amarelo alítico típico	PBPpe	C	300,41	5,17	7
Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico	Re	D	768,1	13,22	9
Neossolo Litólico distro-úmbrico fragmentário ou Neossolo Regolítico distro-úmbrico típico	Rd	D	294,92	5,07	9
Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico	Ce	B	49,80	0,86	6
Planossolo Háptico eutrófico arênico	PLe	D	415,90	7,16	9
Nitossolo Vermelho eutrófico típico	TRe	A	105	1,81	4

Fonte: elaborado a partir de Santos *et al.* (2018a).

- Uso e ocupação do solo

O grau de susceptibilidade geotécnica para esta variável geoambiental foi determinado através da influência que as classes de uso e ocupação do solo têm para a deflagração de instabilidades (Quadro 57). A classe caracterizada por conter solo exposto recebeu a nota mais alta, visto que este tipo de terreno possui grande potencial para o desenvolvimento de movimentos de massa.



Quadro 57. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para a variável uso e ocupação do solo.

Uso do solo	Área total (km <sup>2</sup> ) na AE	Percentual de Abrangência (%) na AE	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
Água	42,84	0,74	2
Área úmida	260,00	4,49	4
Campo nativo	1287,34	22,22	4
Cultivo inundado	175,52	3,03	6
Cultivo irrigado	2740,19	47,30	6
Edificação	44,05	0,76	4
Floresta	688,22	11,88	4
Pastagem	315,70	5,45	6
Silvicultura	6,94	0,12	6
Solo exposto	232,26	4,01	8

- Lineamentos geológico geotécnicos

No Quadro 58 constam as classes de distância entre lineamentos geológicos que ocorrem na AE do Meio Físico. As áreas com alta proximidade ou que estão entre o cruzamento de lineamentos receberam valor mais elevado de suscetibilidade, visto que estas estruturas estão associadas a quebras de relevo e as direções preferenciais de fluxo das drenagens superficiais. As áreas mais distantes de lineamentos receberem menor valor de suscetibilidade. Importante citar que o parâmetro de área não está inserido neste item, por se tratar de dados lineares e não poligonais.

Quadro 58. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para a variável lineamentos geológicos.

Distância Entre Lineamentos Geológicos	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
0 - 50m	9
50 - 100m	7
100 - 150m	5
150m - 200m	3
> 200m	1

Fonte: elaborado a partir de WILDNER *et al.* (2007).

- Rede de drenagem superficial

A escala de suscetibilidade geotécnica atribuída para as classes de densidade de drenagem pode ser visualizada no Quadro 59. As áreas com alta densidade de drenagem têm menor permeabilidade, o fluxo de água ocorre preferencialmente em superfície. Estes locais receberam um valor maior de suscetibilidade geotécnica, visto que esta condição é favorável ao desenvolvimento de processos erosivos principalmente em áreas com elevada declividade e pouca cobertura vegetal. Já as áreas com baixa densidade de drenagem estão geralmente associadas a áreas de relevo mais plano e litologias permeáveis, estes locais receberam valor menores de suscetibilidade. Importante citar que o parâmetro de área não está inserido neste item, por se tratar de dados lineares e não poligonais.

Quadro 59. Escala de suscetibilidade geotécnica atribuído para a variável de densidade de drenagem.

Distância entre Drenagens	Escala de Suscetibilidade Geotécnica
0 - 10m	9
10 - 20m	7
20 - 30m	5
30 - 100m	3
> 100m	1

Fonte: elaborado a partir de SEMA (2020).

- Ponderação e integração dos planos de informação

Através da análise sobre ao grau de importância para cada PI, definiu-se a escala de importância mútua entre eles e organizou-se uma matriz de comparação com estes valores. A matriz obtida pode ser visualizada no Quadro 60.



Quadro 60. Matriz de comparação das variáveis utilizadas para determinação das áreas com risco geotécnico.

Fatores	Geologia	Geomorfologia	Declividade	Solos	Uso e Ocupação do Solo	Distância Entre Lineamentos	Densidade de Drenagem
Geologia	1	3	8	0,5	3	0,33	5
Geomorfologia	0,333333	1	3	0,2	2	0,33	4
Declividade	0,125	0,333333	1	0,142857	0,5	0,11	8
Solos	2	5	7	1	5	0,5	6
Uso e Ocupação do Solo	0,333333	0,5	2	0,2	1	0,125	3
Distância Entre Lineamentos	3	3	9	2	8	1	9
Densidade de Drenagem	0,2	0,25	0,125	0,167	0,333	0,111	1

O resultado da ponderação e da matriz de comparação é visualizado através dos valores dos pesos das variáveis (Quadro 61), onde os valores maiores significam maior contribuição da variável para o desenvolvimento de instabilidades.

Quadro 61. Peso Final para os PIs utilizados na metodologia AHP.

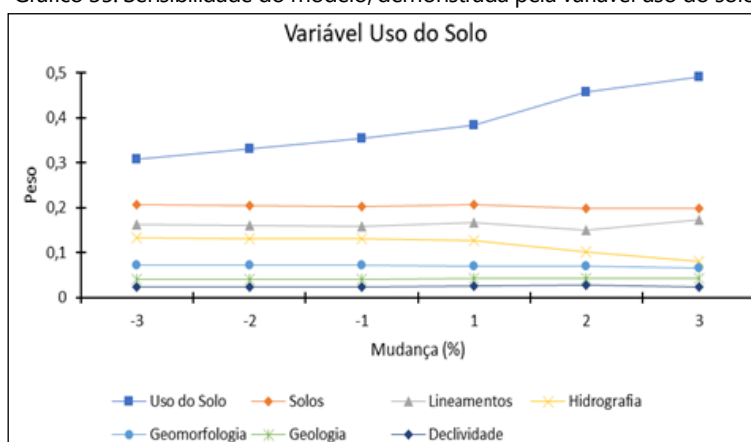
Nº	Plano de informação (PI)	Peso Final (%)
1	Geologia	17,6
2	Geomorfologia	3
3	Declividade	25,4
4	Solos	19
5	Uso e Ocupação Atual do Solo	14
6	Densidade entre Lineamentos	15,5
7	Densidade de Drenagem	5,5

- Análise de sensibilidade do método AHP

Para a análise de sensibilidade do modelo AHP, realizou-se três interações (variando de -3% a 3%) do elemento uso do solo. Esta variável foi escolhida, pois apresentou um peso relativamente baixo na modelagem AHP, 0,14. Com isto, procurou-se verificar com a análise de sensibilidade como seria o comportamento das outras variáveis analisadas no modelo, caso fosse aumentado ou diminuído o peso da variável uso do solo.

Conforme ilustrado no Gráfico 35, o aumento do peso da variável uso do solo, não apresentou grande influência nos pesos das outras variáveis, mostrando que o modelo foi pouco sensível aos pesos avaliados, demonstrando um alto potencial dos valores escolhidos para o mapeamento de risco geotécnico, uma vez que, quanto maior a alteração dos outros pesos, maior é tendência do modelo apresentar erros. A principal alteração ao aumentar o peso da variável uso do solo foi encontrada na variável densidade da rede hidrográfica, sendo, portanto, a variável que apresentou maior sensibilidade no modelo.

Gráfico 35. Sensibilidade do modelo, demonstrada pela variável uso do solo.

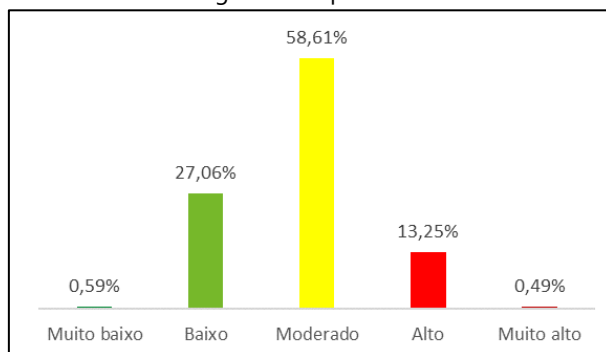




- Análise do mapa de risco geológico

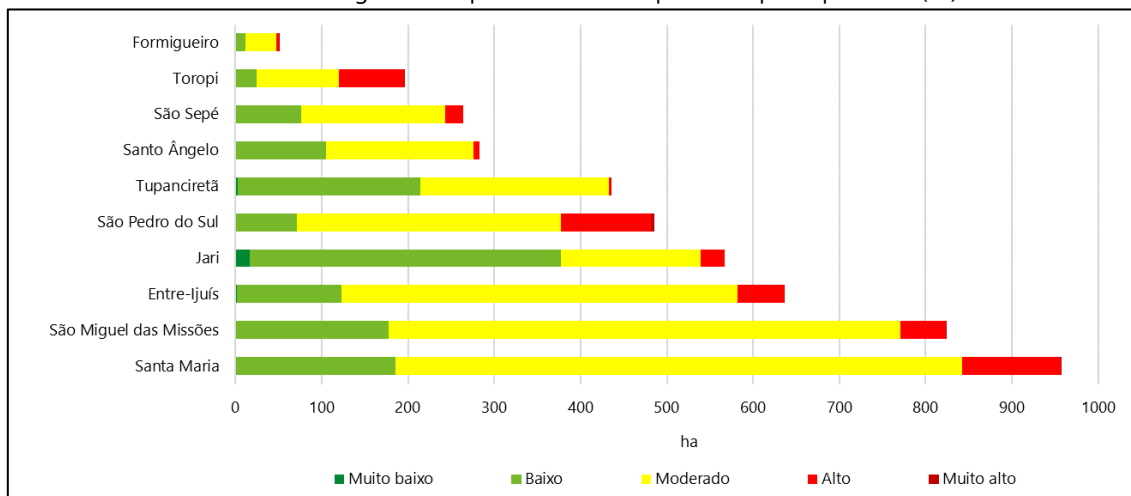
Através dos resultados obtidos, é possível concluir que grande parte da AE está inserida em risco moderado para o desenvolvimento das instabilidades geotécnicas, totalizando 58,6%. O restante da área está incluído em risco baixo (27 %) e risco alto (13,25 %). As classes de risco geotécnico muito baixo e muito alto representam uma fração de apenas 1,1 % da área, com valores de 0,6 e 0,5 % respectivamente. Esses valores estão demonstrados no Gráfico 36.

Gráfico 36. Risco geotécnico para a AE do Meio Físico.



Com o intuito de detalhar as possíveis instabilidades geotécnicas relacionadas com a implantação da rodovia, decidiu-se analisar os dados obtidos a partir da ADA e, para melhor visualização dos dados, optou-se pela discretização de setores de análise conforme os municípios da ADA. No Gráfico 37 são apresentadas as áreas interceptadas pela ADA, por município, classificadas conforme o risco geotécnico.

Gráfico 37. Risco geotécnico por área do município interceptada pela ADA (ha).



É possível notar que os municípios de Santa Maria, São Pedro do Sul e Toropi possuem as maiores percentagens de áreas, interceptadas pela ADA, caracterizadas em classe de risco geotécnico alto. Estes municípios estão localizados no setor sul da rodovia, possuem características em comum em relação ao Meio Físico e compreendem 88 km do traçado preliminar da rodovia.

Os Gráfico 38 a Gráfico 41 demonstram as variáveis que tiveram maior contribuição para este resultado para os municípios de Santa Maria, São Pedro do Sul e Toropi:

- A variável declividade é analisada no Gráfico 38, onde é possível concluir que a grande parcela das áreas destes municípios, interceptadas pela ADA, estão incluídas em declividades que variam entre 3 a 8%. A percentagem de áreas com declividades maiores (8 a 20% e 20 a 45%) aumenta nos municípios de São Pedro do Sul e Toropi, sendo este último o que possui a maior expressão da área (18%) inserida em declividades entre 20 e 45%.



- As unidades litológicas (Gráfico 39) sedimentares são totalidade no município de Santa Maria, enquanto que a unidade vulcânica (Formação Serra Geral - Fácies Gramado) é mais expressiva nos municípios de São Pedro do Sul e Toropi. É importante citar que Toropi, apesar de possuir a maior predominância de sua área composta pela Fácies Gramado, possui 36% de sua área composta pela Formação Botucatu, e, esta característica litológica, somada com as altas declividades características deste município, são um importante indício para o risco de desenvolvimento de movimentos de massa.
- No Gráfico 40 é possível visualizar os tipos de solo, relacionados à resistência a impactos ambientais, que compõem as áreas dos municípios interceptados pela ADA. As classes alta e média resistência predominam no município de Santa Maria (76%) e a classe muito baixa resistência possui maior expressão nos municípios de São Pedro do Sul e Toropi, totalizando 39 e 26%, respectivamente, de suas áreas.
- No Gráfico 41 são abordadas as classes de uso do solo identificadas nestes municípios. É importante destacar que as classes que predominam nestes municípios (cultivo irrigado, campo nativo e pastagem) não possuem alto grau de suscetibilidade para o desenvolvimento de movimentos de massa. A classe solo exposto, a qual possui maior influência para a deflagração de movimentos de massa, não possui expressividade nestes locais, e para melhor visualização do gráfico, foi incluída junto às classes de água, cultivo inundado, edificação e silvicultura.

Gráfico 38. Variável declividade.

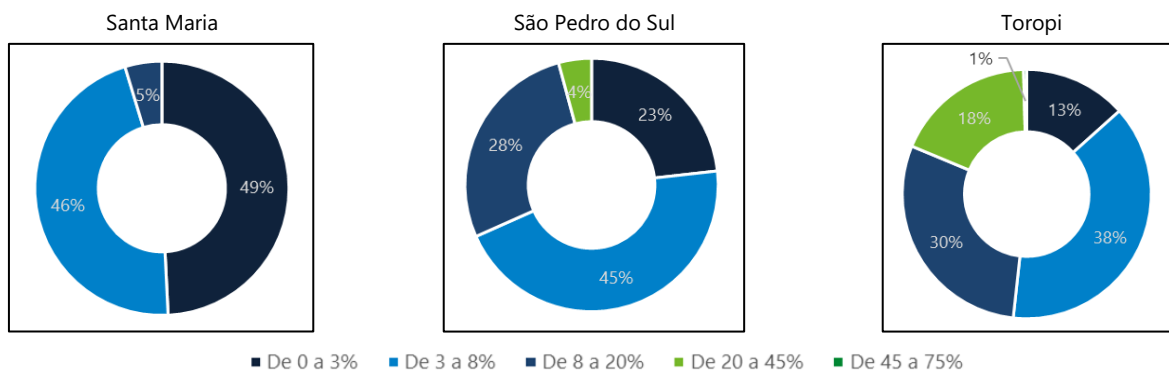


Gráfico 39. Variável unidades litológicas.

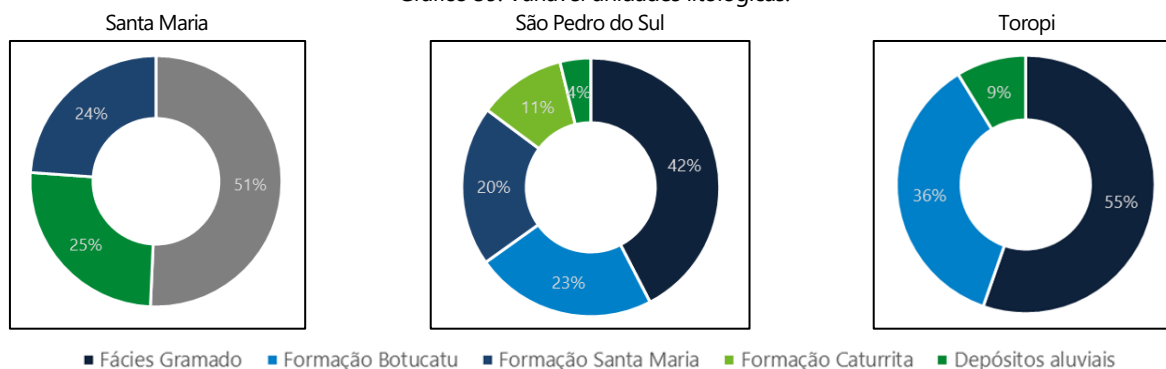


Gráfico 40. Variável solo, em relação resistência a impactos ambientais.

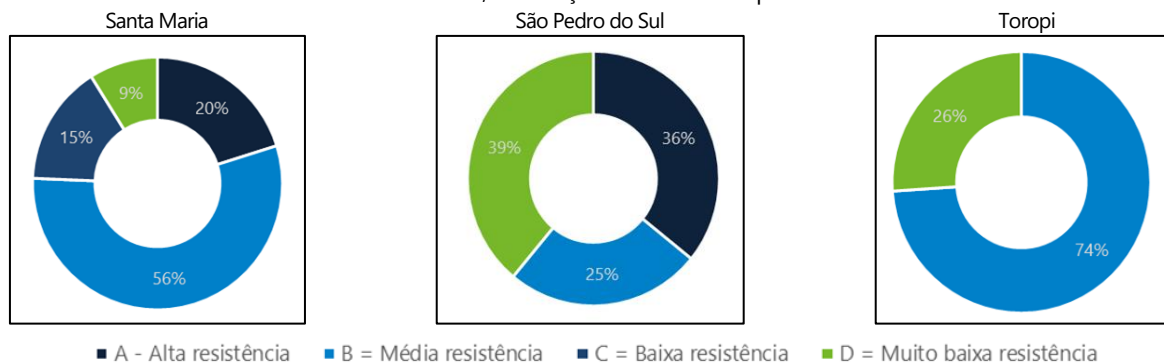
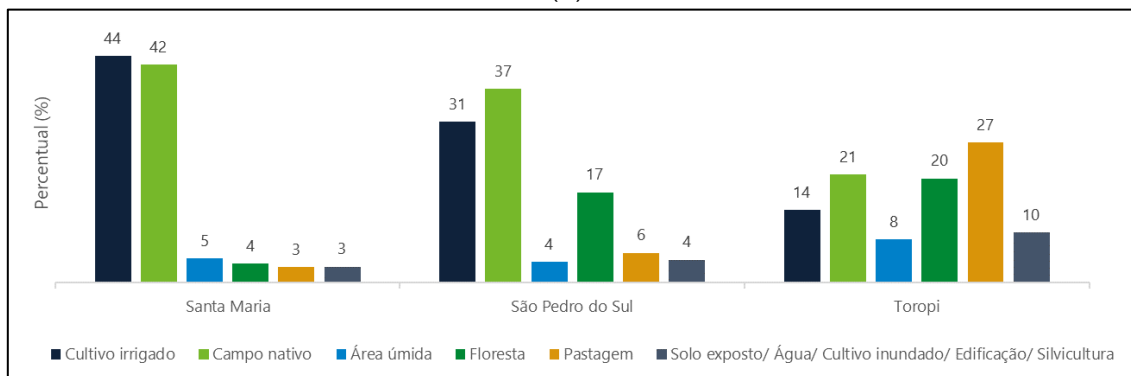




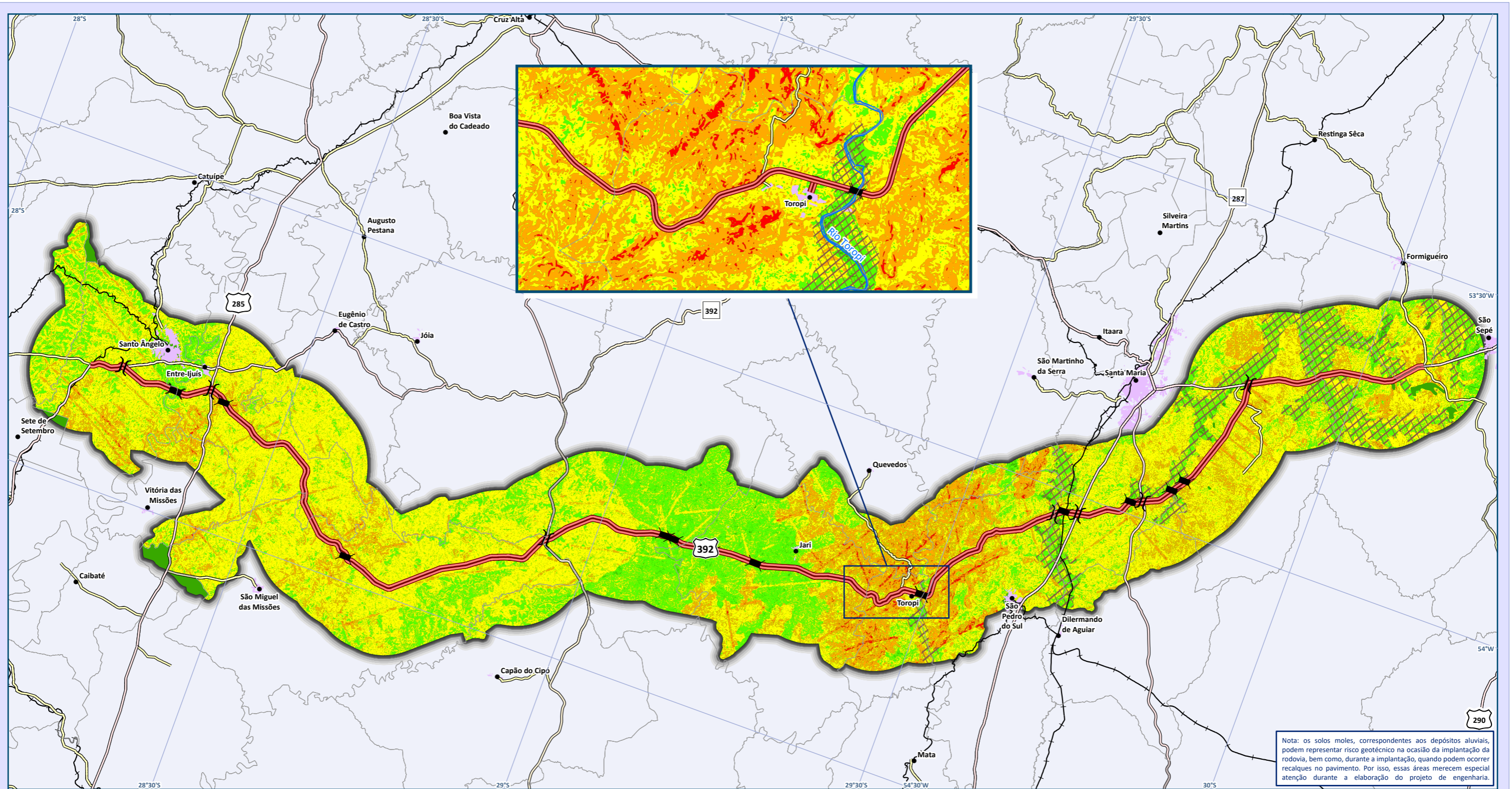
Gráfico 41. Percentual (%) da variável uso do solo.



É possível concluir que esses municípios tiveram maior percentagem de área, interceptada pela ADA, caracterizada como alto risco para instabilidades geotécnicas devido a relação entre as características citadas acima. A associação de maior declividade com a presença expressiva de rochas sedimentares nestes municípios indica que essas áreas são mais suscetíveis a movimentos de massa e por isso, de acordo com a modelagem proposta, foram classificadas como alto risco para instabilidades geotécnicas. Além disso, ocorre grande concentração de lineamentos geológico-estruturais nas áreas destes municípios interceptadas pela ADA.

No Mapa 12 verifica-se o risco geotécnico para instabilidades geotécnicas, adquirido através da implementação da metodologia AHP. Neste mapa também estão demonstradas as áreas que são compostas por depósitos aluviais, caracterizados por sedimentos inconsolidados que ocorrem nas cabeceiras de rios e planícies de inundação ao longo dos vales. Apesar destes depósitos não terem sido considerados com alto grau de suscetibilidade para o desenvolvimento de movimentos de massa, eles podem representar risco geotécnico na ocasião da implantação da rodovia, bem como durante a operação, quando podem ocorrer recalques no pavimento. Por isso, essas áreas merecem especial atenção durante a elaboração do projeto de engenharia.

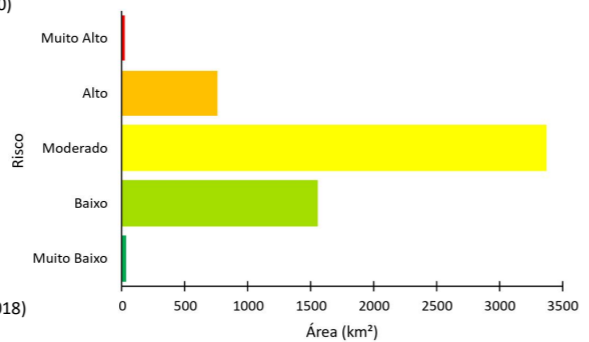
É importante citar que as áreas caracterizadas como de alto risco para instabilidades geotécnicas devem ser, posteriormente, estudadas com mais detalhe, diante de sua maior suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa.



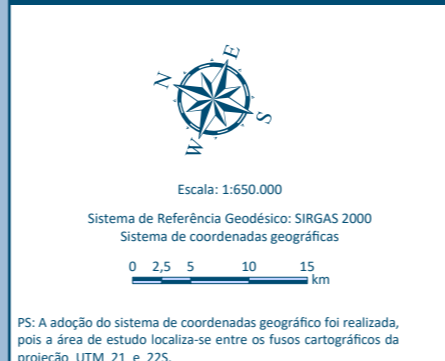
## Mapa de Risco Geotécnico para Estabilidade de Encostas

### Legenda e fonte dos dados

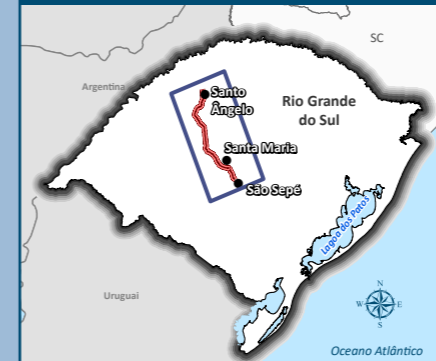
- Sede municipal, IBGE (2015)
- ▭ Mancha urbana, STE (2020)
- ▭ Obras de arte, STE (2012)
- ▭ Pontes
- ▭ Viadutos
- ▭ Traçado da rodovia, EVTEA (2012)
- ▭ Sistema viário, DAER (2019)
- ▭ Rodovias estaduais
- ▭ Rodovias estaduais coincidentes
- ▭ Rodovias federais
- ▭ Ferrovias
- ▭ Solos moles
- ▭ Risco geotécnico, STE (2020)
- ▭ AE Meio físico, STE (2020)
- ▭ Limite municipal, IBGE (2018)



### Dados cartográficos



### Localização



## Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS





### Obras de arte especiais

As OAEs, tais como pontes e viadutos, serão consolidadas após a elaboração do Projeto Básico/Executivo, todavia, a previsão em estudo de traçado preliminar (EVTEA) (STE, 2012) de algumas estruturas reflete a necessidade de atenção ao risco geotécnico das áreas onde estão inseridas. A relação das OAEs, suas localizações e respectivos riscos geotécnicos podem ser observados no Quadro 62 e Mapa 12.

Quadro 62. Risco geotécnico relacionado a movimentos de massa associado as OAEs.

Nº	Tipo de obra	Município	Latitude	Longitude	Grau de risco geotécnico atribuído no local da obra
1	Viaduto	Santa Maria	-29,8449554°	-53,7544424°	Moderado
2	Ponte	Santa Maria	-29,8068287°	-53,9245518°	Baixo
3	Viaduto	Santa Maria	-29,7558414°	-53,9752148°	Moderado
4	Ponte	Santa Maria	-29,7934058°	-53,9441462°	Baixo
5	Ponte	Santa Maria	-29,7411238°	-53,9816117°	Baixo
6	Viaduto	Santa Maria	-29,6703854°	-54,0259628°	Moderado
7	Ponte	São Pedro Do Sul	-29,6378811°	-54,0383431°	Moderado
8	Viaduto	Santa Maria	-29,6516331°	-54,0295832°	Baixo
9	Ponte	Toropi	-29,4924577°	-54,2204822°	Baixo
10	Ponte	São Pedro Do Sul	-29,4931243°	-54,2204349°	Baixo
11	Ponte	Jari	-29,2416511°	-54,2618231°	Baixo
12	Ponte	Jari	-29,1712979°	-54,2649212°	Baixo
13	Ponte	Tupanciretã	-29,1135406°	-54,2697583°	Baixo
14	Ponte	Tupanciretã	-29,1000399°	-54,2692339°	Baixo
15	Viaduto	Tupanciretã	-28,9311588°	-54,3355752°	Moderado
16	Ponte	São Miguel Das Missões	-28,6582578°	-54,4634191°	Baixo
17	Ponte	Entre-Ijuís	-28,4071354°	-54,3080688°	Baixo
18	Viaduto	Entre-Ijuís	-28,3804591°	-54,2965896°	Moderado
19	Ponte	Entre-Ijuís	-28,3339321°	-54,3169825°	Baixo
20	Ponte	Santo Ângelo	-28,3321537°	-54,3168409°	Baixo
21	Viaduto	Santo Ângelo	-28,2438187°	-54,3085741°	Moderado

Fonte: adaptado de STE (2012).

É possível observar que todos os viadutos estão inseridos em locais com risco moderado para instabilidades geotécnicas, enquanto as pontes estão localizadas em locais com baixo risco. Importante citar que, mesmo diante do baixo risco para instabilidades geotécnicas, grande parte das pontes estão previstas em áreas compostas por sedimentos inconsolidados (depósitos aluviais), e devido a isso, estas áreas devem ser avaliadas com atenção durante a elaboração do projeto de engenharia. Nenhuma OAE está localizada em área com alto risco para instabilidade geotécnica.

#### 5.1.3.2.2 Aspectos Geotécnicos da Área de Estudo do Meio Físico

A seguir serão descritas as informações referentes às características geotécnicas dos maciços rochosos e a avaliação de processos de movimento de massa presentes na área.

#### Metodologia

A vistoria de campo foi realizada entre os dias 18 e 30 de junho de 2020, ao longo da AE do Meio Físico com ênfase na ADA, e teve como objetivo a coleta de informações referente às características geotécnicas dos maciços rochosos e a avaliação de processos de movimento de massa presentes na área. Para isso, foram descritos afloramentos rochosos de acordo com seu litotipo, sua coerência, grau de intemperismo, padrão de fraturamento e outras características importantes para o estudo geotécnico. Além disso, também foram avaliados locais com desenvolvimento de erosão e/ou movimento de massa e sua relação com os tipos de solo encontrados, assim como suas implicações para o empreendimento.

O grau de coerência é um atributo baseado em análise tátil-visual, o qual considera a resistência da rocha em relação ao impacto do martelo geológico e ao risco com lâmina de aço, possibilitando assim a sua





determinação durante o trabalho de campo. A coerência do maciço é composta por fatores como as propriedades de tenacidade, dureza e friabilidade da rocha, as quais estão intimamente relacionadas com a litologia e grau de alteração. A partir da análise tátil-visual, classifica-se o maciço em extremamente branda, muito branda, branda, medianamente resistente, resistente, muito resistente e extremamente resistente, como pode ser visualizado no Quadro 63. O grau de coerência pode ser utilizado para estimativa do valor da resistência à compressão uniaxial, importante característica para qualificação do maciço rochoso de acordo com as funções que poderá ou não exercer, como por exemplo função estrutural (OLIVEIRA e BRITO, 1998; HOEK e BROWN, 1997).

Quadro 63. Determinação do grau de coerência para os maciços rochosos (Traduzido de Hoek e Brown, 1997).

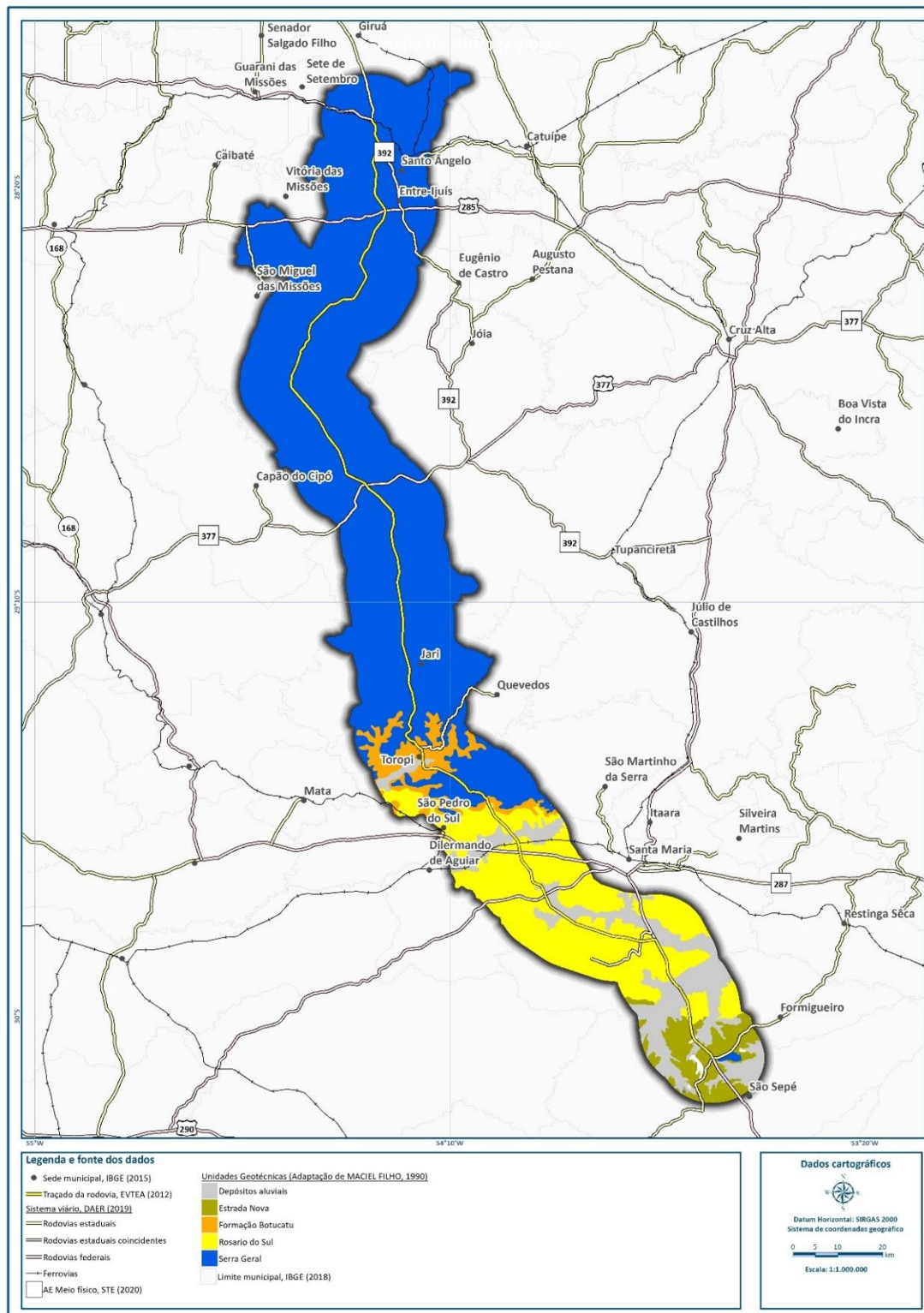
Grau	Descrição	Características determinadas em campo	Resistência a compressão uniaxial (Mpa)
R6	Extremamente resistente	Amostras são somente lascadas com golpes do martelo geológico.	>250
R5	Muito resistente	A amostra necessita de vários golpes do martelo geológico para fraturar-se	100 - 250
R4	Resistente	A amostra necessita de mais de um golpe do martelo geológico para fraturar-se.	50 - 100
R3	Medianamente resistente	Não pode ser raspada por canivete. A amostra pode ser fraturada com um golpe com o martelo geológico.	25 - 50
R2	Branda	Pode ser raspada por canivete com dificuldade e marcada pela ponta do martelo de geólogo	5,0 - 25
R1	Muito branda	Se desintegra sob golpes realizados com o martelo geológico e pode ser raspado por canivete	1,0 - 5,0
R0	Extremamente branda	Pode ser marcada pela unha.	0,25 - 1,0

#### Abordagem Geral das Condições Geotécnicas

Por meio da consolidação das informações obtidas em trabalho de campo, informações adaptadas a partir da Carta Geotécnica de Santa Maria (MACIEL FILHO, 1990) e referências bibliográficas, foi possível realizar uma abordagem geral das condições geotécnicas e das suas influências nas atividades relacionadas às obras do empreendimento rodoviário, estabelecendo-se cinco Unidades Geotécnicas, as quais são descritas a seguir. Salienta-se que não foram encontradas sondagens existentes na área do empreendimento dada a etapa do Projeto Básico/Executivo não ter sido iniciada. As Unidades Geotécnicas analisadas na AE do Meio Físico estão espacializadas na Figura 13.



Figura 13. Unidades Geotécnicas presentes na AE do Meio Físico.



*Unidade Serra Geral*

Esta Unidade estende-se do município de Santo Ângelo até São Pedro do Sul, e envolve as fácies Caxias, Gramado e Parapanema, nas quais são identificadas rochas ígneas, compostas por basalto, riocitos e andesitos, abrangendo a maior extensão do segmento definido para a rodovia. As rochas ígneas presentes nesta Unidade apresentam, em geral, estrutura maciça, com alto grau de coesão e forte resistência ao corte e



penetração. Em geral, são consideradas as que apresentam melhor comportamento geomecânico. Os taludes em rocha, quando ausentes de fraturas, são estáveis mesmo na vertical (VIERO e SILVA, 2010).

Em geral, a Unidade Serra Geral fácies possui grau de coerência entre R2 e R5, sendo o grau de intemperismo variante de acordo com o local do afloramento (Foto 86 e Foto 87).

Foto 86. Basalto com grau de coerência R4 e poucas famílias de descontinuidades. Coord.: -28,647130° e -54,457049°.



Foto 87. Rocha ácida com grau de coerência R5. Salienta-se a presença dos planos de estratificação da rocha. Coord.: -29,153950° e -54,268417°.



As rochas dessa Unidade podem apresentar argilominerais expansivos, os quais, quando hidratados, podem causar expansão, desagregação e empastilamentos, ocasionando problemas de desintegração da rocha e desagregabilidade de enrocamentos, aterros e de agregados utilizados como base e sub-base de rodovias (OLIVEIRA e BRITO, 1998; OLIVEIRA, 2012). Em alguns locais, os afloramentos apresentam famílias de descontinuidades que dão ao maciço rochoso um alto grau de fraturamento (Foto 88 e Foto 89). O alto grau de fraturamento é uma característica que deve ser analisada criteriosamente, uma vez que facilita a percolação de água podendo modificar as características físicas, como alteração da porosidade, permeabilidade e expansão de minerais expansivos, e conseqüentemente, reduzir as suas qualidades mecânicas (OLIVEIRA, 2012). Além disso, o alto grau de fraturamento potencializa a ocorrência do movimento de queda de blocos.

Foto 88. Alto índice de fraturamento da rocha. Coord.: -28,297318° e -54,320466°.



Foto 89. Alto índice de fraturamento da rocha. Coord.: -28,658417° e -54,463760°.



Também foi observado em trabalho de campo regiões com predomínio de afloramentos do tipo campo de matacões e alteração do tipo esfoliação esferoidal (Foto 90 e Foto 91). Estas características revelam rochas maciças e isotrópicas e, quando não identificados em subsolos podem acarretar problemas na execução de fundação. Além disso, também estão relacionados com o movimento de massa do tipo rolamento de matacões, devendo a área ser devidamente estudada para abertura de cortes e taludes.



Foto 90. Rocha com esfoliação esferoidal e grau de coerência R3.  
Coord.: -28,951697° e -54,312698°.



Foto 91. Campo de matacões.  
Coord.: -29,428552° e -54,251686°.



Nas proximidades do rio Ijuí a fácies Gramado possui textura amigdaloidal, muito alterada e grau de coerência R2 (Foto 92 e Foto 93). Os basaltos com textura amigdaloidal, quando comparados aos basaltos densos, tendem a possuir menor massa específica aparente, maior absorção de água e maior porosidade aparente, podendo ocasionar a diminuição da qualidade mecânica do maciço rochoso (ALMEIDA, 2013). Salienta-se que nesta área está prevista a construção de duas OAEs.

Foto 92. Basalto amigdalóide próximo ao rio Ijuí.  
Coord.: -28,334034° e -54,316302°.



Foto 93. Basalto amigdalóide próximo ao rio Ijuí.  
Coord.: -28,334034° e -54,316302°.



Além disso, também foi identificado, em meio as rochas ígneas da Formação Serra Geral, uma pequena área com a manifestação de rochas areníticas, de granulometria média e boa esfericidade, como pode ser visualizado na Foto 94. Salienta-se que a região está inserida em alto risco geotécnico por conta de um grande lineamento destas proximidades, o qual pode estar relacionado com a movimentação de blocos e consequente soerguimento de camadas da Formação Botucatu. Também foi identificado, no município de Jari e próximo à Unidade Botucatu, um afloramento de rocha sedimentar de granulometria fina, com intercalação de camadas de silte e argila, com grau de coerência R2 (Foto 95). Mesmo sendo locais de pouca abrangência, pelo fato de estarem localizados próximos ao traçado da rodovia, julga-se importante ressaltá-los, visto que as qualidades mecânicas dessas rochas podem ser diferentes das rochas ígneas encontradas ao redor.



Foto 94. Afloramento de rocha arenítica.  
Coord.: -28,620692° e -54,449903°.



Foto 95. Afloramento de rocha sedimentar de granulometria fina.  
Coord.: -29,375549° e -54,241346°.



Associado à estas litologias da Formação Serra Geral estão os solos mais evoluídos, com horizonte B variando de profundos a muito profundos, desenvolvidos por condições favoráveis de drenagem, sujeitos a compactação.

Na AE do Meio Físico, os solos originados a partir destas formações são Latossolos vermelhos, Argissolos vermelho-amarelos e Nitossolos vermelhos. Topograficamente, encontram-se localizados em relevo constituído por colinas arredondadas, onde é comum a presença de pequenos cursos d'água e áreas brejosas em locais de menor cota. Além disso, apresentam elevada capacidade de suporte de cargas para obras de grande porte, pouco afetados pelo nível freático, de fácil à moderada escavabilidade e pouco colapsíveis.

Os Latossolos apresentam baixa propensão a erodibilidade em função da elevada porosidade apresentada no horizonte B. No caso dos Argissolos e Nitossolos, a suscetibilidade à formação de processos erosivos está diretamente relacionada à exposição do solo (corte ou aterro), e também à espessura do horizonte superficial, sendo que, quanto menor, menor também será a infiltração da água, ocasionando o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a possível formação de erosão laminar e sulcos (Foto 98 e Foto 99). Destaca-se ainda a ocorrência de inclusões de solos mais rasos (Neossolos) em áreas de relevo com encostas declivosas.

Durante o trabalho de campo foram identificados diversos locais com a presença de processos erosivos, desde erosão laminar até ravinamentos (Foto 96 a Foto 102). O local demonstrado na Foto 99 e Foto 100 ocorre devido ao pisoteio do gado em campo e conseqüente compactação do solo e diminuição da infiltração da água favorecendo o processo erosivo do tipo ravinamento, uma vez que no local há uma nascente com fluxo contínuo de água superficial. Neste ponto ocorre a transição e inclusão de diferentes solos dentro de uma mancha grande de latossolo.

Já o local das coordenadas -28,583814° e -54,421993°, que pode ser visualizado na Foto 101 e Foto 102 apresenta um ravinamento em estágio inicial próximo ao olho d'água da nascente. O local está a jusante, fora da ADA do empreendimento, porém, muito próximo da mesma. Esta erosão está associada a concentração de fluxo superficial com o uso do entorno para agricultura, que diminui a faixa de vegetação e conseqüentemente a resistência do solo ao fluxo hídrico superficial. Sem intervenção, o processo erosivo irá progredir longitudinalmente para montante, podendo atingir o lençol freático e conseqüentemente chegar a proporções de voçorocamento.

As informações detalhadas sobre os solos encontrados na AE podem ser visualizadas no item 5.1.3.1.



Foto 96. Ocorrência de erosão laminar, sulcos e ravinas.  
Coord.: -28,300826° e -54,316688°.



Foto 97. Ocorrência de ravinamento na Unidade Serra Geral.  
Coord.: -28,376840 ° e -54,283879°.



Foto 98. Processo erosivo em ravinas. Localizado a 40 m do traçado da rodovia. Coord.: -28,341692 ° e -54,318125°.



Foto 99. Ocorrência de ravinamento de grandes proporções.  
Coord.: -28,583814° e -54,421993°.



Foto 100. Foto aérea da ocorrência de ravinamento, mesmo local da Foto 99. Coord.: -28,583814° e -54,421993°.





Foto 101. Ocorrência de ravinamento.  
Coord.: -28,583814° e -54,421993°.



Foto 102. Ocorrência de ravinamento.  
Coord.: -28,583814° e -54,421993°.



A Unidade Serra Geral possui declividade variante, entre 0 a 20%, com predomínio entre 3 a 8% (Foto 103). Em relação à suscetibilidade a movimentos de massa, possui predominância da classe baixa e moderada para risco geotécnico, podendo ocorrer, localizadamente, locais com alto risco geotécnico.

Foto 103. Declividade entre 3 a 8% na Unidade Serra Geral. Coord.: -28,929790° e -54,333890°.



Durante o trabalho de campo foi identificado um local com cicatriz de movimento de massa, inserido em declividade de 8 a 20% e risco geotécnico baixo, localizado dentro da ADA no município de Entre-Ijuís (Foto 104 e Foto 105). Além disso, também foi identificado, próximo ao município de Toropi e dentro da ADA, indicativos da ocorrência do movimento de massa do tipo rastejo. Este local está próximo ao contato com a Unidade Botucatu e é caracterizado pela declividade de a 8 a 20% e risco geotécnico alto (Foto 106 e Foto 107). Salienta-se que esses processos de instabilidades podem ser intensificados com a abertura de cortes e consequente desequilíbrio das forças atuantes.



Foto 104. Cicatriz de movimentos de massa, face frontal.  
Coord.: -28,340729 ° e -54,318229°.



Foto 105. Cicatriz de movimentos de massa, face lateral.  
Coord.: -28,340729 ° e -54,318229°.



Foto 106. Indícios de rastejo.  
Coord.: -29,450847° e -54,236938°.



Foto 107. Indícios de rastejo, face frontal.  
Coord.: -29,450847° e -54,236938°.



#### Unidade Botucatu

Esta Unidade se encontra nos municípios de Toropi e São Pedro do Sul e envolve rochas sedimentares da Formação Botucatu que em geral apresentam estruturas típicas de deposição eólica, com granulação fina a média e bastante abrasivas e friáveis (OLIVEIRA e BRITO, 1998). São caracterizadas por possuir boa capacidade de suporte para obras de pequeno e médio porte e os taludes de corte podem vir a ser instáveis, de acordo com o grau de alteração. Seu comportamento geotécnico é variável de acordo com o grau de litificação da rocha, podendo ser dura e muito abrasiva próximo aos contatos com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, como identificado no afloramento que pode ser visualizado na Foto 108 (VIERO e SILVA, 2010).

Em geral, esta Unidade possui grau de coerência R2 a R4 e grau de intemperismo variando de acordo com o local (Foto 109 e Foto 110), com predomínio de rochas altamente intemperizadas. É importante salientar que, por conta desta Unidade estar muito próxima ao contato com as rochas da Formação Serra Geral, é comum a manifestação de afloramentos de rochas ígneas próximas a afloramentos de rochas da Formação Botucatu (Foto 111).





Foto 108. Afloramento de arenito com alto grau de litificação. Grau de coerência R4. Coord.: -29,474132 ° e -54,222385°.



Foto 109. Afloramento da Unidade Botucatu pouco intemperizado, com grau de coerência R3. Coord.: -29,548623° e -54,116599°.



Foto 110. Afloramento muito intemperizado da Unidade Botucatu. Coord.: -29,466121° e -54,2227962°.



Foto 111. Basalto com textura amigdalóide, muito próximo a afloramentos da Formação Botucatu. Coord.: -29,548274° e -54,111605°.



Identificam-se nesta Unidade solos pouco desenvolvidos, pedregulhosos, com horizonte B incipiente (Cambissolo) ou ausente, como no caso dos Neossolos, e que são considerados, portanto, pouco expressivos geotecnicamente. Estes solos são característicos de áreas de relevo movimentado, em superfícies bastante acidentadas, com potencialidade para movimentos de massa e risco de instabilidade de taludes naturais e de cortes, agravados em áreas com declividades superiores a 60%. Informações detalhadas sobre os solos encontrados na AE do Meio Físico podem ser visualizadas no item 5.1.3.1.

Estes solos apresentam média capacidade de suporte, boa escavabilidade e que, por serem mais arenosos estão fortemente propensos à formação de processos erosivos avançados, em especial quando possuem gradiente textural e situam-se em encostas convergentes e próximos a cursos de água (MIERO e SILVA, 2010). Foram identificados, em trabalho de campo, locais com o desenvolvimento de processos erosivos como sulcos e ravinamentos, os quais estão demonstrados nas Foto 112 e Foto 113. É importante salientar que o local onde se encontra a erosão em ravina representada na Foto 113 está muito próximo ao traçado da rodovia e está localizado em área com altas declividades, variando de 8 a 20%. Além disso, foi identificada uma área com erosão em ravinas e sulcos, a qual está relacionada com a ocorrência pretérita de movimento de massa (Foto 114 e Foto 115).



Foto 112. Erosão associada ao recurso hídrico.  
Coord.: -29,527121° e -54,149203°.



Foto 113. Erosão em ravinas.  
Coord.: -29,509443° e -54,175364°.



Foto 114. Cicatriz de movimento de massa.  
Coord.: -29,508906° e -54,175380°.



Foto 115. Processos erosivos relacionados com a cicatriz de movimento de massa.  
Coord.: -29,508906° e -54,175380°.



A Unidade Botucatu possui declividade variante, entre 0 a 45%, com predomínio entre 3 a 8% (Foto 116 e Foto 117). Em relação à suscetibilidade a movimentos de massa, possui predominância da classe moderada e alta para risco geotécnico.

Foto 116. Declividade entre 8 a 20% na Unidade Botucatu.  
Coord.: -29,454861° e -54,233097°.



Foto 117. Declividade entre 20 a 45% na Unidade Botucatu.  
Coord.: -29,549006° e -54,119977°.



Durante o trabalho de campo foram identificados diversos locais com a ocorrência de cicatrizes de movimento de massa, os quais estão inseridos, em sua grande maioria, dentro da ADA, nos municípios de Toropi (Foto 118) e São Pedro do Sul (Foto 119), em locais com moderado a muito alto risco geotécnico. É importante salientar que as áreas relacionadas com a ocorrência de movimentos de massa estão mais suscetíveis à erosão, uma vez que o processo pode criar caminhos preferenciais para escoamento de água, potencializando os processos de erosão de sulcos e ravinas, como o local demonstrado anteriormente nas Foto 114 e Foto 115.



Foto 118. Cicatriz de movimento de massa, área com risco geotécnico moderado. Coord.: -29,524723° e -54,152229°.



Foto 119. Cicatriz de movimento de massa, área com risco geotécnico alto. Coord.: -29,509443° e -54,175364°.



As cicatrizes de movimento de massa foram identificadas em diversos locais da Unidade Botucatu, porém, com maior frequência em um segmento de dois quilômetros, entre 82+000 e 84+000, onde se verifica uma sequência de instabilizações muito próximas ao traçado da rodovia. Salienta-se que este segmento possui áreas classificadas com muito alto risco geotécnico, devendo ser avaliado detalhadamente no momento de implantação do empreendimento (Foto 120 e Foto 121). Ressalta-se que as características naturais da área, como alta declividade e a presença de rochas sedimentares friáveis são potencializadoras dos processos de instabilização de encostas, os quais podem ser intensificados com a abertura de cortes e consequente desequilíbrio das forças atuantes.

Foto 120. Cicatriz de movimento de massa. Início do segmento de dois quilômetros com maior frequência de instabilizações. Coord.: -29,548623° e -54,1166°.



Foto 121. Cicatriz de movimentos de massa. Fim do segmento de dois quilômetros. Coord.: -29,547401° e -54,129179°.



#### *Unidade Rosário do Sul*

Esta Unidade se encontra nos municípios de São Pedro do Sul, Santa Maria e São Sepé e envolve as Formações Caturrita, Santa Maria e Sanga do Cabral. As rochas sedimentares presentes nesta Unidade são formadas por arenitos de granulação fina e média, normalmente quartzosas, com boa homogeneidade geomecânica (OLIVEIRA e BRITO, 1998; VIERO e SILVA, 2010). São caracterizadas por possuir boa capacidade de suporte para obras de pequeno e médio porte e os taludes de corte podem vir a ser instáveis, de acordo com o grau de alteração (VIERO e SILVA, 2010). Através do mapeamento de campo verificou que as rochas desta Unidade se encontram muito intemperizadas, com grau de coerência variando entre R0 a R1 (Foto 122 e Foto 123). Diante do alto grau de intemperização, a ocorrência de afloramentos se torna muito restrita, dificultando uma avaliação mais abrangente das características das rochas.



Foto 122. Rocha com intercalação de camadas de areia fina e argila.  
Grau R0. Coord.: -29,785397° e -53,888289°.



Foto 123. Rocha sedimentar de granulometria muito fina e muito intemperizada. Grau R0. Coord.: -29,842591° e -53,845792°.



Nesta Unidade pode ser verificada a ocorrência tanto de solos mais desenvolvidos como daqueles menos intemperizados. No topo das coxilhas encontram-se Argissolos Vermelho-Amarelos, enquanto na meia encosta ocorrem os Argissolos Amarelos e Bruno-Acinzentados com drenagem imperfeita. Informações detalhadas sobre os solos encontrados na AE podem ser visualizadas no item 5.1.3.1.

Os Argissolos seguem a mesma descrição apresentada anteriormente, variando, no entanto, por serem derivados do arenito e não do basalto, apresentando um maior percentual de areia no horizonte A, no caso dos Bruno-acinzentados e Amarelos, ainda podem apresentar argilominerais expansíveis, tornando-se erosivos e colapsíveis quando submetidos à variação de umidade. Os solos desta Unidade podem ser afetados por processos erosivos como ravinas e voçorocas, principalmente quando possuem gradiente textural e estão próximos a cabeceiras de cursos d'água.

Foram identificados, em trabalho de campo, locais com o desenvolvimento desde processos erosivos mais simples, como sulcos, até muito complexos como voçorocas. Os processos erosivos mais simples encontrados estão relacionados com a ação de cursos d'água, como pode ser visualizado nas Foto 124 e Foto 125.

Foto 124. Processo erosivo relacionado a curso hídrico.  
Coord.: -29,846717° e -53,767121°.



Foto 125. Processo erosivo relacionado a curso hídrico na Unidade Rosário do Sul. Coord.: -29,895482° e -53,73121°.



Os processos erosivos mais complexos estão relacionados a ravinamentos e voçorocas. A ravina apresentada a seguir (Foto 126 e Foto 127) possui dimensões de 1,8 m de altura, sendo o processo intensificado pela atividade agropecuária. A área em que a ravina está localizada está muito próxima à ADA e possui declividade entre 3 a 8%.



Foto 126. Processo erosivo de ravinamento, vista lateral.  
Coord.: -29,620873° e -54,053583°.



Foto 127. Processo erosivo de ravinamento, vista frontal.  
Coord.: -29,620873° e -54,053583°.



A montante da ADA, nas coordenadas -29,702044° e -54,007477°, obteve-se o registro de uma voçoroca de grande dimensão (Foto 128, Foto 129 e Foto 130). As características naturais dessa área, como a existência de nascente e fluxo contínuo de água superficial são propícias para o surgimento e agravamento de processos erosivos. Além disso, cada tipo de solo apresenta maior ou menor suscetibilidade à erosão, estando diretamente relacionado às características como infiltração, permeabilidade, capacidade de absorção de água. O Argissolo Vermelho-amarelo, presente neste local, tende a ser mais suscetível aos processos erosivos, devido à sua relação textural. Muito embora estes solos permitem uma maior infiltração de água no perfil, são caracterizados também por maior espaço poroso, atribuindo ao solo estrutura fraca e menor resistência ao processo erosivo.

Em solos sob exploração de pecuária inadequada, mesmo com pastagem nativa como é o caso desta área, sofre degradação gradativa. Inicialmente o processo erosivo não é perceptível, uma vez que acontece lentamente através da erosão laminar, a qual ocorre em áreas onde há pisoteio do gado e conseqüente compactação do solo e diminuição da infiltração da água e penetração das raízes. A erosão acentua-se à medida que começa a surgir áreas sem coberturas, ocasionando a erosão em sulcos e colapso dos espaços porosos. As voçorocas são o estágio mais avançado neste processo erosivo, onde a erosão atingiu o lençol freático e este passou a funcionar como o seu novo nível de base.

Foto 128. Voçoroca, vista frontal.  
Coord.: -29,702044° e -54,007477°.



Foto 129. Voçoroca, vista lateral.  
Coord.: -29,702044° e -54,007477°.





Foto 130. Foto aérea da voçoroca. Coord.: -29,702044° e -54,007477°.



A Unidade Rosário do Sul possui declividade variante, entre 0 a 20%, com predomínio entre 0 a 8% (Foto 131). Em relação à suscetibilidade a movimentos de massa, possui predominância da classe baixa e moderada para risco geotécnico.

Foto 131. Declividade entre 3 a 8%. Salienta-se a mudança de geomorfologia em direção à Unidade Botucatu e Serra Geral. Coord.: -29,701439° e -54,005128°.



Durante o trabalho de campo foi identificado somente um local com a ocorrência de cicatriz de movimento de massa, a qual é de pequenas dimensões. Salienta-se que a área onde foi identificado este movimento está inserida em alto risco geotécnico e está localizada próximo à ADA, no município de São Pedro do Sul (Foto 132 e Foto 133).



Foto 132. Cicatriz de movimento de massa de pequenas proporções na Unidade Rosário do Sul. Coord.: -29,572463° e -54,090481°.



Foto 133. Cicatriz de movimento de massa de pequenas proporções, visão lateral. Coord.: -29,572463° e -54,090481°.



#### *Unidade Depósitos Aluvionais*

A Unidade considera os depósitos originados de sedimentos quaternários, formados por rochas de moderado grau de coesão, resistência ao corte e penetração. Na ADA, ocorrem nas cabeceiras de rios e planícies de inundação ao longo dos vales entre os municípios de Toropi e São Sepé, recobrimdo parte das Formações da Unidade Rosário do Sul e uma área menor da Unidade Botucatu.

Nos terrenos de várzeas ocorrem solos hidromórficos, destacando-se os Planossolos Háplicos, podendo ser encontrados ainda Gleissolos próximos aos cursos d'água. Os solos com característica de hidromorfismo são geralmente rasos e ocorrem em relevo plano, com horizonte A essencialmente mais arenoso e, portanto, fortemente sujeitos a processos erosivos e propensos a ocasionar assoreamento generalizado de cursos d'água devido ao transporte de sedimentos. Foram identificados locais com a ocorrência de processos erosivos, estando os processos mais simples relacionados à ação da água do curso hídrico (Foto 134), ou processo de ravinamento causado pelo escoamento superficial em solo descoberto (Foto 135). Os solos Argissolo Bruno-Acinzentado, existentes no local, possuem permeabilidade lenta, portanto existe facilidade de arraste superficial quando estão sem cobertura vegetal. As práticas agrícolas inadequadas, com sistemas de drenagens ineficientes, são responsáveis em grande parte por processos de erosão hídrica. A situação é agravada nesta área devido ao impacto derivado do tráfego de máquinas, ocorrendo a compactação do solo e criação de fendas nos rastros dos rodados, causando, conseqüentemente, caminhos hídricos preferenciais. Esta área encontra-se localizada a montante da ADA, podendo vir a apresentar risco para o futuro projeto.

Foto 134. Processo erosivo relacionado ao curso hídrico. Coord.: -29,772346° e -53,970302°.



Foto 135. Processo erosivo em ravinamento, devido a erosão hídrica. Coord.: -29,804575° e -53,935408°.



Os solos desta Unidade são considerados inadequados para a utilização como aterro compactado, apresentando condições precárias para fundações, e recalques em função do adensamento de solos moles. O



lençol freático permanece mais elevado durante a maior parte do ano, podendo aflorar em períodos de chuvas prolongadas, aumentando consideravelmente a suscetibilidade a inundações (Foto 136).

A Unidade Depósitos Aluvionais possui declividade variante, entre 0 a 8% (Foto 137). Em relação à suscetibilidade a movimentos de massa, possui predominância da classe baixa e moderada para risco geotécnico. Não foram identificados locais com indícios de movimento de massa.

Foto 136. Área com lençol freático muito elevado.  
Coord.: - 29,767430° e -53,970252°.



Foto 137. Declividade de 0 a 3%.  
Coord.: -29,772346° e -53,970303°.



#### *Unidade Estrada Nova*

A Unidade Estrada Nova concentra-se no extremo sul da área em estudo, na qual predominam rochas sedimentares como siltitos e folhelhos que, quando expostas às intempéries, podem manifestar desagregação superficial conhecida como empastilhamento. Caso este material desagregado atinja obras de drenagem pode provocar a colmatagem, bem como descalçar blocos de rochas mais resistentes (OLIVEIRA e BRITO, 1998; VIERO e SILVA, 2010). Diante do alto grau de intemperização, a ocorrência de afloramentos se torna muito restrita, dificultando uma avaliação mais abrangente das características das rochas. Devido a isso, não foram identificados afloramentos na ADA do empreendimento.

Há o predomínio de solos pouco profundos, imperfeitamente drenados, mais arenosos e que se desestabilizam com facilidade em taludes de corte, bastante suscetíveis à erosão e colapsividade, constituindo terrenos que necessitam de aumento da resistência do maciço para obras de grande porte.

#### Análise Geral das Características Geotécnicas da Área de Estudo

De modo geral, verifica-se uma constituição geológica-geotécnica de boa qualidade tanto do ponto de vista litológico (tipo de rocha) quanto estrutural para a implantação de obras do segmento rodoviário, visto que em grande extensão da ADA ocorrem rochas de composição basáltica, pertencentes à Formação Serra Geral, predominantemente na porção centro-norte da área. Na porção mais ao sul da área predominam Formações que apresentam rochas sedimentares compostas por arenito, siltitos e folhelhos, onde se observa a presença de solos moles com menor capacidade de suporte a cargas, ocasionando dificuldades para o desenvolvimento das obras futuras. Em relação à suscetibilidade para movimentos de massa, a região entre os municípios de Toropi e São Pedro do Sul demonstrou maior potencialidade para a ocorrência de escorregamentos.

#### 5.1.4 Espeleologia

A partir da expansão das atividades econômicas e sua conseqüente pressão sobre os recursos naturais, assomou-se a necessidade da proteção do patrimônio espeleológico em nível nacional. Assim, a Constituição Federal de 1988 no Art. 20, inciso X, instituiu as cavidades subterrâneas como bem da união.





No início da década de 90 o IBAMA avançou no tema com a publicação da Portaria nº 887/1990, que promove a realização do diagnóstico ambiental do patrimônio espeleológico nacional e declara a obrigatoriedade da apresentação de EIA, em áreas com potencial ocorrência ou registro de cavidades, durante o licenciamento ambiental de atividades potencialmente impactantes. Ainda em 1990, é publicado o Decreto Federal nº 99.556/1990, revisado em 2008 pelo Decreto Federal nº 6.640/2008, que determina que cavidades naturais com grau de relevância máximo e sua área de influência não podem ser afetadas por impactos irreversíveis, e que cavidades com grau de relevância alto, médio ou baixo podem ser objeto de licenciamento ambiental.

No final da década de 90, o IBAMA publicou a Portaria nº 057/1997, criando o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV). Posteriormente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) publicou a Resolução nº 347/04, que resolve em seu Art. 1º:

Instituir o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE, e estabelecer, para fins de proteção ambiental das cavidades naturais subterrâneas, os procedimentos de uso e exploração do patrimônio espeleológico nacional.

As cavidades servem de abrigo para a fauna local, possuindo um grande potencial biótico. Da mesma forma, a potencial utilização das cavernas naturais por antepassados e fauna extinta, como abrigo ou moradia, demonstra a relevância destas estruturas para a arqueologia e paleontologia. Ainda, do ponto de vista geológico, podem apresentar características únicas com relação a sua litologia, morfologia e estruturas associadas.

Com a intensificação dos estudos espeleológicos, cujos resultados estão cadastrados no CANIE, o acesso à informação do patrimônio espeleológico nacional foi facilitado, permitindo a sua divulgação e a observação de áreas com maior potencial cavernícola. Até 14 de outubro de 2021, 204 cavidades naturais encontravam-se registradas para o RS. A situação atual do conhecimento espeleológico no Estado foi utilizada como base inicial para o diagnóstico do patrimônio espeleológico do trecho entre Santa Maria e Santo Ângelo da BR-392.

#### 5.1.4.1 Metodologia

A metodologia utilizada para o diagnóstico ambiental das cavidades naturais presentes na AE foi dividida em diferentes etapas de pré-campo, campo e pós-campo, objetivando adquirir as informações do Meio Físico necessárias. A partir da integração dos dados de cavidades registradas no RS (CANIE-CECAV, 2021), com as informações litológicas e estruturais (CPRM, 2008), foi possível definir e analisar as áreas com maior potencial de ocorrência de cavidade naturais.

Constatou-se que a AE do Meio Físico apresenta regiões com médio, baixo e improvável potencial para ocorrência de cavernamentos (Mapa 13), características estas que permitiram desenvolver uma metodologia baseada numa prospecção por amostragem, com maior espaçamento nas áreas com relevo mais plano e com maior alcance visual, e uma amostragem mais detalhada nas áreas de relevo montanhoso. A amostragem consistiu em prospecção exocárstica e na consulta às comunidades locais inseridas na AE do Meio Físico.

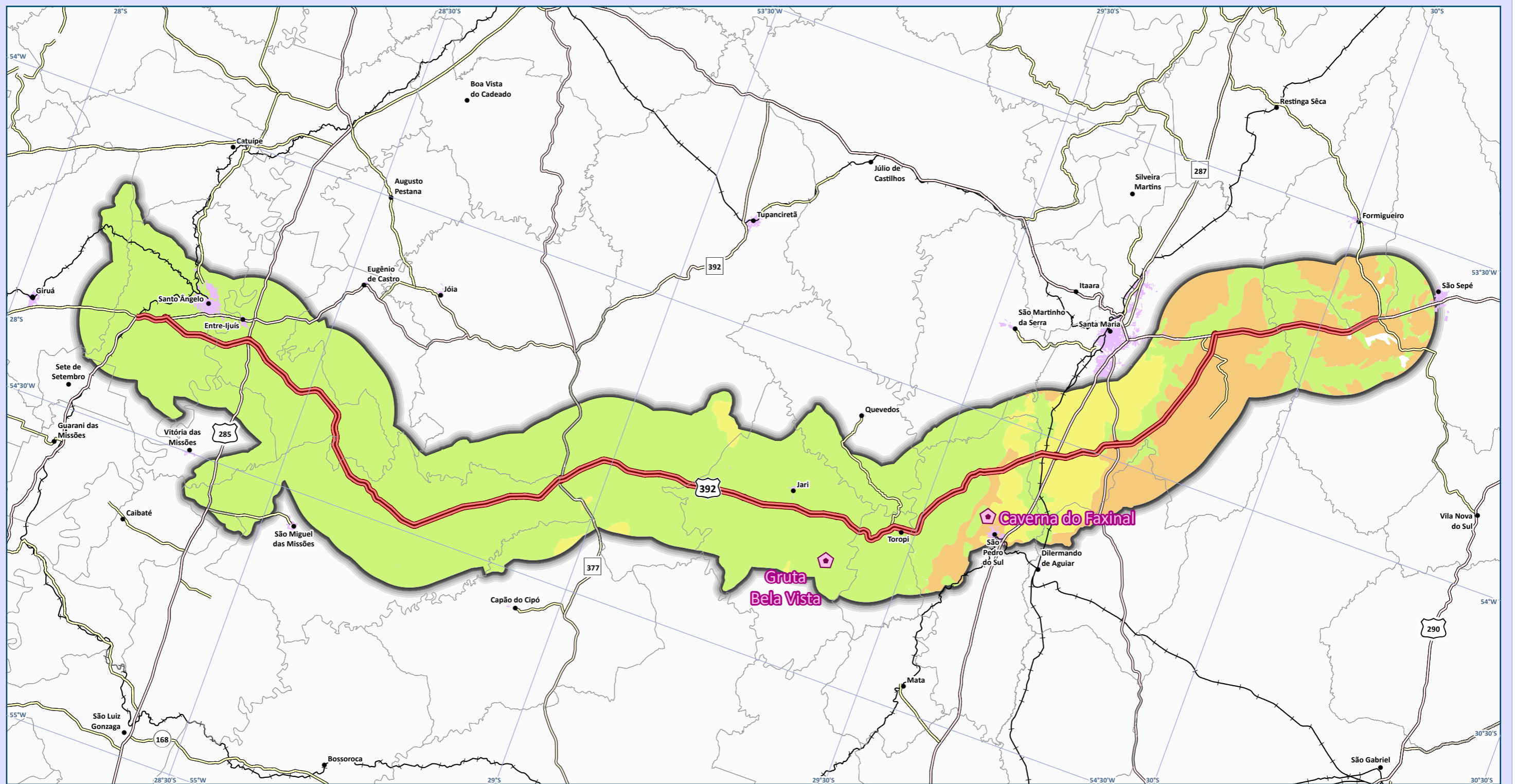
Para a prospecção exocárstica e descrição das cavidades, os trabalhos do Meio Físico foram realizados em duas campanhas de oito dias, dividindo AE em porção sul, central e norte. A porção sul da AE do Meio Físico compreende o município São Sepé e a região centro-sul do território de Santa Maria, a porção central compreende a região norte de Santa Maria e os municípios São Pedro do Sul, Toropi, Jari e Quevedos e, a porção norte compreende os territórios dos municípios de Tupanciretã, São Miguel das Missões, Entre-Ijuís e Santo Ângelo.

As entrevistas visaram a obtenção de informações sobre a presença de cavidades na região e realizando um inventário com dados pessoais e espaciais (nome, tempo de residência no local e comunidade/localidade). As administrações dos municípios presentes na AE do Meio Físico foram contatadas em busca de informações



sobre cavidades em seus limites territoriais, à procura de estruturas não registradas. Ainda, foi contatado em 2020 o professor/pesquisador Dr. Heinrich Theodor Frank da UFRGS, que participou do Projeto Paleotocas: Cavernas, grutas, tocas, furnas e fendas no Rio Grande do Sul (incluindo grutas religiosas) realizado em 2016.

Cada cavidade identificada na AE foi descrita e caracterizada a partir da integração dos estudos do Meio Físico. A partir da exploração das cavidades foram realizadas descrições das feições e das relações litológicas e estruturais presentes, bem como sobre sua gênese, natural ou artificial. Ainda foram observadas as características hidrológicas e geotécnicas para identificação de possíveis áreas de risco e APPs associadas.



### Mapa de Potencial e Registro Espeleológico

#### Legenda e fonte dos dados

- Sede municipal, IBGE (2015)
- Ferrovias
- Traçado da rodovia, EVTEA (2012)
- Sistema viário, DAER (2019)
  - Rodovias estaduais
  - Rodovias estaduais coincidentes
  - Rodovias federais
- AE Meio físico, STE (2020)
- Limite municipal, IBGE (2018)
- Mancha urbana municípios interceptados, STE (2020)

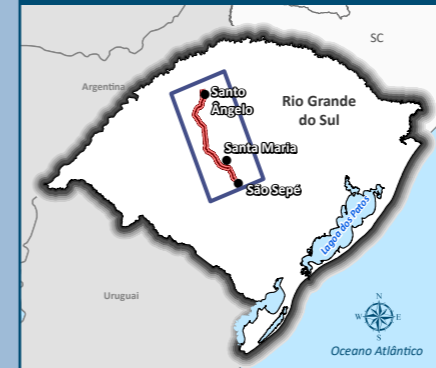
- ◆ Cavernas naturais, CCAV e STE (2020)
- Área de ocorrência de cavernas (Rochas siliciclásticas), CECAV (2012)
- Grau de potencialidade
  - Baixo
  - Médio
  - Ocorrência improvável

#### Dados cartográficos

Escala: 1:700.000
   
 Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000
   
 Sistema de coordenadas geográficas
   
 0 2,5 5 10 15 km

PS: A adoção do sistema de coordenadas geográfico foi realizada, pois a área de estudo localiza-se entre os fusos cartográficos da projeção UTM 21 e 22S.

#### Localização



**DNIT**

**Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) BR-392 Santa Maria-Santo Ângelo/RS**



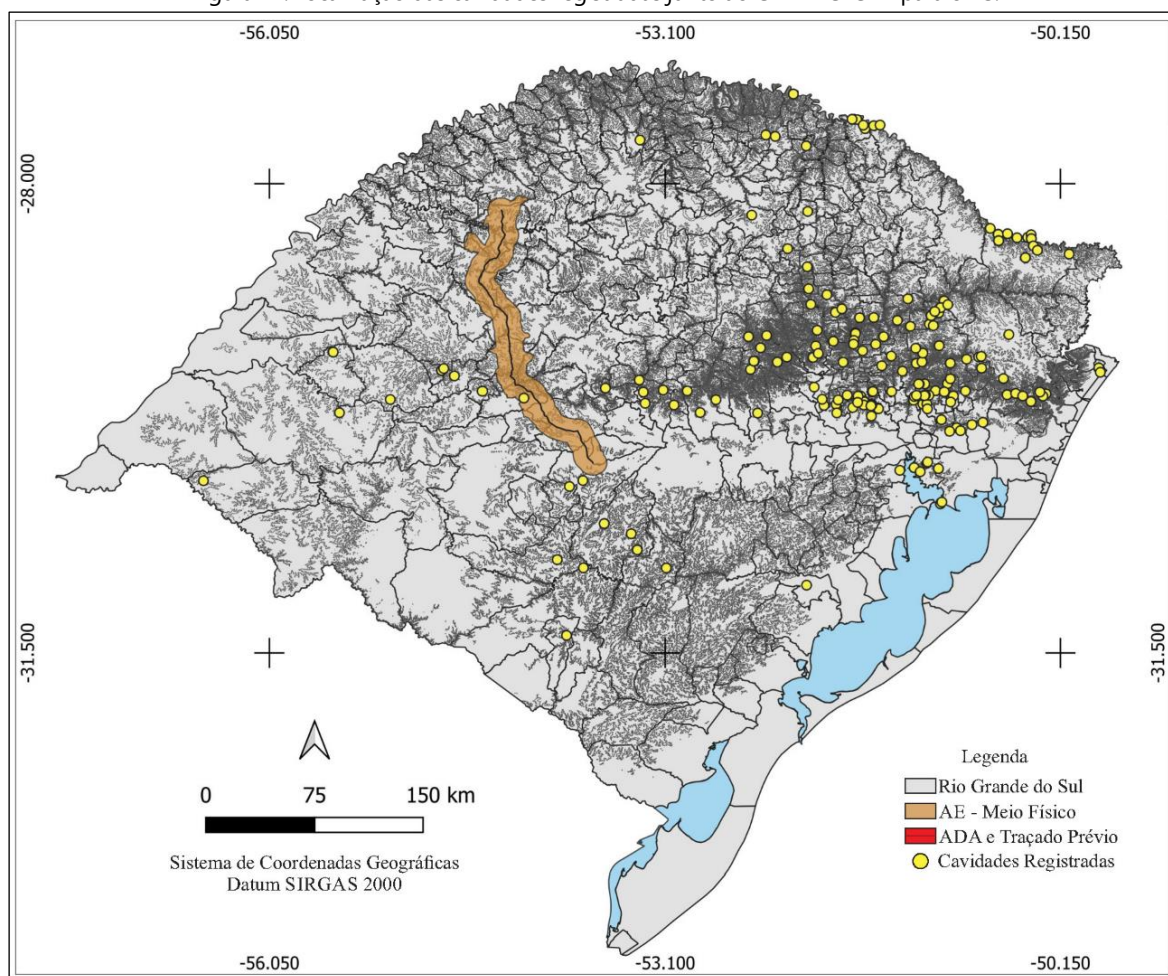
#### 5.1.4.2 Contexto Geológico e Geomorfológico

A AE do Meio Físico encontra-se inserida na BP e apresenta um traçado retilíneo com direção-geral NNO, ligando o município de São Sepé à Santo Ângelo. A BP é do tipo intracratônica, se estende pelos territórios do Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina, e apresenta um preenchimento de até 7.000 m, composto por rochas sedimentares associadas a rochas vulcânicas e intrusões de diques de diabásio (MILANI, 2007). Geomorfologicamente, a AE pode ser classificada em três unidades, de acordo com as classes de relevo dominantes. A porção sul apresenta um relevo relativamente mais aplainado, a porção central apresenta as maiores declividades, com dominância de relevo ondulado à fortemente ondulado, por vezes associado a relevos montanhosos e, na porção norte voltam a dominar relevos relativamente aplainados. O detalhamento dos aspectos geológicos e geomorfológicos consta no item 5.1.2.

#### 5.1.4.3 Potencial para Formação e Manutenção de Cavernas

A partir da correlação entre as cavidades registradas junto ao CANIE-CECAV e dados altimétricos do RS (IBGE, 2017), foi possível gerar a Figura 14, com o objetivo de auxiliar na determinação de áreas com maior potencial de ocorrência de ambientes cavernícolas. De forma geral, as cavidades registradas para o Estado concentram-se na porção centro-leste do território e estendem-se em direção a porção central com um alinhamento leste - oeste, associadas a áreas com gradiente de declividade acentuado.

Figura 14. Localização das cavidades registradas junto ao CANIE-CECAV para o RS.



Ao longo do traçado proposto para a BR-392, é possível acompanhar o empilhamento litoestratigráfico da BP. As rochas sedimentares localizadas a sul estão associadas a relevos com cotas inferiores àquelas onde ocorrem as rochas dos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Considerando a localização das cavidades