

ESTUDOS HIDROLÓGICOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS

OBRAS:

- PONTE EM CONCRETO ARMADO (PCA)
CÓRREGO MATEIRO – km 1,25;
- BSCC (2,5 x 2,5m) – km 1,42;
- BSCC (2,5 x 2,5m) – km 1,89;
- BSCC (2,5 x 2,5m) – km 2,33;
- BSCC (2,5 x 2,5m) – km 2,73

RODOVIA: **LIGAÇÃO (CONTORNO DE PONTALINA)**

TRECHO: **Entr. GO-040 e GO-215**

DOCUMENTO Nº: 02-EH-EG-GOINFRA-PE-OAES-R00

PROJETO

ELABORAÇÃO	VERIFICAÇÃO	DATA

FISCALIZAÇÃO

VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO	DATA
		/ /

REVISÕES

Nº	DESCRIÇÃO	EXEC.	VER.	APROV.	DATA

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	4
2. Informações locais.....	4
2.1. Elementos topográficos	4
2.1.1. Considerações Gerais.....	4
2.2. Elementos hidrológicos.....	6
2.2.1. Introdução	6
2.2.2. Características Climáticas e Ambientais	6
2.2.2.1. Clima.....	6
2.2.2.2. Vegetação.....	11
2.2.2.3. Hídrica	13
2.2.3. Estudos Hidrológicos.....	14
2.2.3.1. Considerações Gerais	14
2.2.3.2. Elementos utilizados.....	15
2.2.3.3. Coleta de dados disponíveis.....	15
2.2.3.4. Características pluviométricas.....	15
2.2.3.4.1. Acervo de dados pluviométricos	15
2.2.3.4.2. Pluviometria Regional	16
2.2.3.4.3. Metodologia utilizada na determinação dos valores de precipitação, duração e frequência de chuvas.....	19
2.2.3.4.4. Probabilidade extrema de Gumbel.....	19
2.2.3.4.4.1. Procedimentos.....	19
2.2.3.4.5. Método das Isozonas	22
2.2.3.4.5.1. Considerações.....	22
2.2.3.4.5.2. Procedimento	22
2.2.3.4.5.3. Tempo de recorrência (TR)	28
2.2.3.4.5.4. Declividade efetiva	28
2.2.3.4.5.5. Tempo de concentração.....	29
2.2.3.4.5.6. Coeficientes de escoamento	30
2.2.3.4.5.6.1. Determinação das vazões de projeto	31
2.2.3.4.5.6.1.1. Método do hidrograma unitário triangular (HUT).....	32
2.2.3.4.5.7. Mapa da bacia hidrográfica e uso	35

2.2.3.4.5.8.	Cálculo de vazão	Erro! Indicador não definido.
2.2.3.4.5.9.	Suficiência hidráulica	42
2.2.3.4.5.9.1.	Introdução	42
2.2.3.4.5.9.2.	Método de determinação de máxima cheia e vão da obra	42
2.2.3.4.5.9.3.	Resultados	43
2.3.	Elementos geotécnicos	45
2.3.1.	Geologia	45
2.3.1.1.	Introdução	45
2.3.1.2.	Geomorfologia	47
2.3.1.3.	Solos	48
2.3.1.4.	Uso e ocupação	51
2.3.1.5.	Elementos complementares	53

1. APRESENTAÇÃO

A empresa **R. ANDRADE ENGENHARIA EIRELI** apresenta a Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) Relatório Fase I – Relatório do Projeto Básico e Memória Justificada do Projeto Básico, parte integrante do Elaboração de Projetos Básico e Executivo, de Engenharia para Projeto de OAE.

A Ponte a ser executada se encontra no km 1,25 do Contorno da cidade de Pontalina na Mesorregião Oeste do Estado de Goiás (IBGE), suas coordenadas são Latitude -17.527319° e Longitude -49.458790° aproximadamente.

A falta de acessibilidade ou as precárias condições são barreiras para a agricultura e comércio e pode impedir tentativas de alcançar progresso econômico.

A implantação desta obra tem importância econômica, política e social para a região. Com ela são abertos novos horizontes para o desenvolvimento do setor agrícola que necessita da disponibilidade de insumos e mão de obra além de acessos facilitados e seguros para o escoamento da produção e distribuição dos seus produtos.

Foram dimensionados 4 bueiros celulares simples, nas dimensões de 2,5 x 2,5m. Além da serventia da drenagem pluvial, esses dispositivos serão utilizados pelos criadores de rebanhos como passagens de gado, justificando a escolha da seção dos mesmos. Os bueiros serão implantados nas seguintes localizações:

- Bueiro 1 – km 1,42, Latitude -17.528204° e Longitude -49.457548°;
- Bueiro 2 – km 1,89, Latitude -17.528686° e Longitude -49.453296°;
- Bueiro 3 – km 2,33, Latitude -17.529634° e Longitude -49.449681°;
- Bueiro 4 – km 2,73, Latitude -17.530808° e Longitude -49.446130°.

2. Informações locais

2.1. Elementos topográficos

2.1.1. Considerações Gerais

Localizado no Planalto Central brasileiro, o estado de Goiás tem um relevo bastante variado, com planaltos, chapadas, vales e depressões, apresentando distintas formas e composições rochosas. Diante disso, são percebidas áreas com formação de cristalino sedimentares antigos e planaltos moldados pelos processos erosivos intercalados com áreas de chapadas, todas se diferem em relação à composição química.

Quanto à altitude, os terrenos goianos apresentam baixas amplitudes altimétricas e, em sua maior parte, terras planas. Nas regiões sul e leste do estado são encontradas as maiores altitudes, com destaque para a Chapada dos Veadeiros. Na chapada, o relevo supera 1.200 metros de altitude, especialmente na Serra dos Cristais (1.250m), na Serra dos Pirineus (1.395m) e na Serra do Pouso Alto (1.676m), o ponto mais alto do Estado. No oeste do estado estão concentradas as altitudes mais baixas.

O município de Pontalina está localizado na região Sul de Goiás, dentro da faixa de amplitude altimétrica de 467 a 939 metros. A sede municipal apresenta altitude de 610 metros.

O mapa apresentado abaixo demonstra a faixa de amplitude altimétrica para a região do município de Pontalina.

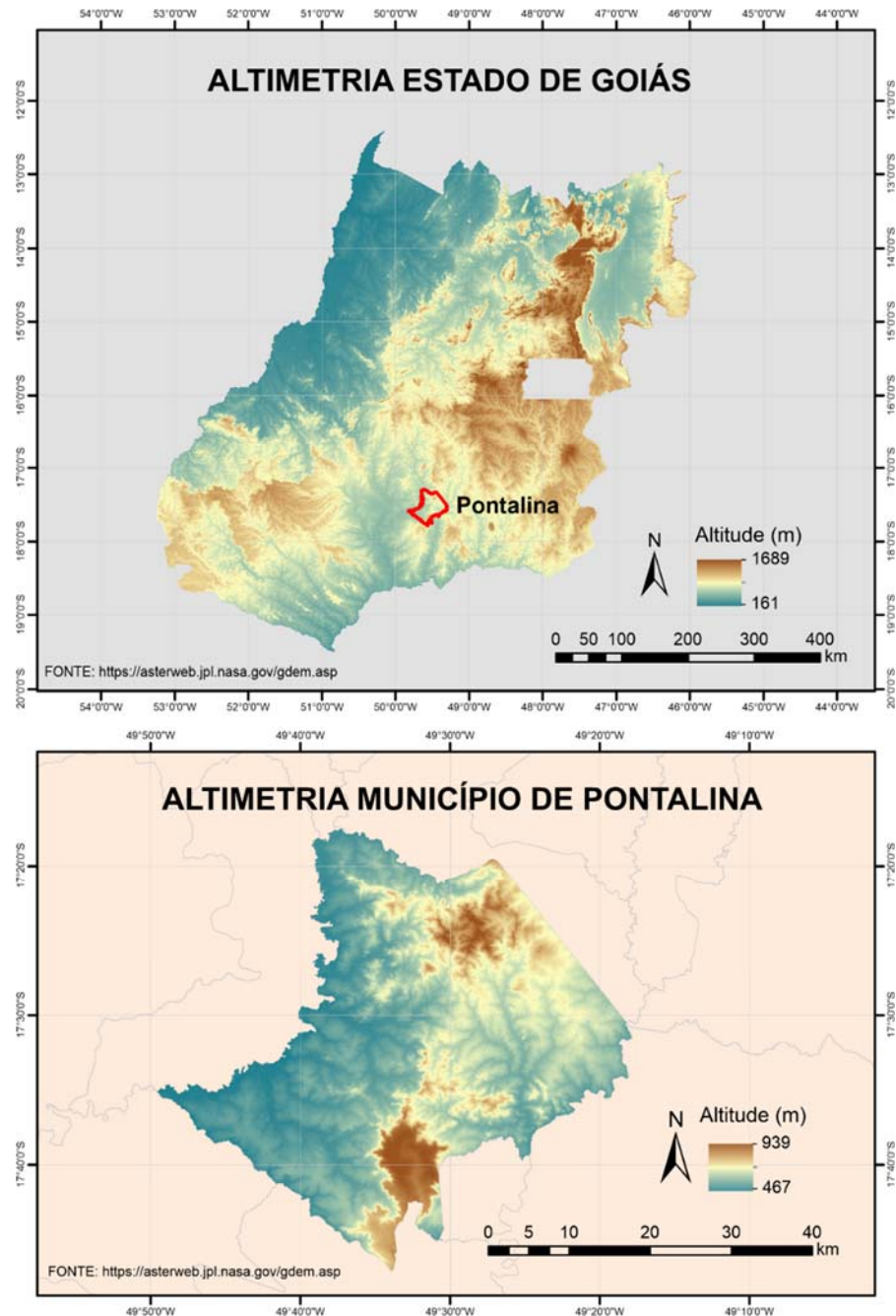


Figura 1 – Mapa de faixa de amplitude altimétrica para a região do município de Nova Crixás.

Os estudos topográficos foram realizados de acordo as etapas descritas de acordo com as Instruções de Projeto IP-14 – 2018/001.

Os resultados dos estudos topográficos seguem a IP-14 – 2018/001 e estão consubstanciados através dos desenhos do projeto geométrico, em escalas convenientes, apresentados anexo a esse relatório.

2.2. Elementos hidrológicos

2.2.1. Introdução

A ponte em estudo fará a transposição do Córrego Mateiro, portanto foi concentrada as atenções no conhecimento do córrego, registrando sua origem, assim como sua extensão desde a nascente até o ponto onde será ele será transposto, passando por referências e aos seus principais tributários, além de análises da bacia e sub bacias que compõe.

Para caracterização das bacias das OAE's, foram estudadas suas características morfométricas, tais como: área, forma, através do índice de compacidade, a elevação média através do estudo da declividade e com o traçado da curva hipsométrica e a drenagem de cada bacia, através do estudo de vazões.

2.2.2. Características Climáticas e Ambientais

2.2.2.1. Clima

A respeito do clima região Centro-Oeste do Brasil, Nimer (1989) afirma que esse é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. O tempo seco no meio do ano juliano (inverno) tem sua origem na estabilidade gerada pela influência do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de pequenas dorsais que se formam sobre a parte continental sul-americana. O período de chuva está associado ao deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCI, também conhecida como CIT), acompanhando a marcha aparente do sol em direção ao Trópico de Capricórnio. Sobre a porção central da América do Sul a CIT avança mais para sul do que nas regiões costeiras gerando instabilidade em todo o Brasil central nos meses de verão. Em função da influência da massa de ar tropical marítima e equatorial, as temperaturas são elevadas durante todo o ano. No inverno, quando a CIT está deslocada para norte, a região apresenta baixa ou nenhuma precipitação.

O clima predominante no Estado de Goiás pode ser classificado como quente e sub úmido com quatro a cinco meses secos (NASCIMENTO, 1991). Com características de monções marcantes, 80% das chuvas caem de novembro a março, já de maio a setembro, a umidade relativa do ar permanece abaixo de 70%. A sudoeste e a noroeste do Estado de Goiás, verificamos algumas peculiaridades. A noroeste ocorre estreita faixa onde o clima pode ser classificado como quente e úmido, e a sudoeste, região de interesse do presente trabalho, como sub úmido.

A precipitação anual média estipulada para o Estado fica em torno de 1500 mm. Na espacialização dos dados de chuva algumas regiões apresentaram grande discrepância em relação a outras. A região Sudoeste e algumas áreas na região Central apresentam precipitação média anual entre 1200 mm e 1400 mm (Figura 2).

No que diz respeito às áreas de volume de precipitação mais elevado, esses ocorrem em regiões extremamente pontuais. Os maiores volumes de precipitação média anual são encontrados na

região central no Norte do Estado de Goiás, e no município de Piracanjuba, no Sudeste do Estado de Goiás.

As precipitações nessas regiões ficam entre 2400 mm e 2800 mm, muito acima da média geral de todo o estado. Contudo, outras regiões apresentaram altos volumes de precipitação pluviométrica anual, como os da região Norte, Centro-Noroeste e Sudoeste, que apresentaram volumes entre 1800 mm e 2200 mm.

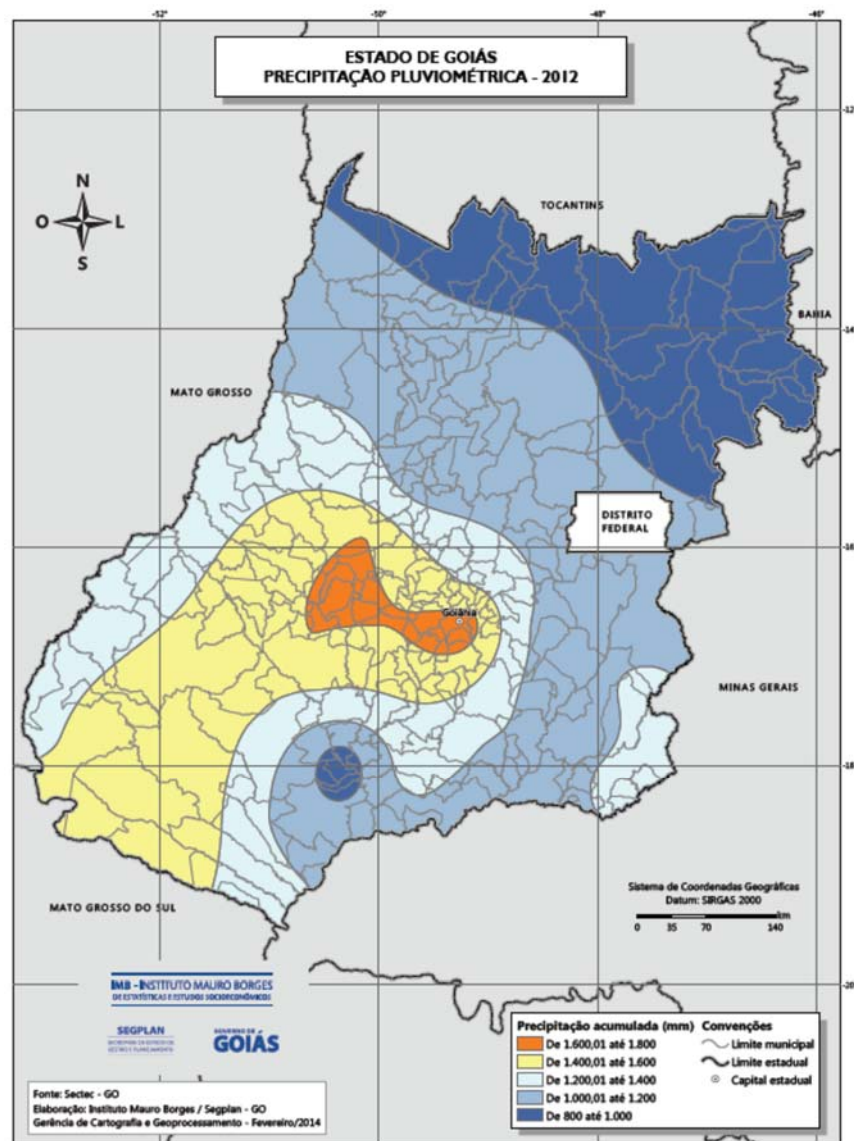


Figura 2 – Precipitação pluviométrica – Atlas do Estado de Goiás 2014.

Fonte: IMB

No Estado de Goiás os meses considerados secos vão de maio a setembro, totalizando cinco meses de período seco. Sendo os meses de outubro a abril os meses representantes da estação úmida, caracterizando a duração do período úmido em sete meses (Figura 3).

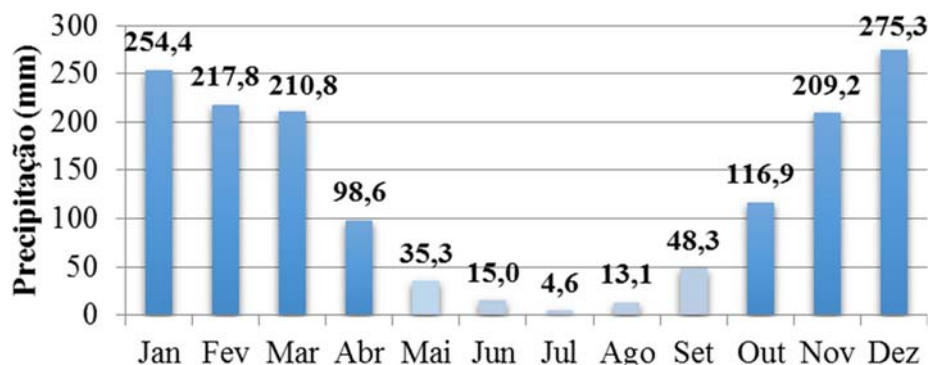


Figura 3 – Gráfico de Precipitação Média Mensal no Estado de Goiás.

Fonte: IMB

Com isso, podemos concluir que o ano hidrológico no Estado de Goiás começa em outubro, primeiro mês da estação úmida, e termina em setembro, último mês da estação seca. O mês de dezembro se apresenta como o mais úmido, enquanto o mês de julho é identificado como o mês mais seco.

O tipo de clima tropical se faz presente na maior parte do estado, apresentando como característica os invernos secos e os verões chuvosos. As temperaturas variam de acordo com a região; na porção sul do Estado giram em torno dos 20 °C aumentando ao norte para 25 °C.

A região em estudo apresenta as maiores médias anuais de temperatura, como demonstrado na Figura 9.

As temperaturas tendem a subir nas regiões oeste e norte, e a diminuir nas regiões sudoeste, sul e leste. As temperaturas mais altas são registradas entre setembro e outubro, e as máximas podem chegar a até 40 °C. As temperaturas mais baixas, por sua vez, são registradas entre os meses de maio e julho, quando as mínimas podem chegar a até 9 °C, dependendo da região do Estado, esta amplitude térmica não traz alterações significativas que afetem qualquer aspecto do presente projeto, nem em fase de construção nem em fase de operação.

Para a caracterização do clima da região situada próxima ao segmento rodoviário de interesse, buscou-se dados oriundos da metodologia adotada por Wladimir Köppen, que leva em consideração a quantidade de precipitações, a temperatura média e a umidade relativa.

Deve-se ressaltar que essa metodologia de classificação, assim como as outras desenvolvidas com a mesma finalidade, diferencia apenas megazonas climáticas, não apresentando suficiente eficiência para variações locais.

O clima é de natureza continental tropical, devido à sua posição continental, não sofrendo o efeito direto da confluência intertropical. Apresenta-se semiúmido com tendência a úmido, caracterizando-se, segundo Köppen, no tipo CWa, de savanas tropicais, com quatro a cinco meses secos. O período de chuvas regulares é de outubro a abril, conhecido como verão chuvoso, com maio sendo o mês de transição para o período seco. A estação das secas ocorre entre maio e setembro, no inverno seco, podendo ocorrer chuvas no mês de outubro. A precipitação pluviométrica média anual se situa entre 1.200 e 1.400mm.

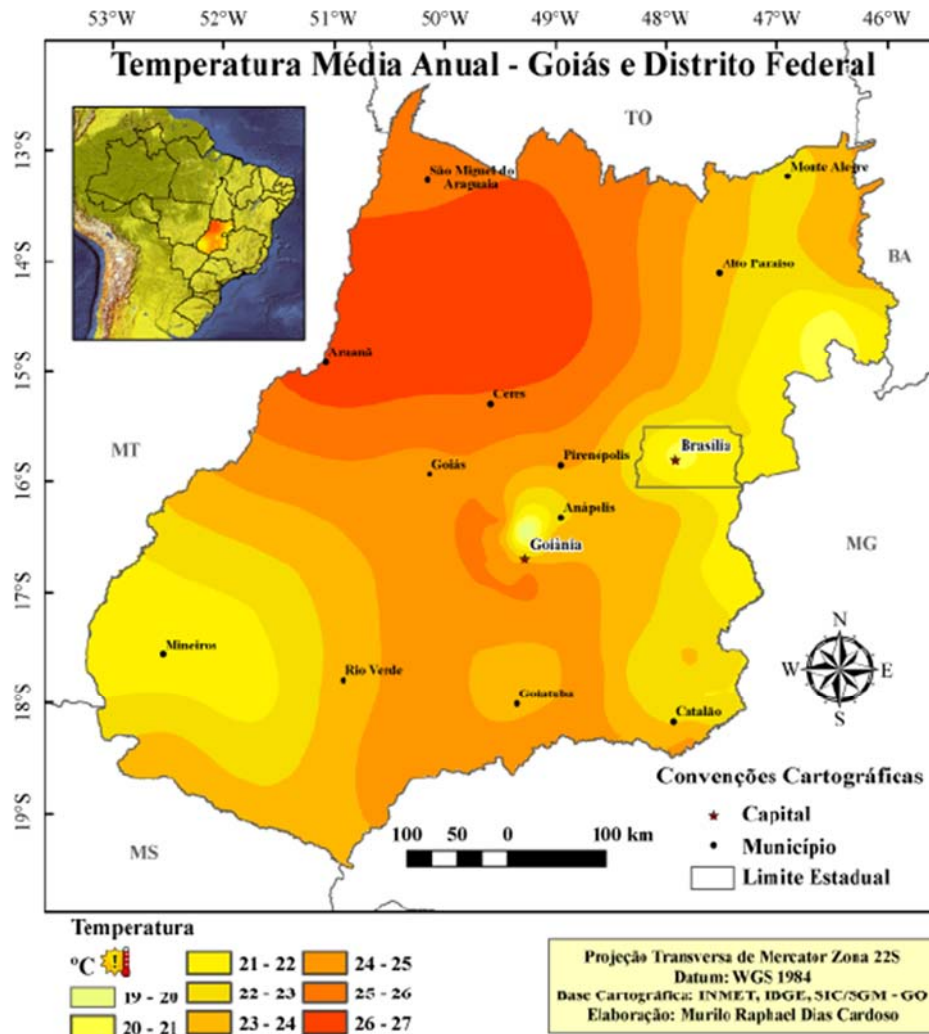


Figura 4 – Mapa de Temperatura Média Anual.

Fonte: IMB

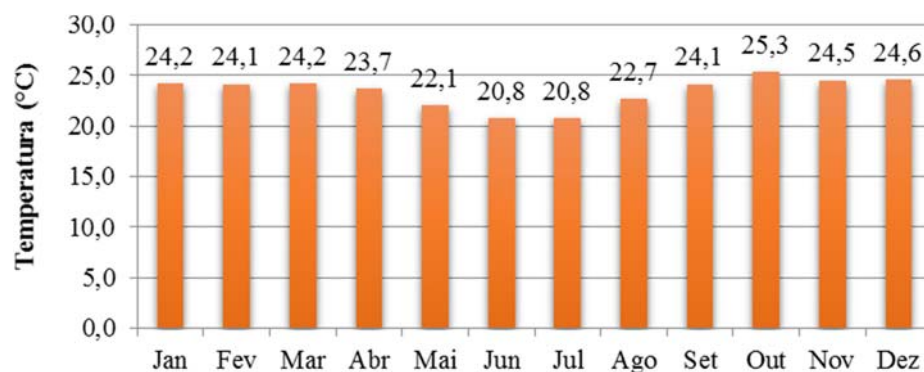


Figura 5 – Gráfico de Temperatura Média Mensal do Estado de Goiás.

Fonte: IMB

No Estudo de Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal (2014) foi estipulada a média de temperatura geral para o Estado de Goiás e o Distrito Federal num valor de 23,4°C. As maiores médias anuais de temperatura do ar na área de estudos foram encontradas na região noroeste com valores entre 26°C e 27°C. Enquanto os menores valores

foram encontrados, discretamente, na região central, entre Goiânia e Anápolis e ao leste nas imediações de Brasília.

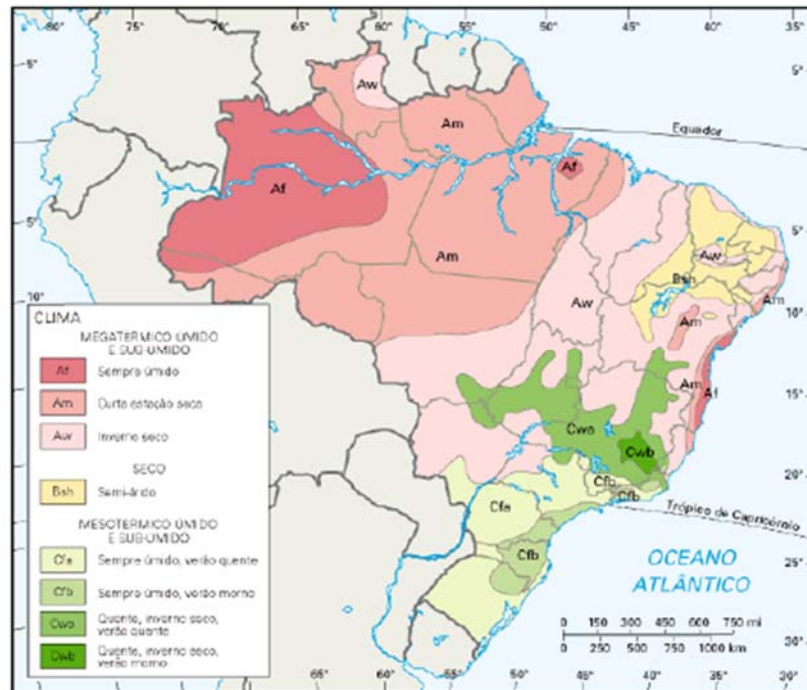


Figura 6 – Caracterização do clima – Classificação Wladimir Köppen – Brasil

Fonte: IBGE

Em relação a região Sudoeste, os baixos valores de precipitação pluviométrica média anual podem ser explicados pela ação das massas de ar que atuam nessa região, que tem atuação direta da massa de ar tropical atlântica, apesar de ter por característica de ser uma massa de ar que carrega umidade, tem essa umidade minada pelas grandes altitudes das regiões costeiras chegando à região Sudoeste do Estado de Goiás sem muita umidade.

Um importante fator que influencia o clima de uma determinada região é a altitude. No Estado de Goiás não existe grandes altitudes que sirvam, por assim dizer, de barreiras naturais às massas de ar que passem por essa região (ver Figura 7). A região mais baixa do Estado de Goiás está localizada no Noroeste goiano, com altitudes mínimas chegando a 186 m, próximas ao curso do Rio Araguaia.

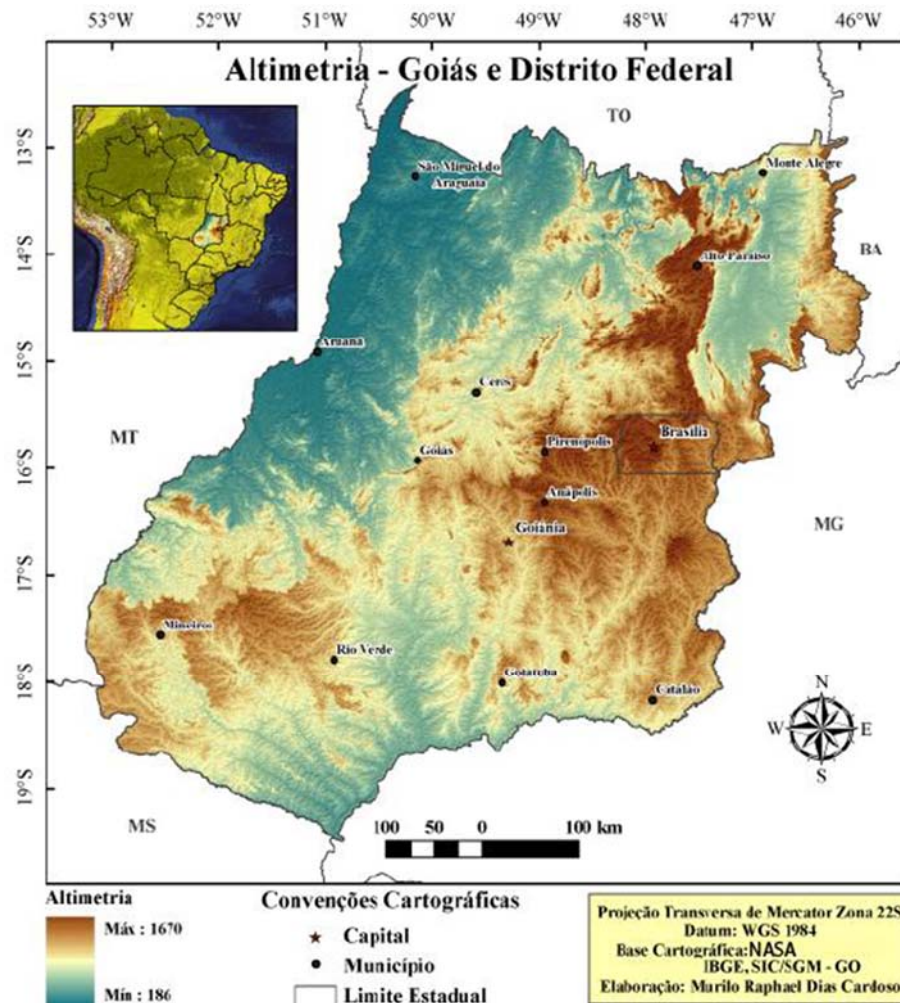


Figura 7 – Mapa Altimétrico do Estado de Goiás

Fonte: IBGE

2.2.2.2. Vegetação

Dados sobre os tipos de vegetação e uso do solo das regiões de interesse de projeto para construção de estruturas de drenagem ou de transposição de cursos d'água são extremamente importantes para formulação das características de escoamento superficial que interferem diretamente nos cálculos de enchentes através dos estudos hidrológicos.

A cobertura de solo no Estado de Goiás e no Distrito Federal, é representada por praticamente dois tipos de uso antrópico, pecuária e agricultura, e a maioria dos remanescentes da vegetação pioneira se encontram no Nordeste goiano e no Norte do Distrito Federal. O Estado de Goiás tem quase todo o seu território inserido dentro do bioma Cerrado, exceto 3,5% de sua área total, localizada no sudeste do estado, que está dentro do domínio do bioma Mata Atlântica.

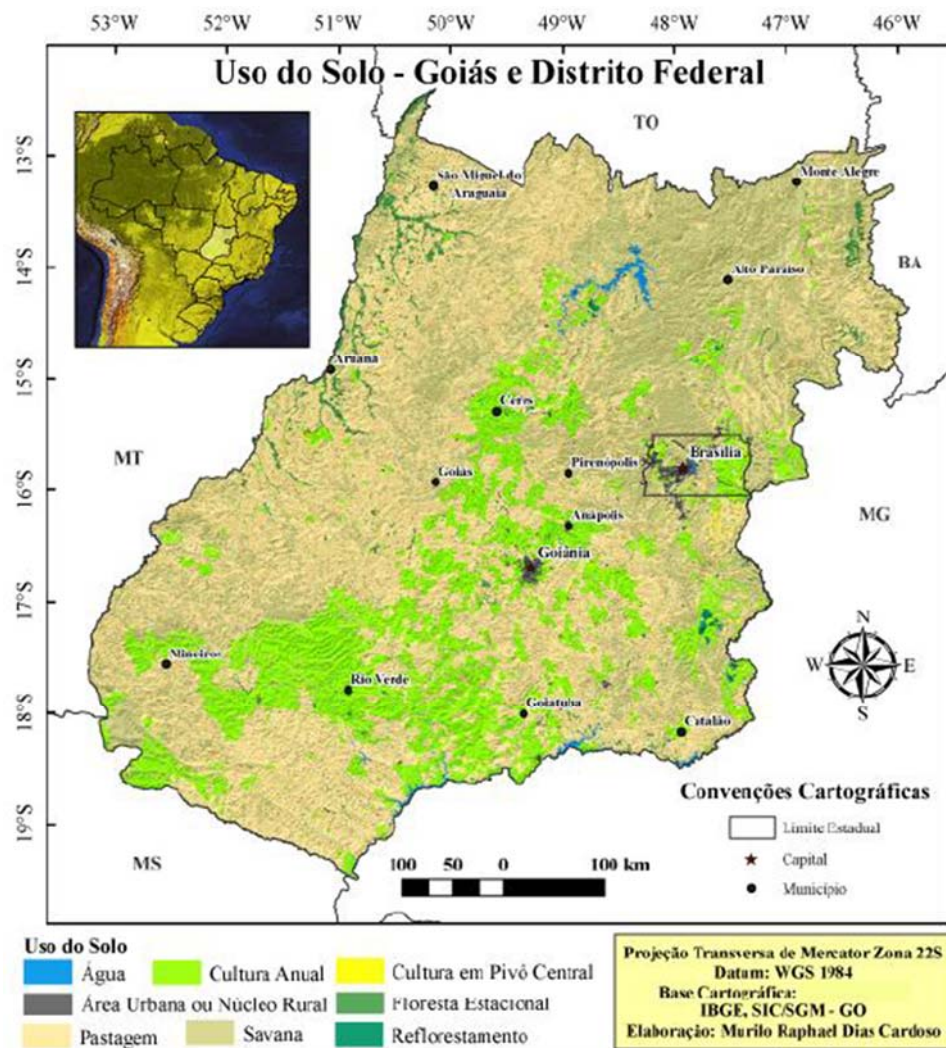


Figura 8 – Mapa de Uso do Solo do Estado de Goiás.

Fonte: IBGE

A região possui dois tipos de vegetação, próprias das áreas de Cultura (Savana / Atividade Agrária) e do Cerrado (Savana / Floresta Estacional) (ver Figura 8). As matas aparecem como manchas isoladas em algumas partes e são formadas por árvores grandes, como cedros, jatobás, jequitibá, peroba, aroeira e sucupira. Sua hidrografia, pertence à bacia do Araguaia, tendo os principais rios: Araguaia, Rio do Peixe e Rio Diamantino.

A vegetação que caracteriza a região é tipicamente de Cerrado. Essa composição vegetativa possui aspectos particulares, apresentando árvores de pequeno e médio porte, com até 15 metros e troncos retorcidos, esparsas em meio a arbustos e distribuídas sobre uma vegetação baixa, constituída em geral por gramíneas. Possuem cascas espessas e folhas grossas, e, em geral, raízes pivotantes, ligadas ao lençol freático o que pode propiciar seu desenvolvimento para até 15 metros de profundidade, garantido no período da seca a obtenção de água.

2.2.2.3. Hídrica

A Obra de Arte Especial, objeto do presente projeto, transpõe o córrego Mateiro, um dos afluentes do Rio Meia Ponte e possui bacia hidrográfica com área aproximada de 52 km².

A bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte possui área aproximada de 3.751 km², fazendo parte da Região Hidrográfica do Rio Paraná. A cobertura de vegetação está representada por dois biomas brasileiros: o Cerrado e fragmentos do Amazonas. Esta região apresenta com uma grande diversidade de ambientes biológicos, geológicos e geomorfológicos.

Estudos de integração de dados multidisciplinares, abrangendo vegetação, hidrologia, geomorfologia e geologia, indicam que o crescimento e a distribuição espacial das fitofisionomias do bioma Cerrado estão controlados principalmente pelas pequenas variações altimétricas do relevo, com a influência da precipitação anual e prolongada inundação sazonal entre janeiro e maio. As áreas pobremente drenadas e encharcadas nesse período favoreceram o crescimento de tipos de vegetação mais tolerantes à inundação, como as fisionomias mais herbáceas do bioma Cerrado (Campo Limpo e Campo Cerrado), enquanto as inundações por longo tempo inibem o crescimento dos tipos fisionômicos mais densos (Cerradão, Cerrado típico).

É uma bacia modificada pela ação antrópica e apresenta problemas hidro-ambientais, de demanda e disponibilidade hídrica, localizadas em algumas regiões.

O Estado de Goiás está subdividido em 5 bacias hidrográficas, sendo mais relevante as três maiores, do Paraná, Tocantins e Araguaia.

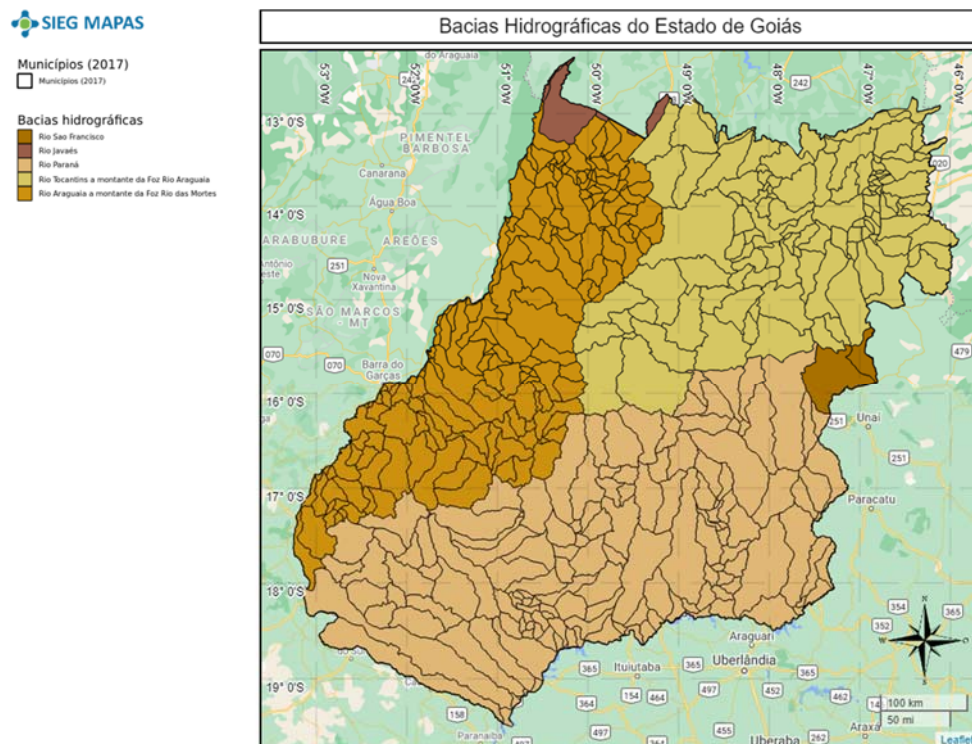


Figura 9 – Bacias Hidrográficas do Estado de Goiás.

Fonte: SIEG MAPAS

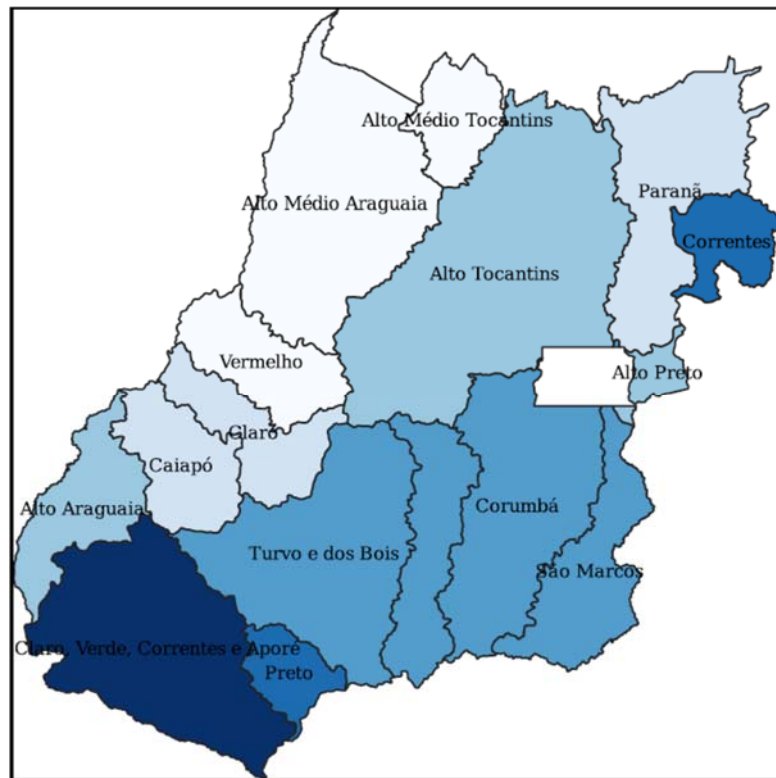


Figura 10 – Bacias Hidrográficas do Estado de Goiás.

Fonte: SIEG MAPAS

2.2.3. Estudos Hidrológicos

2.2.3.1. Considerações Gerais

Os estudos hidrológicos foram desenvolvidos a partir das orientações contidas na Instrução de projeto IP-03 da GOINFRA.

O presente item descreve as análises e estudos hidrológicos efetuados para o desenvolvimento do projeto executivo, tendo como objetivos principais:

- Determinação dos aspectos climáticos e fisiológicos da região;
- Qualificação do regime pluviométrico, através da determinação das chuvas intensas;
- Definição da metodologia para cálculo da descarga máxima provável;
- Caracterizar as condições de vazão máxima afluente da obra de arte ou de drenagem superficial, caso necessário compreendida na rodovia;
- Fornecer os subsídios e critérios necessários à determinação das vazões para verificação/ dimensionamento hidráulico da obra de especial;
- Informar também sobre as características e oscilações do nível do lençol freático, bem como, definir os regimes de chuvas e as climatologias específicas para a região cortada pela rodovia;

Entende-se como vazão máxima afluente, segundo o *U.S. Corps of Engineers* dos E.U.A, como “a vazão que pode ser esperada em consequência do conjunto mais desfavorável de condições meteorológicas e hidrológicas que podem ser razoavelmente consideradas como características da região geográfica interessada, excluindo as combinações extremamente raras.”

O conhecimento do regime anual de chuvas através das alturas de precipitações mensais permite também estabelecer a época mais propícia ao início de execução da obra.

2.2.3.2. Elementos utilizados

Na elaboração dos estudos hidrológicos foram utilizados os seguintes elementos:

- Dados de modelo digital gerado pelo projeto SRTM (Shuttle Radar Topograph Mission) e disponibilizado por download no site da EMBRAPA www.cnpm.embrapa.br;
- Dados pluviométricos de postos situados nas proximidades do trecho disponibilizado por download no site da Agência Nacional de Águas - ANA;
- Especificações e instruções de Projetos para Estudos Hidrológicos da Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte – GOINFRA (IP-03).

2.2.3.3. Coleta de dados disponíveis

Para determinação das vazões de projeto, foram seguidas as recomendações indicadas na Instrução de projeto IP-03 da GOINFRA, no Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (Publicação IPR-715 do DNIT), Manual de Drenagem de Rodovias (Publicação IPR-724 do DNIT) e Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos e Instruções de Serviços (Publicação IPR-726 do DNIT).

Os demais documentos e bibliografias consideradas na elaboração neste estudo estão apresentados a seguir:

- Planta na escala 1:100.000 (IBGE);
- Classificação Climática de Wladimir Köppen”, publicação do DNER;
- “Handbook of Applied Hidrology”, de VenTe Chow – 1964;
- “Engenharia de Drenagem Superficial”, de Paulo Sampaio Wilken (CETESB, 1970);
- “Drenagem Urbana – Manual de Projeto”, DAEE / CETESB, 1980;
- Dados Pluviométricos colhidos junto à Agência Nacional de Águas – ANA;
- Mapas Clima, Vegetação, Geomorfologia e Geologia fornecidos pelo IBGE;
- Geografia do Brasil, do IBGE.

2.2.3.4. Características pluviométricas

2.2.3.4.1. Acervo de dados pluviométricos

Atualmente, a Agência Nacional de Águas – ANA mantém um banco de dados no qual se encontram catalogados os postos pluviométricos instalados em todo o território nacional, estejam eles em operação ou mesmo desativados. Fornece, ainda, dentre outras informações, quais as entidades responsáveis pela manutenção e operação dos postos. Além disso, a ANA dispõe das séries históricas observadas ao longo do tempo quando o monitoramento dos postos pluviométricos é de sua responsabilidade ou quando as entidades responsáveis pelo monitoramento repassam à ANA as séries observadas.

Assim, os dados de chuvas obtidos para a região na qual se localiza o subtrecho se encontram disponíveis na internet, através do endereço eletrônico <http://www.ana.gov.br> no hidroweb.ana.gov.br.

2.2.3.4.2. Pluviometria Regional

Especificamente em relação às chuvas, foram obtidos alguns registros de séries pluviométricas históricas de localidades situadas na região, através da análise do banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, da Agência Nacional de Águas – ANA.

A estação pluviométrica definida foi da cidade de Pontalina (1749004), com 43 anos de observação (1974 a 2019) (ver Figura 11), por apresentar maior proximidade do local de interesse, uma maior parcela de dados consistidos e a confiabilidade da fonte.

A fonte tem validade e o devido reconhecimento: A ANA é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente e responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos brasileiros. Na Tabela 1 a seguir é apresentado o cadastro do posto pluviométrico no município de Pontalina.

Assim sendo, foram elaborados histogramas contendo um resumo das condições pluviométricas mínimas, médias e máximas mensais prevaletentes na área ao longo do ano com os dados já previamente consistidos estatisticamente, considerando os períodos de observação disponíveis do posto. Quando não existia informação em todos esses meses de um ano qualquer, o ano foi considerado como falha. Tais gráficos estão apresentados nas figuras 12 e 13 a seguir.

Tabela 1 – Cadastro posto pluviométrico - ANA

Nome da Estação	PONTALINA
Estado	Goiás
Município	Pontalina
Bacia	6 - RIO PARANÁ
Código de identificação	1749004
Latitude	-17,5169
Longitude	-49,4417
Data de Instalação	31/1/1973
Data atual	2019
Dados Fornecidos	Alturas diárias
Entidade	ANA
Equipamento	Pluviômetro

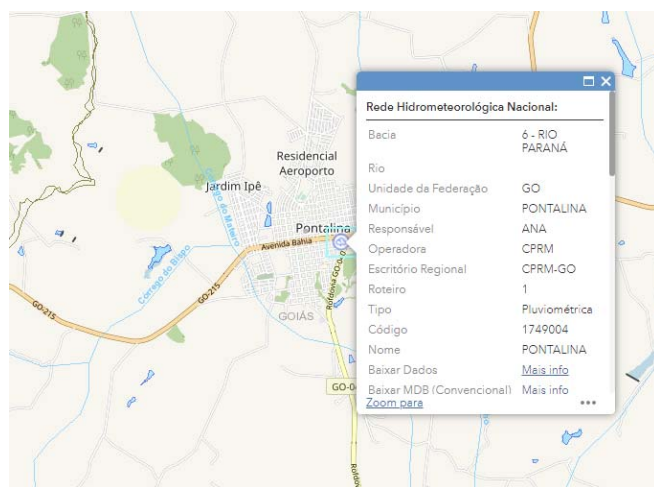


Figura 11 – Mapa de localização da Estação

Figura 12 – Dados de precipitações pluviométricas mensais e anuais (em mm) e número de dias de chuvas mensais e anuais.

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, da Agência Nacional de Águas – ANA

PLUVIOGRAMA

PRECIPITAÇÕES E NÚMERO DE DIAS DE CHUVA POR ANO

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	DIAGRAMA CLIMATOLÓGICO
PREC. MÁX. MENSAL (mm)	535,7	380	488,1	251,9	194,3	57,5	70,9	87,4	138,6	311,9	380,3	502,8	Pmáx: 1956,7 mm (Precip. Máxima Anual no Período)
PREC. MÉD. MENSAL (mm)	256,2	178,5	199,4	92,7	35,0	7,9	5,5	10,4	45,6	108,5	203,7	270,6	Pméd: 1414,1 mm (Precip. Média Anual no Período)
PREC. MÍN. MENSAL (mm)	54,2	42,5	64,2	4,3	0	0	0	0	0	40,5	44,2	86,3	Pmín: 995,7 mm (Precip. Mínima Anual no Período)
NDC MÁX. MENSAL (dias)	30	22	22	17	8	5	5	6	12	19	26	26	Nmáx: 137 (Máximo de dias de chuva por ano no período)
NDC MÉD. MENSAL (dias)	18	13	14	7	3	1	1	1	5	9	14	18	Nméd: 104 (Média de dias de chuva por ano no período)
NDC MÍN. MENSAL (dias)	3	4	6	1	0	0	0	0	0	4	5	8	Nmín: 74 (Mínimo de dias de chuva por ano no período)

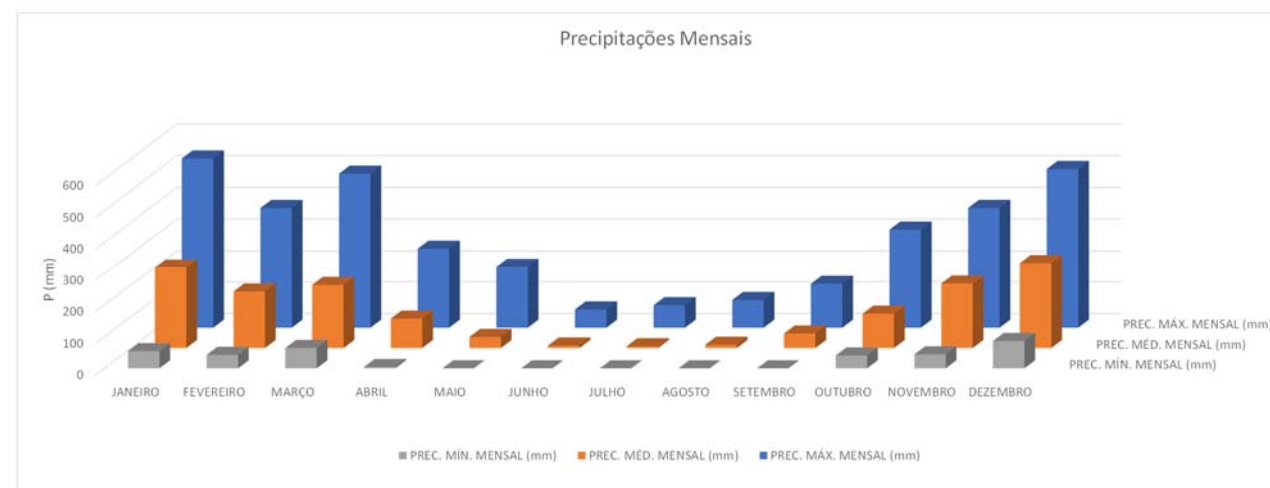
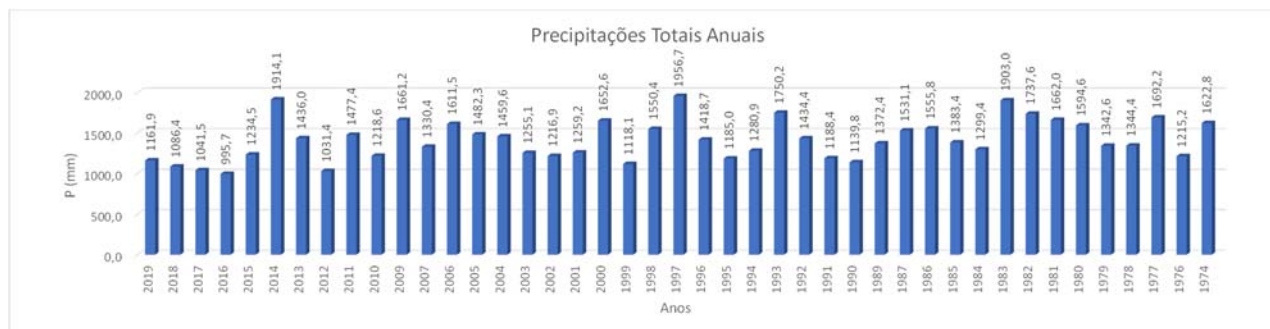


Figura 13 – Pluviograma – precipitações totais anuais, mensais e dias de chuva por ano.
Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, da Agência Nacional de Águas – ANA

A partir da análise dos resultados apresentados, podemos extrair as seguintes conclusões: o período chuvoso começa em outubro e termina em março, a precipitação pluviométrica média nesse período corresponde a aproximadamente 86,0% do total anual médio de 1.414,1 mm, enquanto a estação seca vai de abril até setembro, quando concentra 14,0% do total anual.

2.2.3.4.3. Metodologia utilizada na determinação dos valores de precipitação, duração e frequência de chuvas

Com os dados coletados de chuva diária, elaborou-se o presente estudo, visando à determinação das alturas para diferentes períodos de recorrência e diferentes durações.

A metodologia empregada foi o método de “Probabilidade Extrema de Gumbel”. Para este estudo escolheu-se a maior altura de chuva em cada ano durante todo o período, para o posto. Para tempos de duração menores que um dia, foram feitas correções pelo Método das Isozonas.

2.2.3.4.4. Probabilidade extrema de Gumbel

2.2.3.4.4.1. Procedimentos

A seguir, nas tabelas 2 e 3 são apresentados os cálculos que fornecem as relações entre as precipitações máximas, períodos de retorno e as probabilidades de ocorrência, para o posto estudado.

Descrição dos índices usados nos cálculos, para análise pluviométrica:

- P: Valor máximo de precipitação diária, no período de 1 ano;
- Pm: Precipitação média;
- M: Números de anos observados;
- F: Frequência de vazões de enchentes observadas;
- Tr: Tempo de recorrência;
- N: Número de ordem variável de 1 a “m”;
- Σ : Desvio padrão;
- K: Coeficiente que depende do número de amostras tomadas e do Período de recorrência. Valor tabelado por WEISE e REIDE;
- Pr: Fórmula devida a Ven te Chow, onde Pr é a precipitação para um certo período de recorrência;
- $Pr = Pm + (\sigma \times K)$.

Tabela 2 – Análise estatística pluviométrica das precipitações máximas diárias.

TABELAS DOS CÁLCULOS							
ANÁLISE ESTATÍSTICA PLUVIOMÉTRICA DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS							
DIA	P (mm)	Nº Ordem (n)	P ordenada (mm)	P-Pm	(P-Pm)²	F=n/(m+1)%	Tr=1/F
09/04/1974	116	1	139	56,5	3195,9	2,3%	44,0
19/12/1976	71	2	133,2	50,7	2573,8	4,5%	22,0
02/05/1977	100,3	3	132,5	50,0	2503,3	6,8%	14,7
17/12/1978	113,6	4	132,2	49,7	2473,3	9,1%	11,0
10/11/1979	55,2	5	124,6	42,1	1775,2	11,4%	8,8
09/12/1980	117	6	117	34,5	1192,5	13,6%	7,3
23/01/1981	78,2	7	116	33,5	1124,4	15,9%	6,3
24/01/1982	70,2	8	115,5	33,0	1091,1	18,2%	5,5
26/12/1983	92,8	9	113,6	31,1	969,2	20,5%	4,9
01/04/1984	83,6	10	106,6	24,1	582,4	22,7%	4,4
22/01/1985	97,2	11	106,6	24,1	582,4	25,0%	4,0
30/12/1986	77,4	12	100,3	17,8	318,0	27,3%	3,7
22/10/1987	95,4	13	97,2	14,7	217,0	29,5%	3,4
10/12/1989	81,2	14	95,4	12,9	167,3	31,8%	3,1
04/01/1990	67,8	15	92,8	10,3	106,8	34,1%	2,9
05/10/1991	59,2	16	88,8	6,3	40,1	36,4%	2,8
27/11/1992	65,8	17	86	3,5	12,5	38,6%	2,6
04/02/1993	88,8	18	83,6	1,1	1,3	40,9%	2,4
04/03/1994	72,6	19	81,2	-1,3	1,6	43,2%	2,3
31/12/1995	132,2	20	79	-3,5	12,0	45,5%	2,2
12/02/1996	72,6	21	78,2	-4,3	18,2	47,7%	2,1
05/01/1997	75,4	22	77,4	-5,1	25,7	50,0%	2,0
08/11/1998	60,1	23	75,4	-7,1	49,9	52,3%	1,9
28/12/1999	133,2	24	72,6	-9,9	97,4	54,5%	1,8
07/02/2000	115,5	25	72,6	-9,9	97,4	56,8%	1,8
28/12/2001	106,6	26	71,2	-11,3	127,0	59,1%	1,7
02/01/2002	71,2	27	71	-11,5	131,5	61,4%	1,6
27/03/2003	68,9	28	70,2	-12,3	150,5	63,6%	1,6
13/12/2004	106,6	29	69,6	-12,9	165,6	65,9%	1,5
09/01/2005	124,6	30	68,9	-13,6	184,1	68,2%	1,5
08/10/2006	64,8	31	67,8	-14,7	215,1	70,5%	1,4
22/03/2007	69,6	32	65,8	-16,7	277,8	72,7%	1,4
06/12/2009	132,5	33	64,8	-17,7	312,1	75,0%	1,3
01/01/2010	62	34	62	-20,5	418,9	77,3%	1,3
21/03/2011	86	35	61,3	-21,2	448,1	79,5%	1,3
04/11/2012	53	36	60,1	-22,4	500,3	81,8%	1,2
14/03/2013	79	37	59,2	-23,3	541,4	84,1%	1,2
23/12/2014	139	38	55,2	-27,3	743,5	86,4%	1,2
06/02/2015	51,9	39	53	-29,5	868,3	88,6%	1,1
19/01/2016	19,9	40	51,9	-30,6	934,4	90,9%	1,1
21/11/2017	61,3	41	37,5	-45,0	2022,1	93,2%	1,1
25/10/2018	19,4	42	19,9	-62,6	3914,7	95,5%	1,0
11/03/2019	37,5	43	19,4	-63,1	3977,5	97,7%	1,0

CÁLCULO DA CHUVA DE UM DIA, NO TEMPO DE RECORRÊNCIA PREVISTO	
EQUAÇÕES	RESULTADO
MÉDIA: $Pm = \frac{\sum P}{n}$	82,47
DESVIO PADRÃO: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Pm - P)^2}{m - 1}}$	28,93
FÓRMULA DE VEM THE CHOW: $Pr = Pm + \sigma \times k$	82,47 + 28,93 x K
$P1000 = P100 + (P100 - P10)$	
$P10000 = P1000 + (P1000 - P100)$	

TEMPO DE RECORRÊNCIA	K (38 anos)	Pr (mm)
5 ANOS	0,832	106,54
10 ANOS	1,485	125,43
15 ANOS	1,850	136,00
20 ANOS	2,112	143,58
25 ANOS	2,311	149,33
50 ANOS	2,924	167,07
100 ANOS	3,532	184,66
1.000 ANOS	-	243,89
10.000 ANOS	-	303,12

Fonte: "Hidrologia Básica", Nelson L de Sousa Pinto, SP, 1976

Tabela 3 – Valores de K para o Período de Recorrência (Tr, anos).

N/Tr	5	10	15	20	25	50	100
10	1,058	1,848	2,289	2,606	2,847	3,588	4,323
11	1,034	1,809	2,242	2,553	2,789	3,516	4,238
12	1,013	1,777	2,202	2,509	2,741	3,456	4,166
13	0,996	1,748	2,168	2,470	2,699	3,405	4,105
14	0,981	1,724	2,138	2,437	2,663	3,360	4,052
15	0,967	1,703	2,112	2,410	2,632	3,321	4,005
16	0,955	1,682	2,087	2,379	2,601	3,283	3,959
17	0,943	1,664	2,066	2,355	2,575	3,250	3,921
18	0,934	1,649	2,047	2,335	2,552	3,223	3,888
19	0,926	1,636	2,032	2,317	2,533	3,199	3,860
20	0,919	1,625	2,018	2,302	2,517	3,179	3,836
21	0,911	1,613	2,004	2,286	2,500	3,157	3,810
22	0,905	1,603	1,992	2,272	2,484	3,138	3,787
23	0,899	1,593	1,980	2,259	2,470	3,121	3,766
24	0,893	1,584	1,969	2,247	2,457	3,104	3,747
25	0,888	1,575	1,958	2,235	2,444	3,088	3,729
26	0,883	1,568	1,949	2,224	2,432	3,074	3,711
27	0,879	1,560	1,941	2,215	2,422	3,061	3,696
28	0,874	1,553	1,932	2,205	2,412	3,048	3,681
29	0,870	1,547	1,924	2,196	2,402	3,037	3,667
30	0,866	1,541	1,917	2,188	2,393	3,026	3,653
31	0,863	1,535	1,910	2,180	2,385	3,015	3,641
32	0,860	1,530	1,904	2,173	2,377	3,005	3,629
33	0,856	1,525	1,897	2,166	2,369	2,996	3,618
34	0,853	1,520	1,892	2,160	2,362	2,987	3,608
35	0,851	1,516	1,886	2,152	2,354	2,979	3,598
36	0,848	1,511	1,881	2,147	2,349	2,971	3,588
37	0,845	1,507	1,876	2,142	2,344	2,963	3,579
38	0,843	1,503	1,871	2,137	2,338	2,957	3,571
39	0,840	1,499	1,867	2,131	2,331	2,950	3,563
40	0,838	1,495	1,862	2,126	2,326	2,943	3,554
41	0,836	1,492	1,858	2,121	2,321	2,936	3,547
42	0,834	1,489	1,854	2,117	2,316	2,930	3,539
43	0,832	1,485	1,850	2,112	2,311	2,924	3,532
44	0,830	1,482	1,846	2,108	2,307	2,919	3,526
45	0,828	1,478	1,842	2,104	2,303	2,913	3,519
46	0,826	1,476	1,839	2,100	2,298	2,908	3,513
47	0,824	1,474	1,836	2,096	2,294	2,903	3,507
48	0,823	1,471	1,832	2,093	2,290	2,893	3,501
49	0,821	1,469	1,830	2,090	2,287	2,894	3,496
50	0,820	1,466	1,827	2,086	2,283	2,889	3,490
51	0,818	1,464	1,824	2,083	2,280	2,885	3,486
52	0,817	1,462	1,821	2,080	2,276	2,881	3,481
53	0,815	1,459	1,818	2,077	2,273	2,875	3,474
54	0,814	1,457	1,816	2,074	2,270	2,873	3,471
55	0,813	1,455	1,813	2,071	2,267	2,869	3,467
56	0,812	1,453	1,811	2,069	2,264	2,865	3,462
57	0,810	1,451	1,809	2,066	2,261	2,862	3,458
58	0,809	1,449	1,806	2,064	2,258	2,858	3,454
59	0,808	1,448	1,804	2,061	2,256	2,855	3,450
60	0,807	1,446	1,802	2,059	2,253	2,852	3,446

2.2.3.4.5. Método das Isozonas

2.2.3.4.5.1. Considerações

A necessidade de conhecimento das alturas de precipitação para tempos de duração inferiores a 24 horas, e a baixa densidade de postos pluviográficos que possam proporcionar estes dados, obrigam a extrapolação destes postos distantes até o local de projeto. O método utilizado para esta extrapolação é o das Isozonas. Esta correlação permite, de maneira simples, a dedução da precipitação para os tempos de concentração necessários inferiores a 24 horas.

O trabalho do Engº Torrico partiu da observação que para determinadas áreas geográficas, ao se desenhar em um papel de probabilidade as precipitações de 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil, e prolongando-se as respectivas retas de altura de precipitação/duração, estas tendem a cortar o eixo das abscissas em um mesmo ponto. Esta tendência significa que, em cada área homóloga, a relação entre as precipitações de 1 e 24 horas, para um mesmo tempo de recorrência, é constante e independente de alturas de precipitação.

A estas áreas homólogas, o autor denominou de Isozonas e elaborou um mapa relacionando as alturas de precipitações máximas com duração de 1 a 24 horas para tempo de recorrência de 5 a 10.000 anos e com duração de 6 minutos e 24 horas para tempo de recorrência de 5 a 100 anos.

2.2.3.4.5.2. Procedimento

Descrição da metodologia adotada:

- A partir do estudo estatístico, citado anteriormente, calculou-se para o posto em estudo, a chuva de um dia, no tempo de recorrência previsto;
- Converteu-se esta chuva de um dia, em chuva de 24 horas, multiplicando-se esta, pelo coeficiente 1.10, que é a relação 24 horas / 1 dia;
- Determinou-se no Mapa de Isozonas, a Isozona correspondente a região do projeto;
- Em nosso estudo a Isozona utilizada foi a Isozona “E”;
- Após ter-se determinado a Isozona, fixam-se para ela as porcentagens correspondentes a 6 minutos e 1 hora;
- Após a determinação das alturas de precipitação para duração de 24 horas, 1 hora e 6 minutos, para cada tempo de recorrência considerado, marcaram-se estes valores no papel de probabilidade de Hershfield e Wilson, e ligando-se os pontos marcados, obtiveram-se as alturas de precipitação para qualquer duração entre 6 minutos e 24 horas.

Na figura 20 é apresentado o método das Isozonas de igual relação. Na tabela 4 são apresentadas as memórias de cálculo.

Com esses valores, foram então traçadas no papel de probabilidades de Hershfield e Wilson, as retas das precipitações, onde se pode ler a altura de chuva para qualquer tempo de duração de chuva entre 6 minutos e 24 horas. Na figura 21 é apresentado do gráfico de altura da chuva x tempo de duração variando o tempo de recorrência.

ISOZONA	1H / 24H							6 MIN / 24H	
	5	10	15	20	25	50	100	5-50	100
ISOZONA "A"	36,2	35,8	35,6	35,6	35,4	35,0	34,7	7,0	6,3
ISOZONA "B"	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5
ISOZONA "C"	40,1	39,7	39,5	39,5	39,2	38,6	38,4	8,8	8,5
ISOZONA "D"	42,0	41,8	41,4	41,2	41,1	40,7	40,3	11,2	10,0
ISOZONA "E"	44,9	43,6	43,3	43,2	43,0	42,6	42,2	12,6	11,2
ISOZONA "F"	46,0	45,6	45,3	45,1	44,9	44,5	44,1	13,2	12,4
ISOZONA "G"	47,9	47,6	47,2	47,0	46,6	46,7	45,1	15,4	13,7
ISOZONA "H"	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,3	47,8	16,7	14,9

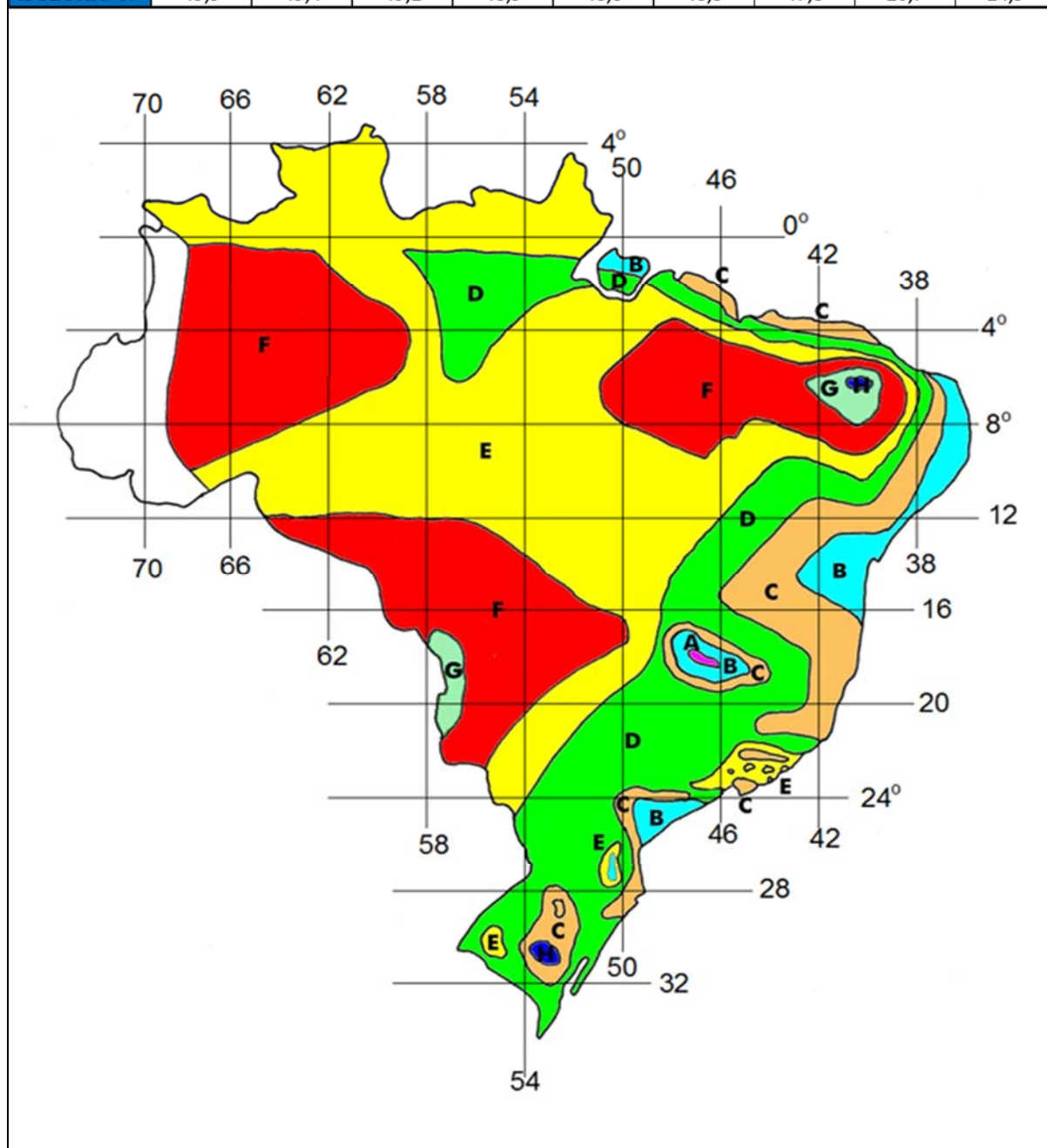


Figura 14 – Método das isozonas de igual relação.

Fonte: Engº Torrico.

Tabela 3 – Memória de cálculo isozona E.

ISOZONA "E"											
TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS		1 hora / 24 horas chuva (A)						6 min / 24 horas (B)			
		5	10	15	20	25	50	100	5 a 50	100	
PORCENTAGEM		44,9%	43,6%	43,3%	43,2%	43,0%	42,6%	42,2%	12,6%	11,2%	

TEMPO DE RECORRÊNCIA											
DURAÇÃO		5	10	15	20	25	50	100			
		117,19	137,98	149,59	157,93	164,27	183,78	203,13			
24 horas (C)		52,62	60,16	64,77	68,23	70,63	78,29	85,72			
1 hora (D)		14,77	17,39	18,85	19,90	20,70	23,16	22,75			
6 min (E)											

Notas: 1. $(C) = PTR(mm) \times 1,10$, onde PTR é dado pela fórmula de VEM TECHOW
2. $(D) = (C) \times (A)$
3. $(E) = (C) \times (B)$

QUADRO DE PRECIPITAÇÕES E INTENSIDADES, EM FUNÇÃO DA DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DO TEMPO DE RECORRÊNCIA																	
TEMPO DE RECORRÊNCIA		5 ANOS		10 ANOS		15 ANOS		20 ANOS		25 ANOS		50 ANOS		100 ANOS			
		P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)		
TEMPO DE DURAÇÃO DE CHUVA																	
6 min	0,1 h	14,77	147,67	17,39	173,85	18,85	188,49	19,90	199,00	20,70	206,98	23,16	231,56	22,75	227,50		
12 min	0,2 h	25,24	126,18	29,22	146,08	31,55	157,74	33,26	166,32	34,51	172,53	38,43	192,13	40,16	200,81		
36 min	0,6 h	43,31	72,18	49,64	82,73	53,47	89,12	56,34	93,90	58,35	97,25	64,74	107,89	70,23	117,05		
60 min	1,0 h	52,62	52,62	60,16	60,16	64,77	64,77	68,23	68,23	70,63	70,63	78,29	78,29	85,72	85,72		
120 min	2,0 h	63,65	31,82	73,45	36,73	79,26	39,63	83,55	41,77	87,13	43,57	96,31	48,15	105,77	52,89		
240 min	4,0 h	76,34	19,08	88,75	22,19	95,93	23,98	101,18	25,29	106,13	26,53	117,04	29,26	128,85	32,21		
1440 min	24,0 h	117,19	4,88	137,98	5,75	149,59	6,23	157,93	6,58	164,27	6,84	183,78	7,66	203,13	8,46		

Obs.: As precipitações de 0,1 hora, 1 hora e 24 horas foram plotadas no papel de probabilidade de "Hershfeld e Wilson", sendo as demais obtidas pela interpolação gráfica.

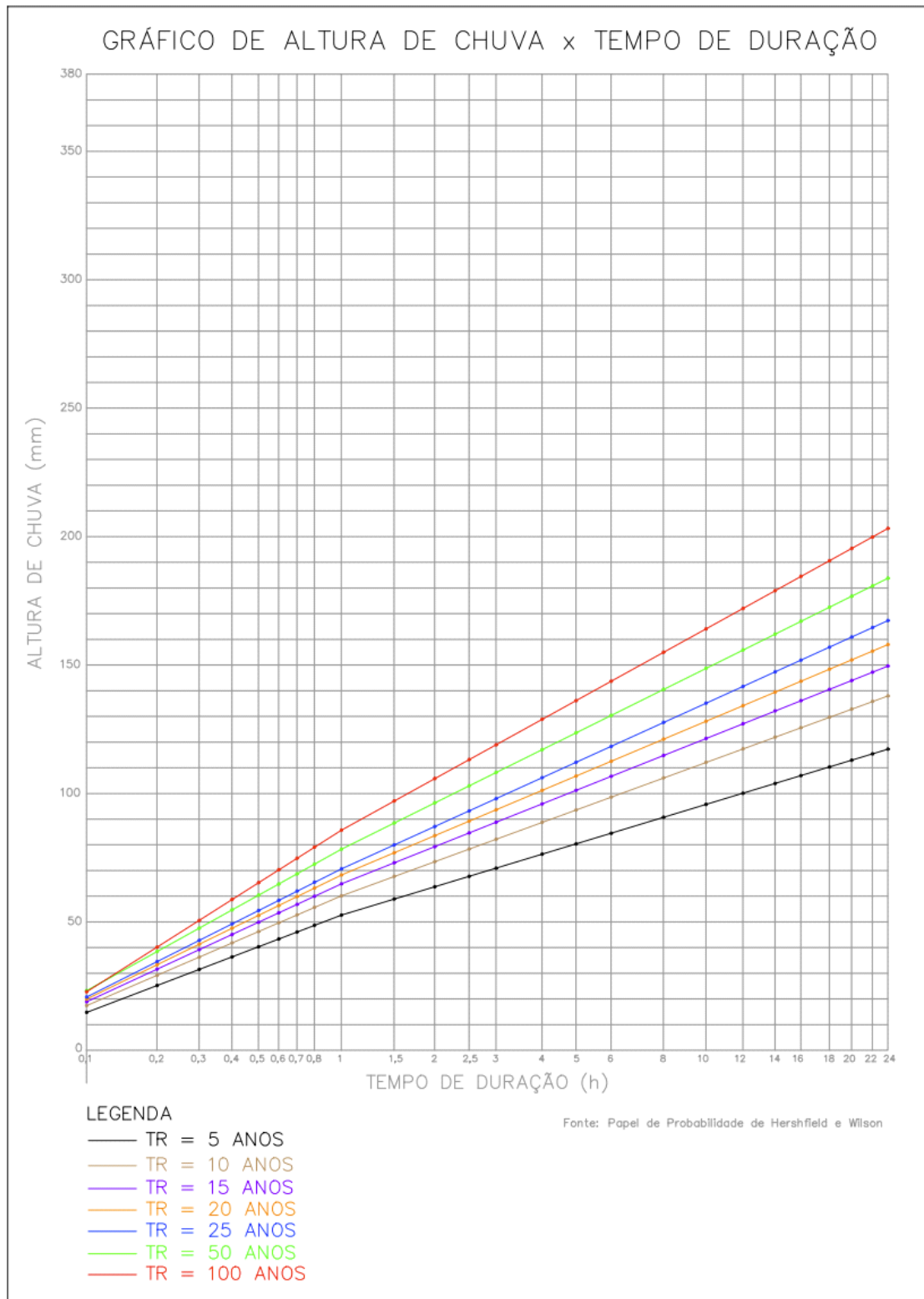


Figura 15 – Gráfico de altura de chuva x tempo de duração.
Fonte: Hershfield e Wilson.

Na tabela 4 e figura 16 a seguir, estão apresentados os valores de intensidade pluviométrica (em mm/h) e de precipitação total (em mm), obtidos a partir das leituras para chuvas intensas com durações entre 5 e 1.440 minutos, e períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

Tabela 4 – Valores de intensidade pluviométrica (em mm/h) e de precipitação total (em mm).

		PRECIPITAÇÃO (mm)						
DURAÇÃO		PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)						
MINUTOS	HORAS	TR = 5	TR = 10	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100
6	0,1	14,77	17,39	18,85	19,90	20,70	23,19	22,75
12	0,2	25,24	29,22	31,55	33,26	34,51	38,43	40,16
18	0,3	31,47	36,26	39,11	41,22	42,73	47,50	50,53
24	0,4	36,37	41,80	45,06	47,48	49,19	54,64	58,69
30	0,5	40,29	46,23	49,82	52,49	54,37	60,35	65,21
36	0,6	43,31	49,64	53,47	56,34	58,35	64,74	70,23
42	0,7	46,04	52,72	56,79	59,83	61,95	68,71	74,77
48	0,8	48,63	55,65	59,93	63,14	65,37	72,48	79,08
60	1	52,62	60,16	64,77	68,23	70,63	78,29	85,72
90	1,5	58,86	67,68	72,96	76,89	79,96	88,48	97,06
120	2	63,65	73,45	79,26	83,55	87,13	96,31	105,77
150	2,5	67,71	78,34	84,59	89,19	93,21	102,94	113,16
180	3	70,88	82,17	88,76	93,60	97,97	108,13	118,93
240	4	76,34	88,75	95,93	101,18	106,13	117,04	128,85
300	5	80,33	93,56	101,17	106,73	112,11	123,56	136,11
360	6	84,48	98,56	106,63	112,50	118,32	130,35	143,66
480	8	90,68	106,03	114,76	121,10	127,59	140,47	154,92
600	10	95,70	112,08	121,36	128,08	135,11	148,67	164,05
720	12	100,07	117,35	127,10	134,15	141,65	155,81	172,00
840	14	103,86	121,92	132,08	139,41	147,32	162,00	178,89
960	16	106,92	125,60	136,10	143,67	151,90	167,00	184,46
1080	18	110,27	129,64	140,50	148,32	156,92	172,48	190,55
1200	20	112,89	132,80	143,94	151,96	160,84	176,76	195,32
1320	22	115,37	135,78	147,20	155,40	164,54	180,80	199,82
1440	24	117,19	137,98	149,59	157,93	167,27	183,78	203,13

		INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/h)						
DURAÇÃO		PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)						
MINUTOS	HORAS	TR = 5	TR = 10	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100
6	0,1	147,70	173,90	188,50	199,00	207,00	231,90	227,50
12	0,2	126,18	146,08	157,74	166,32	172,53	192,13	200,81
18	0,3	104,90	120,87	130,37	137,41	142,43	158,33	168,44
24	0,4	90,93	104,50	112,64	118,70	122,99	136,59	146,72
30	0,5	80,59	92,46	99,63	104,98	108,74	120,69	130,42
36	0,6	72,18	82,73	89,12	93,90	97,25	107,89	117,05
42	0,7	65,77	75,32	81,12	85,47	88,50	98,16	106,82
48	0,8	60,79	69,57	74,91	78,92	81,71	90,60	98,85
60	1	52,62	60,16	64,77	68,23	70,63	78,29	85,72
90	1,5	39,24	45,12	48,64	51,26	53,31	58,99	64,71
120	2	31,82	36,73	39,63	41,77	43,57	48,15	52,89
150	2,5	27,08	31,34	33,84	35,68	37,29	41,18	45,26
180	3	23,63	27,39	29,59	31,20	32,66	36,04	39,64
240	4	19,08	22,19	23,98	25,29	26,53	29,26	32,21
300	5	16,07	18,71	20,23	21,35	22,42	24,71	27,22
360	6	14,08	16,43	17,77	18,75	19,72	21,72	23,94
480	8	11,33	13,25	14,35	15,14	15,95	17,56	19,37
600	10	9,57	11,21	12,14	12,81	13,51	14,87	16,41
720	12	8,34	9,78	10,59	11,18	11,80	12,98	14,33
840	14	7,42	8,71	9,43	9,96	10,52	11,57	12,78
960	16	6,68	7,85	8,51	8,98	9,49	10,44	11,53
1080	18	6,13	7,20	7,81	8,24	8,72	9,58	10,59
1200	20	5,64	6,64	7,20	7,60	8,04	8,84	9,77
1320	22	5,24	6,17	6,69	7,06	7,48	8,22	9,08
1440	24	4,88	5,75	6,23	6,58	6,97	7,66	8,46

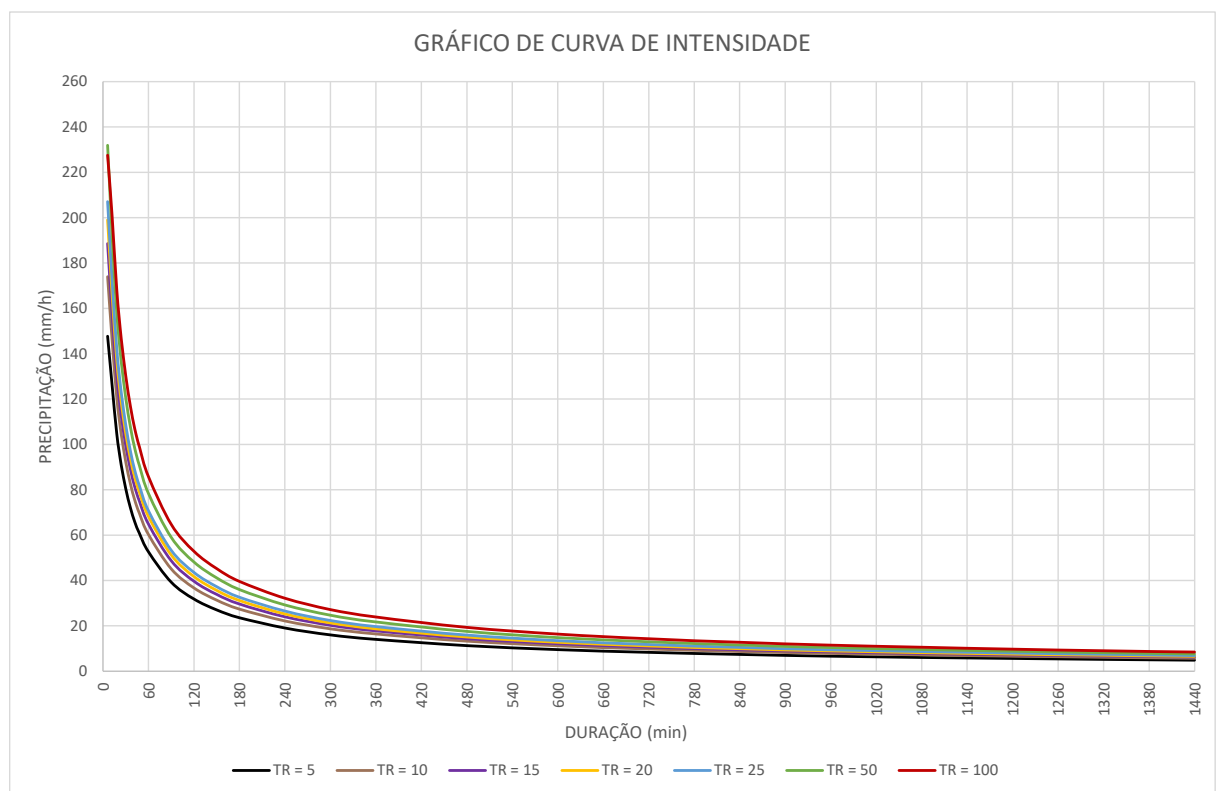
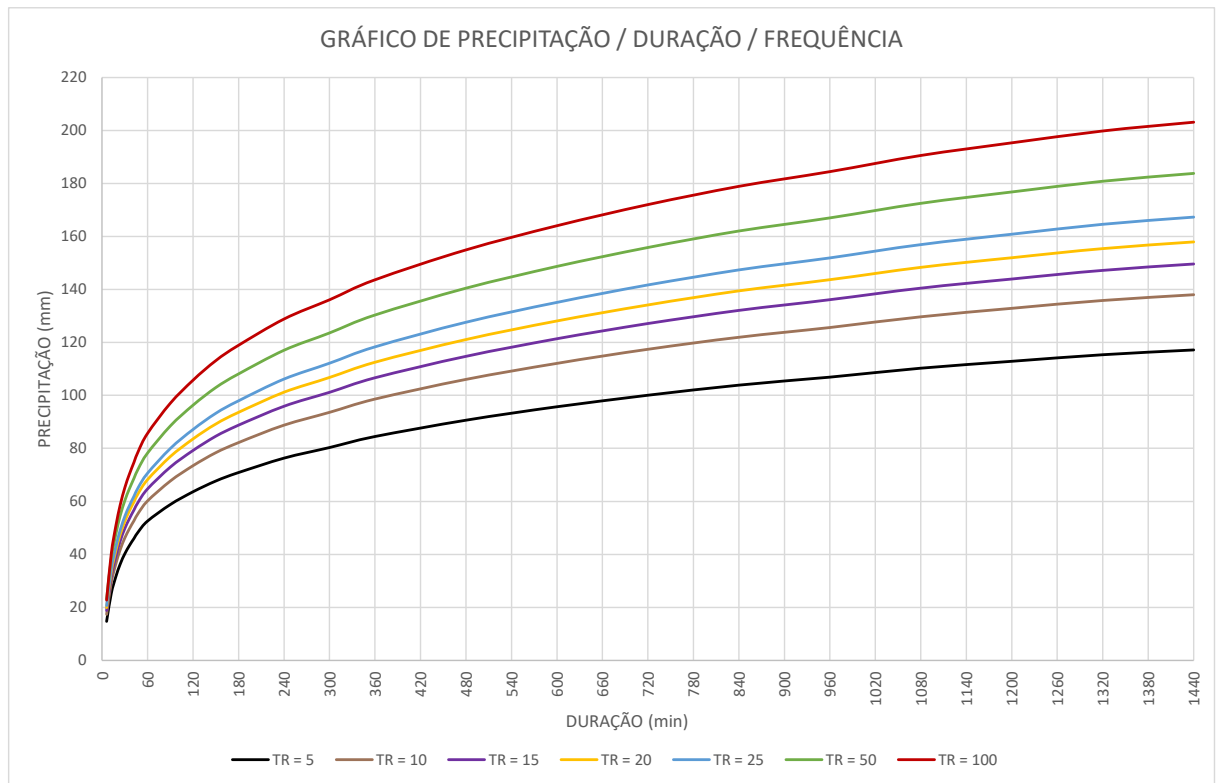


Figura 16 – Gráficos de precipitação, duração e frequência e gráfico de curva de intensidade.
Fonte: Autor.

2.2.3.4.5.3. Tempo de recorrência (TR)

O tempo de recorrência para o projeto dos dispositivos de drenagem foi fixado, levando-se em consideração os seguintes fatores:

- Importância e segurança da obra;
- No caso de interrupção do tráfego, os prejuízos econômicos;
- Danos às obras de drenagem;
- Estimativa de custos de restauração, na hipótese de destruição;
- Periculosidade de subestimação das vazões pelos danos que as cheias possam ocasionar às populações ribeirinhas e às propriedades;
- Outros fatores de ordem econômica.

Para o estudo em questão foram adotados os seguintes tempos de recorrência, os quais estão em conformidade com a Instrução de Projeto IP-03 da GOINFRA:

- Drenagem Superficial: 10 anos;
- Bueiro Tubular: 15 anos (como canal) e 25 anos (como orifício);
- Bueiro Celular: 25 anos (como canal) e 50 anos (como orifício);
- Pontes: 100 anos.

2.2.3.4.5.4. Declividade efetiva

A fim de contribuir ainda mais na precisão das variáveis utilizadas para se chegar ao valor real da vazão da bacia contribuinte, utiliza-se o cálculo da declividade efetiva, como é mostrado a seguir. Quando a bacia tem pequena dimensão, a declividade efetiva tende a ter o mesmo valor que a declividade média, pois a curva hipsométrica do talvegue principal tende a ter uma homogeneidade nas curvas de nível, isto é, uma variação constante na distância entre uma curva e outra.

$$I = \left[\frac{L_T}{\frac{L_1}{\sqrt{I_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{I_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{I_3}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{I_n}}} \right]^2 = \left[\frac{Km}{Km} \right] \times 100 = I(\%)$$

Onde:

- LT = comprimento total do talvegue principal (km);
- L1, L2, L3, Ln = comprimentos parciais do talvegue principal (km);
- I1, I2, I3, In = declividades parciais (m/m).

2.2.3.4.5.5. Tempo de concentração

É definido como sendo o tempo necessário para que a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada. De uma maneira geral, o tempo de concentração de uma bacia qualquer depende de vários parâmetros, tais como:

- Área da bacia e sua forma;
- Comprimento e declividade do canal mais longo (principal);
- Tipo, recobrimento vegetal, uso do solo, etc.

No projeto será utilizada a fórmula Kirpich publicada no “California Culverts Practice”, expressa pelas equações equivalentes 01 e 02 abaixo:

$$T_c = 0,39 * \left(\frac{L^2}{H} \right)^{0,385}$$

Fórmula de KIRPICH :

; p/ $A_{\text{bacia}} \leq 0,80 \text{ km}^2$

Estudos em bacias médias e grandes, com dados de enchentes observadas, demonstram que a aplicação do hidrograma unitário triangular do US Soil Conservation Service fornece resultados pertinentes às observações, se forem adotados tempos de concentração 50% maiores do que os calculados pela expressão proposta por Kirpich. Portanto para áreas maiores que $0,80 \text{ km}^2$ será utilizada a seguinte fórmula (Kirpich Modificado):

$$T_c = 0,59 * \left(\frac{L^2}{H} \right)^{0,385}$$

Fórmula de KIRPICH MODIFICADA :

; p/ $A_{\text{bacia}} > 0,80 \text{ km}^2$

Onde:

T_c – tempo de concentração em horas

L – comprimento do talvegue em km

H – declividade do talvegue em %; $H = 100 * (L / \Delta H)$; ΔH – desnível do talvegue em metros

O cálculo dos outros parâmetros, ou seja, área da bacia drenada, comprimento do talvegue principal e desnível entre o ponto mais alto nas cabeceiras dos mananciais e a seção de drenagem foram determinadas com suficiente precisão por meio de imagens georreferenciadas.

2.2.3.4.5.6. Coeficientes de escoamento

Este coeficiente traduz a influência das condições pedológicas, da vegetação e das características físicas das bacias contribuintes na formação dos deflúvios, determinando em termos percentuais a parcela de chuva que escoar em relação à que se precipitou.

A definição dos coeficientes de escoamento superficial foi dividida em duas etapas, a saber:

- Coeficiente “C”, aplicável quando da utilização do Método Racional;

Tabela 5 - Tabela de coeficiente de escoamento, IPR-715,2005.

CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70 - 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 - 0,95
Revestimento primário	0,40 - 0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40 - 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 - 0,30
Taludes gramados	0,50 - 0,70
Prados e campinas	0,10 - 0,40
Áreas Florestais	0,10 - 0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 - 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 - 0,30

- CN, Número da curva definidora do complexo solo-vegetação, utilizado no método do Hidrograma Unitário.

Tabela 6 - Número de Curva, IPR-715,2005.

Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94
	Boa	72	81	88	91
Terreno Cultivado	Pobre	51	67	76	80
	Boa	68	79	86	89
Pasto	Pobre	39	61	74	80
	Boa	45	66	77	83
Mata ou Bosque	Pobre	25	55	70	77
	Boa	74	80	87	90
ÁREA URBANA	Pobre	70	76	83	86
	Boa				

Onde:

- **GRUPO A:** Potencialidade mínima para formação de deflúvio superficial. Inclui areias em camadas espessas com muito pouco silte e argila e também loess profundo muito permeável.
- **GRUPO B:** Principalmente solos arenosos menos espessos que no grupo A e loess menos profundo ou menos agregado que no grupo A, porém apresentam infiltração acima da média, após intenso umedecimento prévio.

- **GRUPO C:** Compreende solos poucos profundos e solos contendo bastante argila e coloides, no entanto, menos que no grupo D. O grupo apresenta infiltração abaixo da média, após pré-saturação.
- **GRUPO D:** Potencial máximo para formação do deflúvio superficial. O grupo inclui em sua maioria, argilas de alto valor de expansão, incluindo também alguns solos poucos profundos, com sub-horizontes quase impermeáveis, próximos da superfície. Qualquer tipo de solo em terreno plano, com fraca rede de drenagem, acaba enquadrando-se nesse grupo, após um período prolongado de chuvas que eleva o nível do lençol freático para a superfície.

Os valores do coeficiente de escoamento (deflúvio – Run-Off) "C" são obtidos nas tabelas apresentadas e estruturada em função das características das bacias. Para cada bacia analisada, foi levado em consideração as diferentes coberturas de solo e sua respectiva utilização, de acordo com o "C" de áreas urbanas, suburbanas e rurais.

Com isso, o coeficiente de escoamento superficial para cada bacia, levando as considerações supracitadas, é calculado ponderadamente em função da composição das áreas parciais, ou seja:

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i}$$

Onde:

- C = coeficiente de escoamento superficial ponderado (adimensional);
- C_i = coeficiente de escoamento superficial da área parcial avaliado em função do uso e ocupação do solo;
- A_i = área parcial km^2 .

2.2.3.4.5.6.1. Determinação das vazões de projeto

Para a determinação das vazões de projeto, foram utilizados os seguintes métodos de cálculo, de acordo com a IS-203 – Instrução de Serviços para Estudos Hidrológicos do DNIT e orientações contidas na Instrução de Projeto IP0-3 Goinfra:

- Bacias com áreas até 5 km^2 – Método Racional;
- Bacias com áreas entre 5 km^2 e 10 km^2 – Método Racional Corrigido;
- Bacias com áreas superiores a 10 km^2 – Método do Hidrograma Unitário Triangular.

2.2.3.4.5.6.1.1. Método do hidrograma unitário triangular (HUT)

O Método do Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido, em 1957, pelo “U.S. Soil Conservation Service”, aplicável à obtenção das relações precipitação/deflúvio, em bacias hidrográficas com área superiores a 20 km² e de até 2.500km², está descrito na sequência.

- A aplicação desse método envolve as seguintes operações:
- Identificação das características físicas da bacia;
- Determinação do tempo de concentração e tempo unitário;
- Cálculo do tempo de pico;
- Cálculo do tempo de descida;
- Avaliação da descarga de ponta;
- Cálculo de precipitação efetiva;
- Avaliação da vazão de projeto.

➤ Identificação das características físicas da bacia

As características físicas foram obtidas conforme estudo de imagens geoprocessadas, conforme dados obtidos no site do Sistema Estadual de Geoinformação (<http://www2.sieg.go.gov.br/>).

➤ Tempo de concentração e tempo unitário

Os tempos de concentração e unitário são obtidos pela aplicação das fórmulas do Kirpich Modificado (vista anteriormente) e:

$$T = \frac{T_c}{4}, \text{ para } T_c < 24\text{h e } \Delta T = \frac{T_c}{6}, \text{ para } T_c > 24$$

Onde:

- T_c = tempo de concentração, em horas;
- ΔT = tempo unitário.

➤ Tempo de pico

O valor do tempo de pico, que traduz, em horas, o tempo necessário para que a precipitação conduza à vazão de pico, é obtido pela fórmula:

$$Tp = \frac{\Delta T}{2} + 0,6 . Tc$$

➤ **Tempo base e tempo de descida**

Os tempos de base e descida do hidrograma são definidos pelas expressões:

$$tb = 2,67 . tp \quad \text{e} \quad tr = 1,67 . tp$$

➤ **Descarga de ponta**

O valor da descarga de ponta, em m³/s, do hidrograma unitário triangular é fornecido pela fórmula:

$$Q_p = \frac{2,08 . A}{tp}$$

➤ **Precipitação efetiva**

As precipitações efetivas são calculadas pela expressão:

$$Pei = \frac{\left[P_m - \left(\frac{5080}{CN} \right) + 50,8 \right]^2}{P_m + \frac{20320}{CN} - 203,2}$$

Sendo o valor de P_m, precipitação corrigida, necessário para bacias com área superior a 25 km², fornecido pela expressão:

$$Pm = Pi (1,0 - 0,10 \log A/25),$$

Onde o Pi é obtido diretamente das curvas altura x tempo de duração.

2.2.3.4.5.6.1.2. Método Racional

Segundo a IP 03 da GOINFRA, para bacias com área até 5,00 km², onde para o cálculo da descarga de pico é usual a fórmula:

$$Q_p = 0,278 \times C \times I \times A$$

Onde:

Q_p - Descarga do projeto ou pico de vazão, em m³/s;

C - Coeficiente adimensional de deflúvio ou escoamento superficial;

A - Área da bacia em km²;

I - Intensidade de precipitação, sobre toda a área drenada em mm/h, dada pela relação:

$$I = \frac{P}{T_c}$$

e onde:

P - altura de chuva para o tempo de concentração (mm);

T_c - tempo de concentração, em horas, calculado pela fórmula de Kirpich, apresentada anteriormente.

Nos itens a seguir são apresentados os Mapas das Bacias Hidrográficas das OAE's bem como os Quadros Resumos das Obras de Artes Calculadas.

2.2.3.4.5.7. Mapa da bacia hidrográfica e uso da PCA no km 1,25

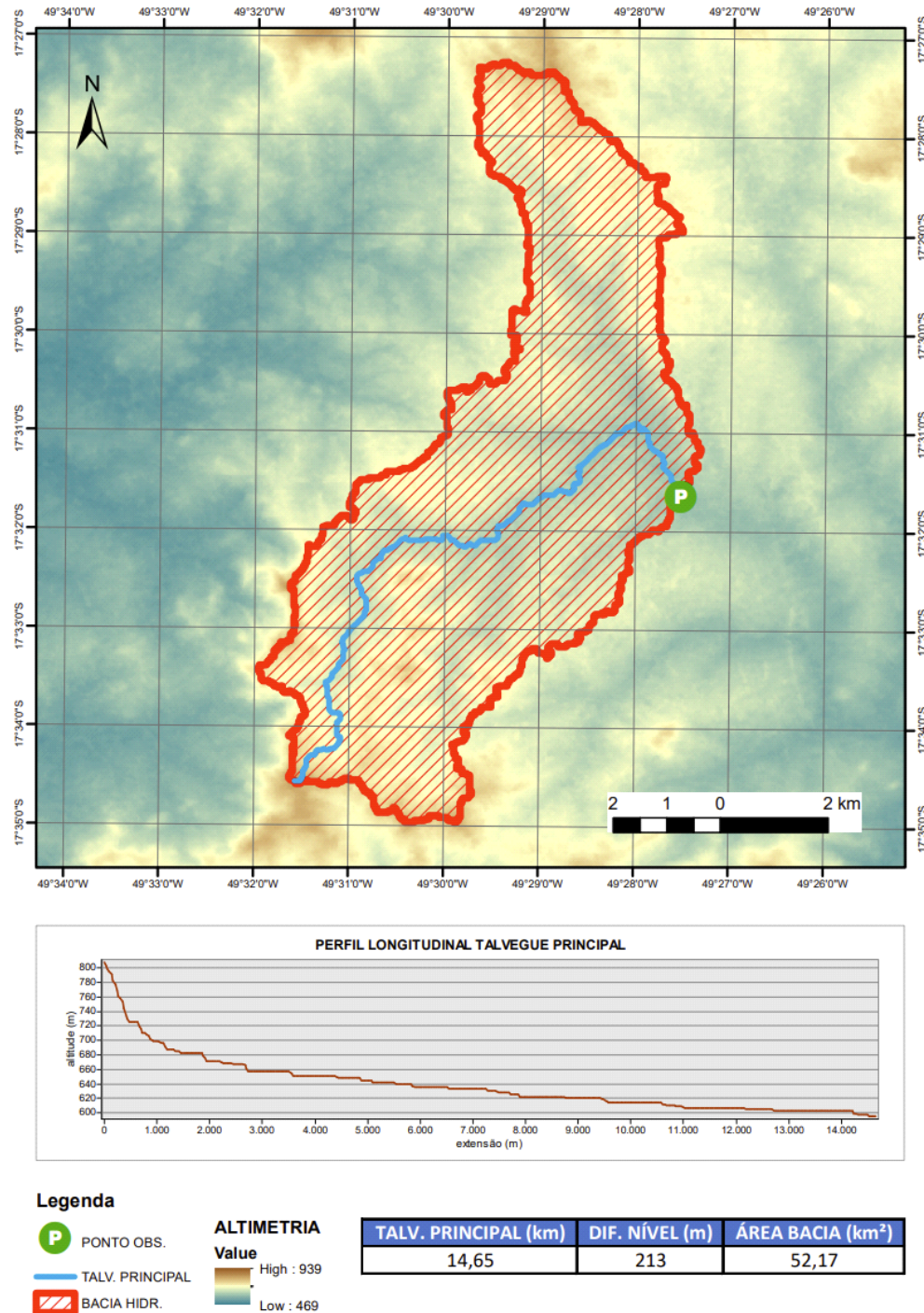
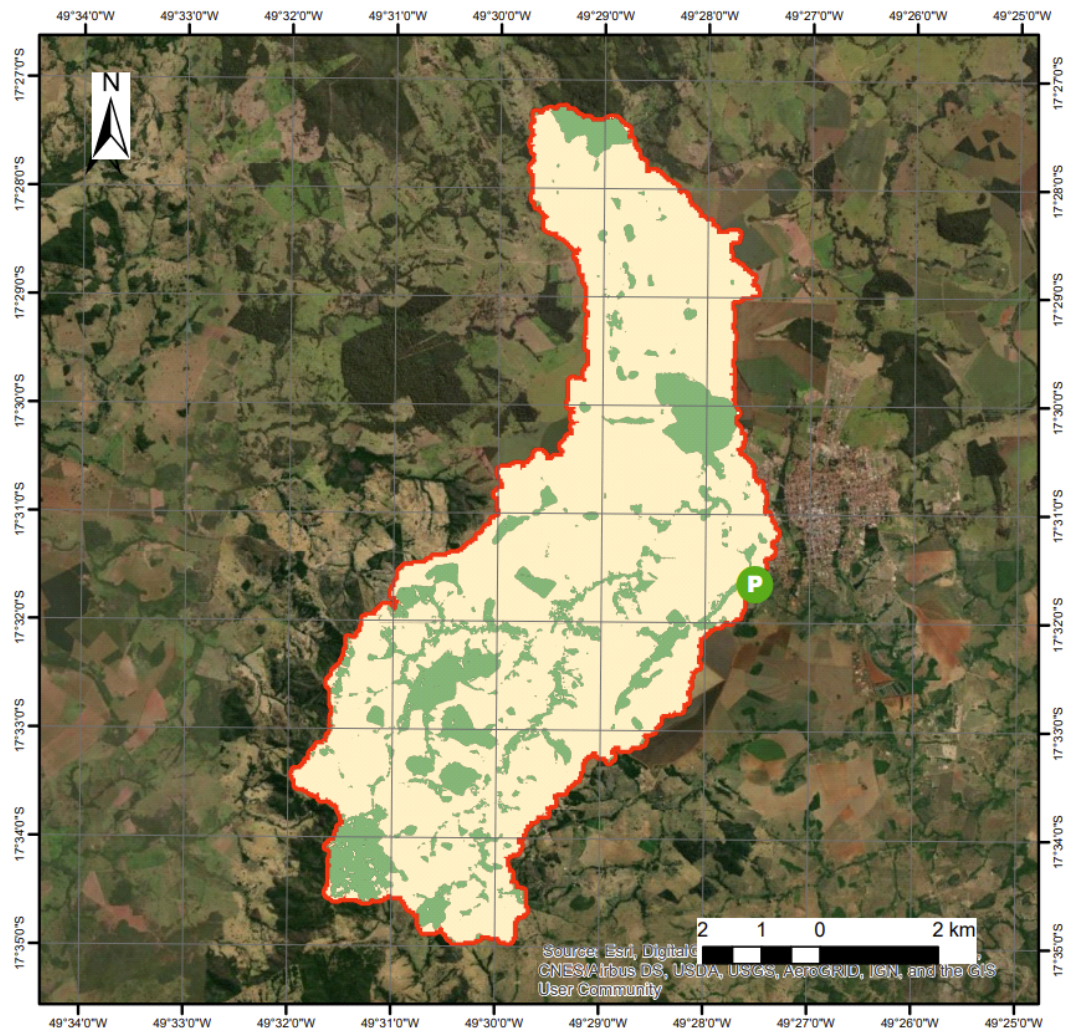


Figura 17 – Mapa da bacia hidrográfica.

Fonte: Autor.



USO DE OCUPAÇÃO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL	COEFICIENTE "CN"	"CN" PONDERADO
MATA OU BOSQUE	10,34	20%	70	13,87
TERRENO CULTIVADO	41,83	80%	76	60,94
TOTAL	52,17	100%		74,81
COEFICIENTE ADOTADO				75

Legenda

- P** PONTO OBS.
-  BACIA HIDR.

Figura 18 – Mapa de uso e ocupação.

Fonte: Autor.

2.2.3.4.5.8. Mapa da bacia hidrográfica dos bueiros celulares

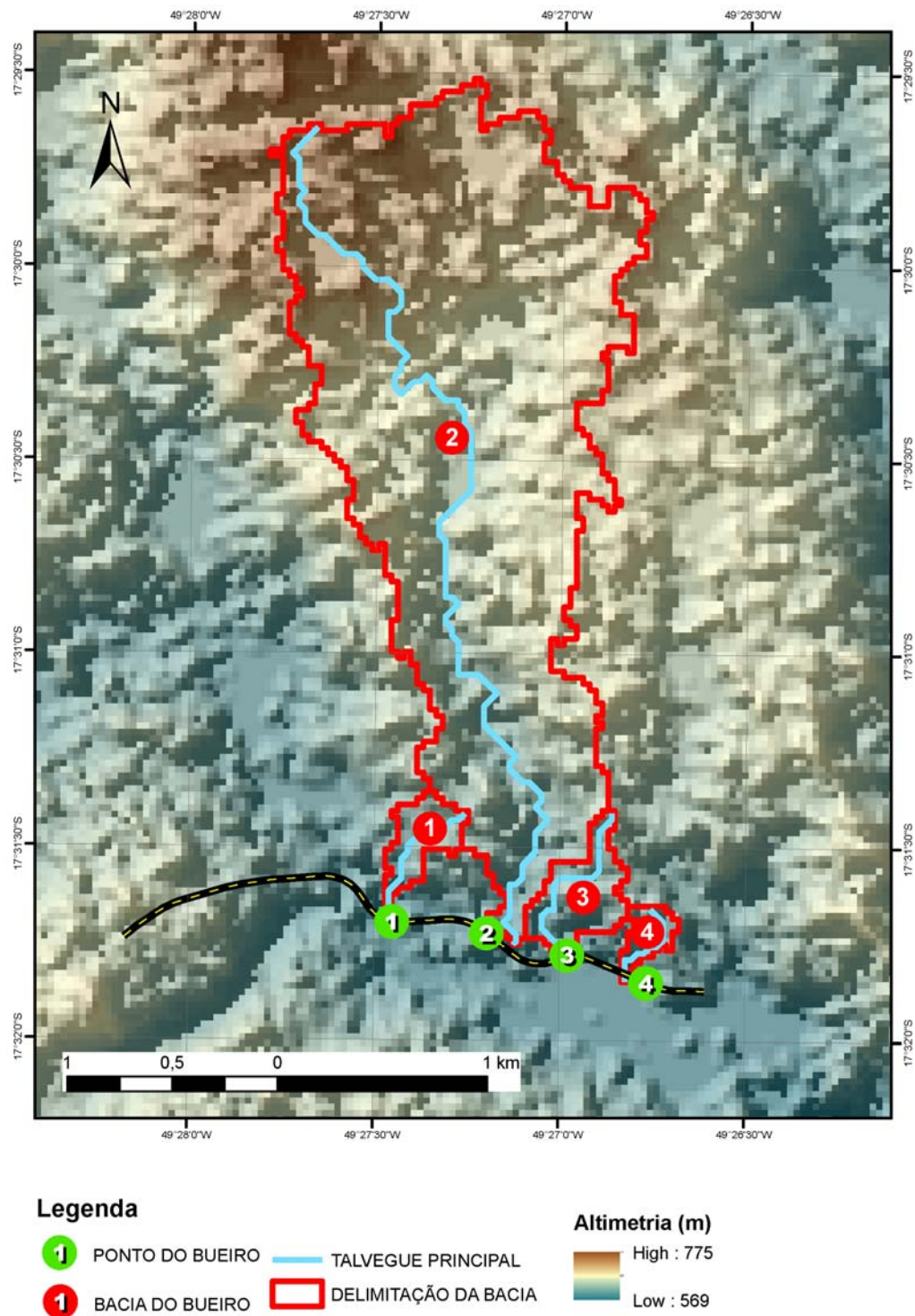


Figura 19 – Mapa da bacia hidrográfica.

Fonte: Autor.

CARACTERÍSTICAS - BUEIRO 1

ÁREA (KM²): 0,11	TALVEGUE (KM): 0,78	DIF. NÍVEL (M): 30	DECLIV. POND. (%): 3,501
------------------	---------------------	--------------------	--------------------------

USO DE OCUPAÇÃO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL	COEFICIENTE "CN"	"CN" PONDERADO
URBANO	0,10	91%	90	81,82
TERRENO CULTIVADO	0,01	9%	76	6,91
TOTAL	0,11	100%		88,73
COEFICIENTE ADOTADO				89

CARACTERÍSTICAS - BUEIRO 2

ÁREA (KM²): 4,13	TALVEGUE (KM): 5,43	DIF. NÍVEL (M): 95	DECLIV. POND. (%): 1,395
------------------	---------------------	--------------------	--------------------------

USO DE OCUPAÇÃO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL	COEFICIENTE "CN"	"CN" PONDERADO
URBANO	1,80	44%	90	39,23
TERRENO CULTIVADO	2,33	56%	76	42,88
TOTAL	4,13	100%		82,10
COEFICIENTE ADOTADO				83

CARACTERÍSTICAS - BUEIRO 3

ÁREA (KM²): 0,18	TALVEGUE (KM): 1,00	DIF. NÍVEL (M): 35	DECLIV. POND. (%): 2,952
------------------	---------------------	--------------------	--------------------------

USO DE OCUPAÇÃO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL	COEFICIENTE "CN"	"CN" PONDERADO
URBANO	0,11	61%	90	55,00
TERRENO CULTIVADO	0,07	39%	76	29,56
TOTAL	0,18	100%		84,56
COEFICIENTE ADOTADO				85

CARACTERÍSTICAS - BUEIRO 4

ÁREA (KM²): 0,05	TALVEGUE (KM): 0,50	DIF. NÍVEL (M): 22	DECLIV. POND. (%): 3,349
------------------	---------------------	--------------------	--------------------------

USO DE OCUPAÇÃO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL	COEFICIENTE "CN"	"CN" PONDERADO
URBANO	0,01	20%	90	18,00
TERRENO CULTIVADO	0,04	80%	76	60,80
TOTAL	0,05	100%		78,80
COEFICIENTE ADOTADO				79

2.2.3.4.5.9. Cálculo de vazões

2.2.3.4.5.9.1. PCA – km 1,25

MÉTODO DA MÉDIA ARMÔNICA

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 = 0,532\%$$

X		Y				EXTENSÃO "L" (m)	DIF. NIV (m)	DECLIVIDADE "I"	$\frac{L_i}{\sqrt{I_i}}$
DE	PARA	DE	PARA						
0	505,6872	808	725	505,6871746	83	0.164133093	1248,199092		
505,6872	1226,046	725	687	720,3584294	38	0.052751517	3136,39798		
1226,046	2730,532	687	657	1504,486261	30	0.019940362	10654,22126		
2730,532	5027,776	657	645	2297,244394	12	0.00522365	31784,85083		
5027,776	7181,485	645	633	2153,708964	12	0.005571783	28852,92857		
7181,485	7975,137	633	622	793,6517803	11	0.013859983	6741,377537		
7975,137	10990,58	622	608	3015,445256	14	0.004642764	44255,08252		
10990,58	14030,28	608	602	3039,701911	6	0.001973878	68418,07797		
14030,28	14649,6	602	595	619,3165276	7	0.011302782	5825,322654		
			total	14649,6007			200916,4584		

MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO - HUT

ESTACÃO: PONTALINA	COEF. DE REDUÇÃO (CR): 0,97	VAZÃO CALCULADA (Q) (m³/s): 139,62
CURSO D'ÁGUA: Córrego Mateiro	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (Tc) (h): 5,94	
ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 52,17	TEMPO UNITÁRIO (ΔT) (h): 1,49	
COMP. TALVEGUE (L) (km): 14,65	TEMPO DE PICO (Tp) (h): 4,31	
DESNÍVEL (DELTA H) (m): 213	TEMPO DE RETORNO (Tr) (h): 7,20	
DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (%): 0,532	TEMPO DE BASE (Tb) (h): 11,51	
C.N.: 75	TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) (anos): 100	
	μ(Tp) (m³/s/cm): 25,17	

Ti (h)	Pi (cm)	Pm (cm)	Pei (cm)	Δ Pei (cm)	HU Ti	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Qc
1,49	9,96	9,65	3,85	3,85	8,70	33,50										33,50
2,98	12,14	11,75	5,46	1,61	17,40	67,01	13,99									81,00
4,47	13,50	13,07	6,52	1,06	24,61	94,81	27,98	9,25								132,04
5,96	14,48	14,01	7,30	0,78	19,41	74,74	39,59	18,50	6,78							139,62
7,45	15,36	14,87	8,02	0,72	14,20	54,68	31,22	26,17	13,56	6,22						131,86

OAE: PCA VAZÃO MÁXIMA ACIMA DE 139,62 m³/s

2.2.3.4.5.9.2. Bueiro celular 1 – km 1,42

X		Y					$\frac{L_i}{\sqrt{I_i}}$
DE	PARA	DE	PARA	EXTENSÃO "L" (m)	DIF. NIV (m)	DECLIVIDADE "I"	
0	200	626	620	200	6	0,03	1154,700538
200	400	620	610	200	10	0,05	894,427191
400	600	610	600	200	10	0,05	894,427191
600	783,7379	600	596	183,7379	4	0,021770141	1245,283194
			total	783,7379			4188,838114

MÉTODO DA MÉDIA ARMÔNICA

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 = 3,501\%$$

KIRPICH MODIFICADA - BUEIRO 1

ESTAÇÃO: PONTALINA
CURSO D'ÁGUA:
ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 0,11
COMP. TALVEGUE (L) (km): 0,78
DESNÍVEL (DELTA H) (m): 30
DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (%): 3,501
COEF. ESCOAM. SUPERF. (C): 0,4
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (Tc) (h): 0,30
TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) (anos): 25
ALTURA DE CHUVA P/ Tc (P) (mm): 86
INTENSIDADE DE PRECIP. (I) (mm/h): 285,92

DESCARGA DE PROJETO (Qp) (m³/s): 3,50
DECLIVIDADE MÉDIA (i) (m/m): 1,5%
COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (η): 0,015
ALTURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
LARGURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
PERCENTUAL DE ENCHIMENTO (%): 80
ÁREA MOLHADA (Am) (m²): 5,00
RAIO HIDRÁULICO (Rh) (m): 0,77
VELOCIDADE MÉDIA (V) (m/s): 1,46
VAZÃO MÁXIMA DO CANAL (Q) (m³/s): 7,31
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO: OK

2.2.3.4.5.9.3. Bueiro celular 2 – km 1,89

X		Y					$\frac{L_i}{\sqrt{I_i}}$
DE	PARA	DE	PARA	EXTENSÃO "L" (m)	DIF. NIV (m)	DECLIVIDADE "I"	
0	260,7186	700	699	260,7186	1	0,003835553	4209,766648
260,7186	1629	699	663	1368,2814	36	0,026310377	8435,520489
1629	1797	663	653	168	10	0,05952381	688,5950915
1797	2408	653	641	611	12	0,019639935	4359,846433
2408	2921	641	634	513	7	0,013645224	4391,642989
2921	3454	634	628	533	6	0,011257036	5023,60158
3454	4284	628	615	830	13	0,015662651	6632,014429
4284	5425,632	615	605	1141,6316	10	0,008759393	12198,00964
			total	5425,6316			45938,9973

MÉTODO DA MÉDIA ARMÔNICA

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 = 1,395\%$$

KIRPICH MODIFICADA - BUEIRO 2

ESTAÇÃO: PONTALINA
CURSO D'ÁGUA:
ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 4,13
COMP. TALVEGUE (L) (km): 5,43
DESNÍVEL (DELTA H) (m): 95
DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (%): 1,395
COEF. ESCOAM. SUPERF. (C): 0,4
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (Tc) (h): 1,91
TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) (anos): 25
ALTURA DE CHUVA P/ Tc (P) (mm): 86
INTENSIDADE DE PRECIP. (I) (mm/h): 45,03

DESCARGA DE PROJETO (Qp) (m³/s): 20,68
DECLIVIDADE MÉDIA (i) (m/m): 4,5%
COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (η): 0,015
ALTURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
LARGURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
PERCENTUAL DE ENCHIMENTO (%): 80
ÁREA MOLHADA (Am) (m²): 5,00
RAIO HIDRÁULICO (Rh) (m): 0,77
VELOCIDADE MÉDIA (V) (m/s): 4,39
VAZÃO MÁXIMA DO CANAL (Q) (m³/s): 21,93
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO: OK

2.2.3.4.5.9.4. Bueiro celular 3 – km 2,33

X		Y					$\frac{L_i}{\sqrt{I_i}}$
DE	PARA	DE	PARA	EXTENSÃO "L" (m)	DIF. NIV (m)	DECLIVIDADE "I"	
0	200	630	627	200	3	0,015	1632,993162
200	400	627	622	200	5	0,025	1264,911064
400	600	622	615	200	7	0,035	1069,044968
600	800	615	608	200	7	0,035	1069,044968
800	1002,555	608	595	202,5546	13	0,064180226	799,5423816
			total	1002,5546			5835,536543

MÉTODO DA MÉDIA ARMÔNICA

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 = 2,952\%$$

KIRPICH MODIFICADA - BUEIRO 3

ESTAÇÃO: PONTALINA
CURSO D'ÁGUA:
ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 0,18
COMP. TALVEGUE (L) (km): 1
DESNÍVEL (DELTA H) (m): 35
DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (%): 2,952
COEF. ESCOAM. SUPERF. (C): 0,4
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (Tc) (h): 0,39
TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) (anos): 25
ALTURA DE CHUVA P/ Tc (P) (mm): 86
INTENSIDADE DE PRECIP. (I) (mm/h): 221,13

DESCARGA DE PROJETO (Qp) (m³/s): 4,43
DECLIVIDADE MÉDIA (i) (m/m): 1,5%
COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (η): 0,015
ALTURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
LARGURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
PERCENTUAL DE ENCHIMENTO (%): 80
ÁREA MOLHADA (Am) (m²): 5,00
RAIO HIDRÁULICO (Rh) (m): 0,77
VELOCIDADE MÉDIA (V) (m/s): 1,46
VAZÃO MÁXIMA DO CANAL (Q) (m³/s): 7,31
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO: OK

2.2.3.4.5.9.5. Bueiro celular 4 – km 2,73

X		Y					$\frac{L_i}{\sqrt{I_i}}$
DE	PARA	DE	PARA	EXTENSÃO "L" (m)	DIF. NIV (m)	DECLIVIDADE "I"	
0	200	617	613	200	4	0,02	1414,213562
200	400	613	598	200	15	0,075	730,2967433
400	503,1171	598	595	103,1171	3	0,029093138	604,5544311
			total	503,1171			2749,064737

MÉTODO DA MÉDIA ARMÔNICA

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 = 3,349\%$$

KIRPICH MODIFICADA - BUEIRO 4

ESTAÇÃO: PONTALINA
CURSO D'ÁGUA:
ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 0,05
COMP. TALVEGUE (L) (km): 0,5
DESNÍVEL (DELTA H) (m): 22
DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (%): 3,349
COEF. ESCOAM. SUPERF. (C): 0,4
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (Tc) (h): 0,22
TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) (anos): 25
ALTURA DE CHUVA P/ Tc (P) (mm): 86
INTENSIDADE DE PRECIP. (I) (mm/h): 395,85

DESCARGA DE PROJETO (Qp) (m³/s): 2,20
DECLIVIDADE MÉDIA (i) (m/m): 1,5%
COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (η): 0,015
ALTURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
LARGURA SEÇÃO DO BUEIRO (m): 2,50
PERCENTUAL DE ENCHIMENTO (%): 80
ÁREA MOLHADA (Am) (m²): 5,00
RAIO HIDRÁULICO (Rh) (m): 0,77
VELOCIDADE MÉDIA (V) (m/s): 1,46
VAZÃO MÁXIMA DO CANAL (Q) (m³/s): 7,31
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO: OK

2.2.3.4.5.10. Suficiência hidráulica da PCA

2.2.3.4.5.10.1. Introdução

São apresentados os estudos e as conclusões sobre a suficiência da seção hidráulica das obras de artes especial das onze pontes de concreto armado existentes.

Conforme o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT e também a Instrução de Projeto IP-03 – GOINFRA, o tempo de recorrência a adotar na determinação da descarga de projeto deve ser compatível com o porte da obra e sua vida útil, com a importância da rodovia e com o risco a temer de sua interrupção ou da destruição da obra, de vidas humanas e de propriedades adjacentes, portanto foi adotado $TR = 100$ anos.

Para o dimensionamento hidráulico foram observados:

- Descarga do projeto para o TR adotado;
- Declividade do leito do rio, determinada entre dois pontos distantes no mínimo de 200m, sendo um a montante e outro a jusante do eixo da rodovia, do qual devem distar 100m cada um;
- Levantamento de seções normais ao curso do rio no local de sua travessia pelo eixo da rodovia a montante e jusante;
- Fixação do coeficiente de Manning a adotar para o curso d'água após inspeção local e exame da tabela própria constante no capítulo 2 do Manual.

2.2.3.4.5.10.2. Método de determinação de máxima cheia e vão da obra

Para cada altura h do nível d'água, corresponde uma área molhada (A), um perímetro molhado (P) e, em consequência, raio hidráulico ($R=A/P$) e velocidade (V), que substituído pelo seu valor Q/A (equação de continuidade), obtém-se da fórmula de Manning:

Sendo: η = coeficiente de manning.

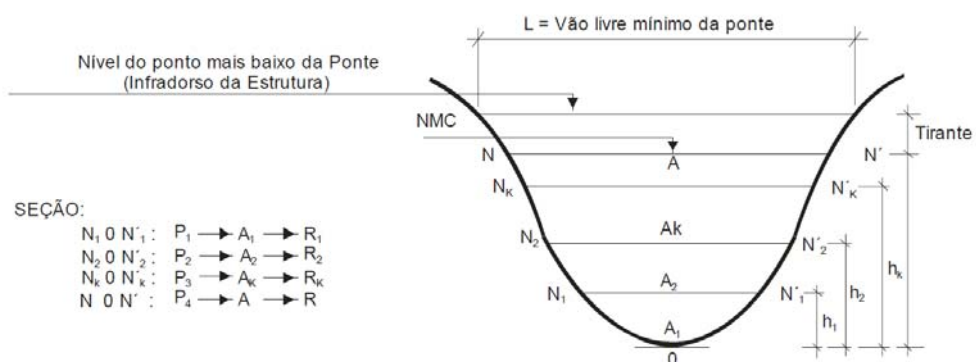


Figura 20 – Esquema do método de determinação de máxima cheia e vão da obra.

Fonte: Autor.

Verifica-se então que a velocidade (v) e a vazão (Q) são função somente da altura (h) da lâmina d'água, já que a declividade e o coeficiente de manning são constantes. Basta, portanto, variar a altura da lâmina d'água até uma altura em que a vazão obtida supere a vazão calculada pela hidrologia para o tempo de recorrência definido.

2.2.3.4.5.10.3. Resultados

São apresentados os resultados obtidos para a vazão máxima de projeto, calculando o nível d'água máximo para o período de retorno de 100 anos. A declividade média calculada foi obtida de acordo com os ensaios de batimetria 100m a montante e 100m a jusante da implantação da OAE apresentado no Levantamento Planimétrico Cadastral anexo.

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

LOCAL: PONTALINA

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A) (Km²): 52,17

DECLIVIDADE MÉDIA (I) (m/m): 0,05840

VAZÃO CALCULADA (Q) (m³/s): 139,62

$$v = \frac{Q}{A}$$

η : 0,033

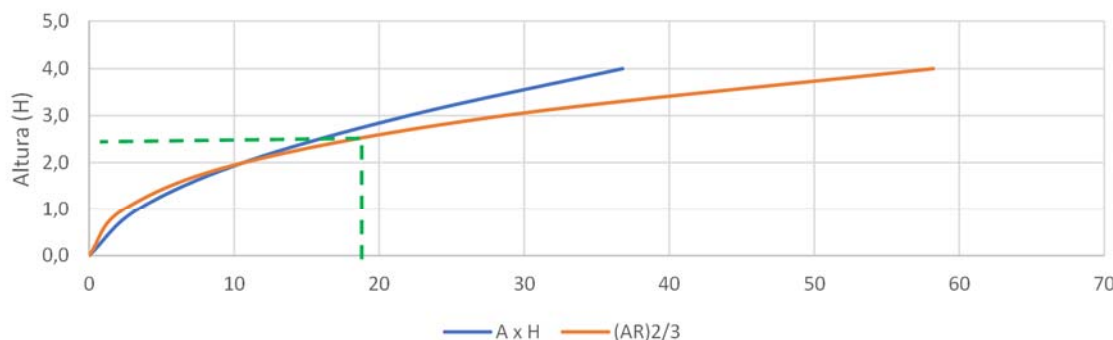
$$I = \frac{\Delta H}{L}$$

$$A \cdot R^{\frac{2}{3}} = \frac{Q \cdot \eta}{I^{0,5}}$$

Quadro 2.2.7 - VALORES DE n E DA VELOCIDADE CRÍTICA		
MATERIAL	Coefficiente de Rugosidade (n)	Velocidade Crítica (m/s)
Concreto Liso	0,010	< 6,0
Concreto Rústico	0,014	< 6,0
Aço Corrugado	0,015	< 6,0
Pedra Arrumada ou Rip-Rap	0,020	< 4,5
Canais Regulares em Terra	0,030	< 1,0
Canais Irregulares em Terra	0,033	< 1,0

H	A	P	R	$R^{\frac{2}{3}}$	$AxR^{\frac{2}{3}}$	$I^{0,5}$	Q	COTA
0,0	0	0	0	0	0	0	0	593,423
1,0	3,375	5,624	0,600	0,711	2,401	0,242	17,581	594,423
2,0	10,623	10,575	1,005	1,003	10,655	0,242	78,024	595,423
3,0	22,015	14,875	1,480	1,299	28,590	0,242	209,367	596,423
4,0	36,784	18,480	1,990	1,582	58,206	0,242	426,245	597,423

Gráfico de Vazões



CÁLCULO DA MÁXIMA ENCHENTE

$AxR^{\frac{2}{3}}$	19,066
H(m)	2,469

COTA MÁX. ENCHENTE	595,892
--------------------	---------

A(m²)	15,474
V(m/s)	9,023

Na figura a seguir é apresentada a seção longitudinal de implantação da OAE.

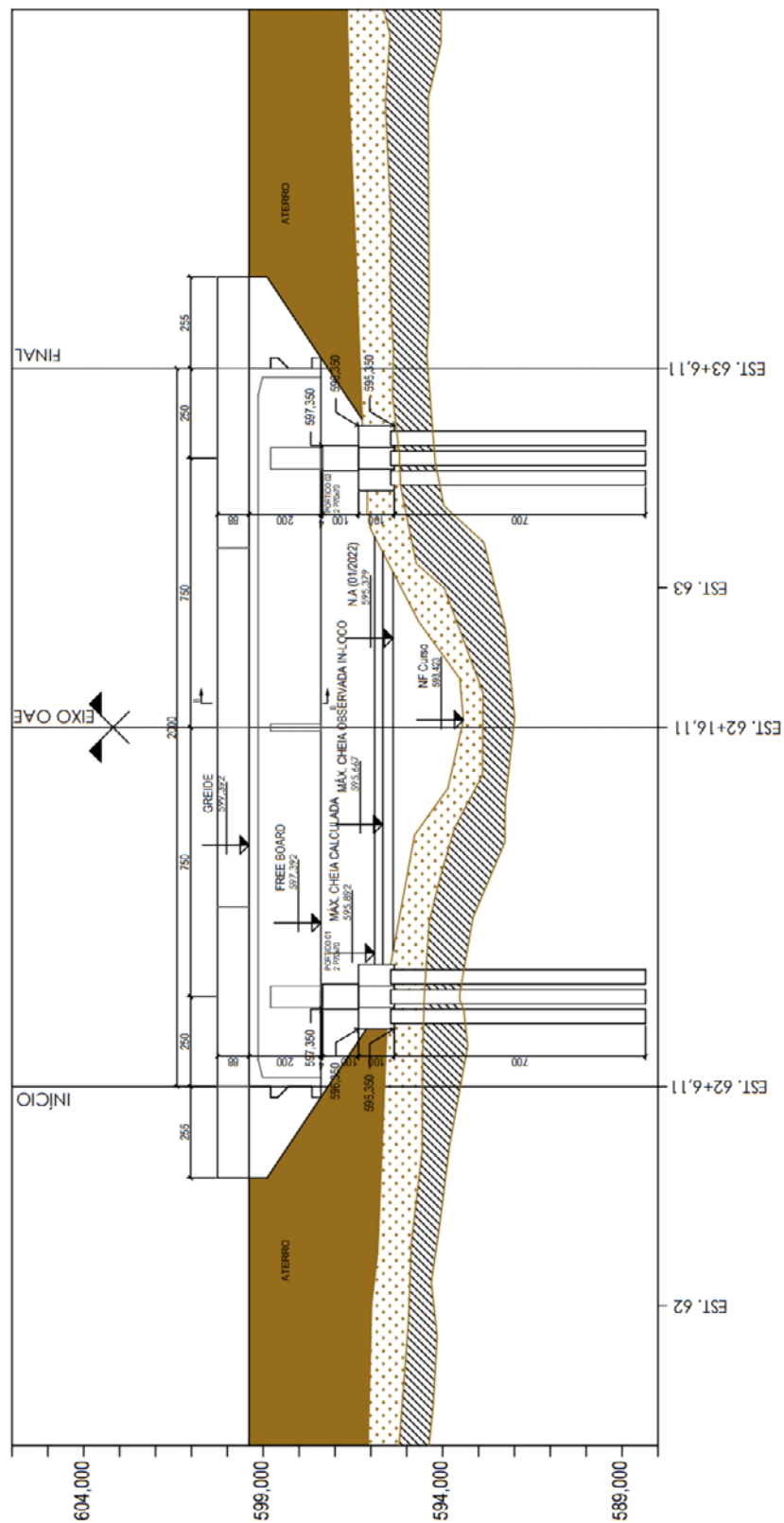


Figura 21 – Seção longitudinal de implantação da OAE.

Fonte: Autor.

Finalmente, a velocidade obtida no cálculo da máxima enchente teve valor superior a velocidade admissível para canais irregulares de terra, logo registra-se a necessidade de execução de proteção das encostas e taludes do encabeçamento da OAE, com o objetivo de evitar o possível processo erosivo que possa ocorrer nestas regiões. Assim sendo, na fase de projeto básico, o detalhamento da seção longitudinal de implantação da OAE deverá constar o método construtivo escolhido para combater as possíveis manifestações patológicas de erosão das encostas e taludes da referida OAE.

2.3. Elementos geotécnicos

2.3.1. Geologia

2.3.1.1. Introdução

O conhecimento das características geológicas/geotécnicas tem por finalidade definir os aspectos do subleito da rodovia, bem como indicar os materiais a serem utilizados nas camadas do aterro, conferindo uma maior longevidade à nova estrutura. Os Estudos Geológicos seguiram as orientações da IP-04 Estudos Geológicos da GOINFRA, estando compatíveis com os resultados apresentados.

Os diversos elementos e informações disponíveis referentes à região estão embasados em dados levantados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, publicados em 2000.

A área do projeto estudada está inserida no *Greenstone Belts*, no Grupo Complexo Granito-Gnáissico e por sua vez identificada como Granito-Gnaisses Indiferenciados (Agn): Ortognaisses de composições granítica-tonalítica, granodiorítica e trondhjemitica.

O *Greenstone Belt* de Goiás, ou Grupo Goiás Velho, é representado por urna sequência vulcanossedimentar arqueana, inserida em rochas do Complexo Granito-Gnáissico através de falhas de empurrão N70W. Datações Rb/Sr em gnaisses circundantes revelaram idades isocrônicas em torno de 2.670 Ma.

Reativações transamazônicas mostram-se presentes e foram detectadas por meio de datação isocrônica Rb/Sr sobre o gnaisse Córrego Bugre, que apresentou idade de 1.900 Ma. Um dique de rocha básica metamorfozada, inserido em rochas do Complexo Granito-Gnáissico, foi datado pelo método K/Ar sobre anfibólio e confirmou idade mínima transamazônica de 1.840 Ma. Datação K/Ar sobre actinolita de rocha metavulcânica básica do *Greenstone Belt* mostrou idade de 1.275 Ma, revelando provável influência do Evento Uruaçuano na região.

Gnaisse cataclasado, posicionado na região de contato com o *Greenstone Belt* de Goiás, foi datado pelo método K/Ar sobre muscovita recrystalizada, indicando idade de 1.470 Ma, relacionado à reativação das falhas de empurrão N70W que limitam lateralmente a faixa.

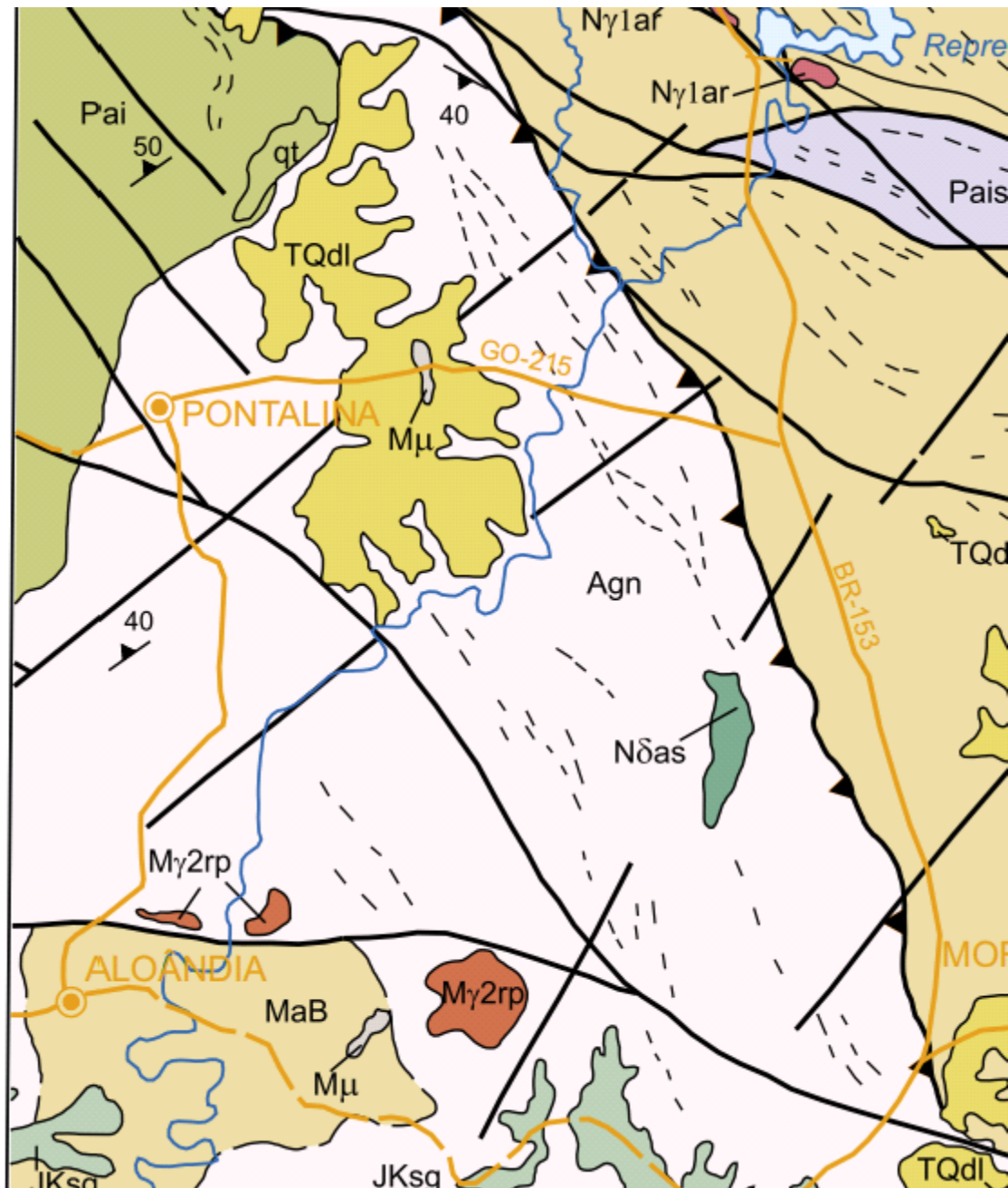


Figura 22 – Mapa Geológico da Região.

Fonte: IMB.

A região de estudo se encontra inserida na região da formação geológica de Granito-Gnaisses Indiferenciados, que correspondem a granitóides homogêneos e/ou gnaissificados, caracterizados como rochas do embasamento arqueano, associados ao Greenstone Belt de Goiás e representados por ortognaisses graníticos, tonalíticos e granodioríticos, às vezes milonitizados e contendo restitos de rochas básicas a ultrabásicas, com frequentes diques e stocks máfico-ultramáficos. Distribuem-se amplamente, como faixas mais ou menos contínuas, na região centro-oeste, ou como um núcleo isolado na porção nordeste do estado, entre Colinas do Sul e Campos Belos.

Estes gnaisses são geralmente ricos em biotita e hornblenda, e estão representados predominantemente por tonalitos, biotita granito e um conjunto de gnaisses porfíricos de granulação média, com foliação e bandamento às vezes exibindo expressivas zonas de cisalhamentos dúcteis e com veios pegmatíticos.

Estudos geocronológicos realizados nos gnaisses tonalíticos a oeste da cidade de Goiás forneceram isócronas Rb-Sr de $2.670\text{Ma} \pm 142\text{Ma}$ e 1.900Ma (Tomazzoli, 1992a) associadas a valores de R_0 de 0,719, 0,7063 e 0,704 e de $2.564 \pm 140\text{Ma}$ (Pimentel et al., 1995) com R_0 de $0,7017 \pm 0,0025$. Amostras do granito-gnaiss, que aflora entre Itapirapuã e Jussara, forneceram uma isócrona Rb-Sr de idade de $2.601 \pm 209\text{Ma}$ com valor de R_0 de $0,70156 \pm 0,00074$ (Pimentel et al., 1995).

Do ponto de vista geológico-geotécnico, o levantamento do trecho em estudo constatou a ausência de problemas sérios em seu leito atual e na área do futuro traçado para o encabeçamento, não sendo aconselhada alguma ou qualquer alteração substancial.

Não foram identificadas, no decorrer dos trechos, áreas em que ocorrem afloramentos rochosos e nem áreas com problemas de baixa capacidade de suporte.

Os materiais de construção existentes ao longo do trecho e nas vizinhanças são suficientes e de qualidade satisfatória.

2.3.1.2. Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica do Estado de Goiás apresenta várias unidades de relevo, cujas feições apresentam filiações genéticas comuns. Seus atributos mais frequentes resultam de peculiaridades internas que permitem distingui-las entre si. De acordo com a morfologia e os processos genéticos evolutivos dos modelados, é possível distinguir os vários compartimentos geomorfológicos, ressaltando-se as características morfoestruturais e morfoesculturais desses conjuntos de relevo.

Um dos principais planaltos é o Planalto Central Goiano, o qual se limita pelo norte e nordeste pela depressão de Tocantins, a leste no Vão do Paraná e ao oeste e sul estendendo-se até a Chapada dos Veadeiros. Os limites deste território geomorfológico são marcados pelas diferenças litológicas, de aspectos do relevo e de altitude. Possuindo uma grande variedade de aspectos geomorfológicos, o domínio se individualiza por obter uma grande variedade de formas diferentes de relevo relacionadas com a grande diversidade de rochas, que são encontradas metamorfozadas e dobradas.

Nesse contexto, o Planalto Central Goiano pode ser subdividido em seis regiões com vinte unidades geomorfológicas distintas, por reproduzirem modelados peculiares que retratam as estreitas relações estruturais com feições realçadas pela erosão.

O trecho de estudo encontra-se inserido Região de Goiânia. Essas superfícies são topograficamente mais elevadas que as situadas nos vales do Tocantins e Araguaia, apresentando cotas altimétricas entre 600 e 850m. Predominam as formas de relevo com amplos interflúvios, segui- dos de setores com dissecação de topos convexos e tabulares de dimensões menores. As

formações superficiais são de textura argilosa e arenosa. A seguir é apresentado o Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás.

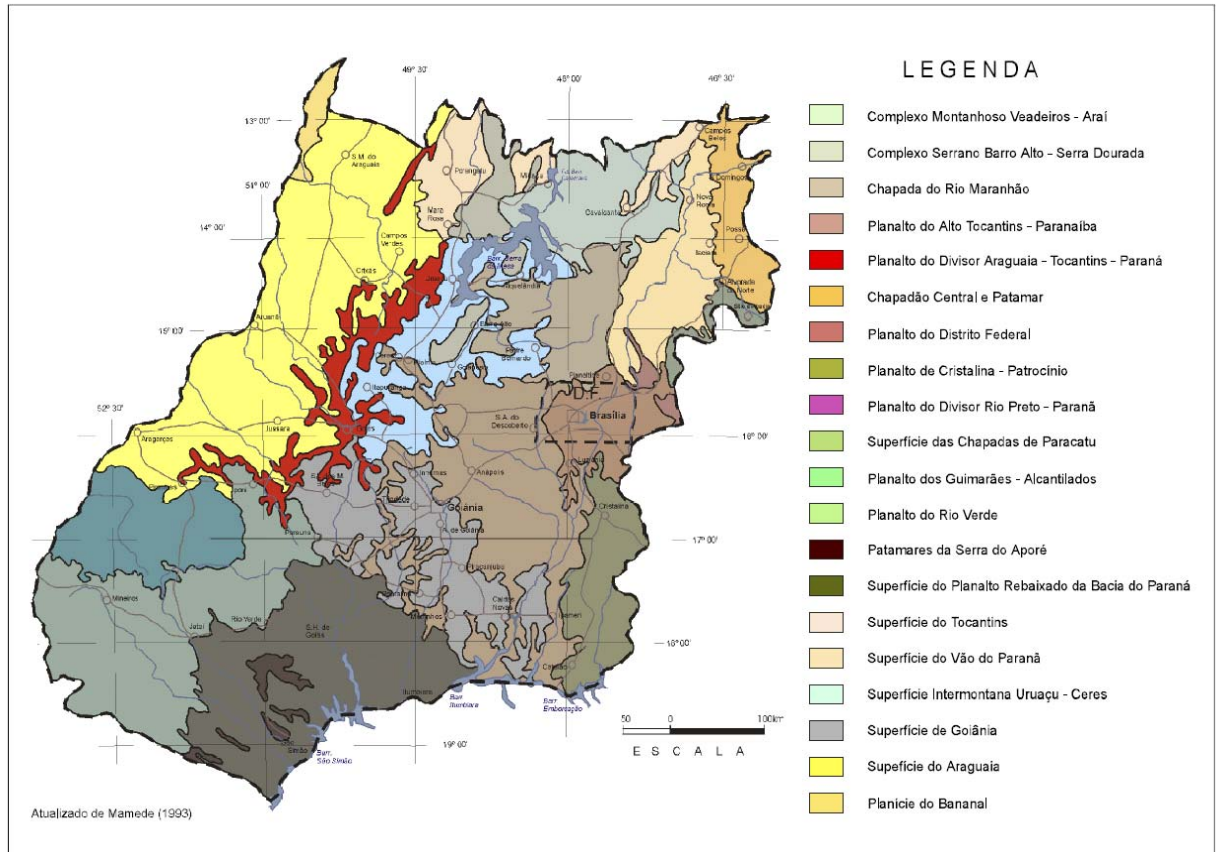


Figura 23 – Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás.

Fonte: IMB.

2.3.1.3. Solos

O Estado de Goiás, assim como diversos estados brasileiros não possuem trabalhos de levantamento de solos em nível de reconhecimento. Dessa forma, são utilizados levantamentos pedológicos de distribuição geográfica dos solos para apresentação sintética de informações acerca de sua formação e propriedades.

De acordo com estudos e levantamentos realizados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em 2001, foi possível determinar um panorama geral de distribuição dos solos que ocorrem no Estado de Goiás. Nesse panorama, tem-se que os Latossolos representam 52% dos solos do estado, Argissolos e Nitossolos ocorrem em 15% e Cambissolos perfazem 12%. As demais classes de solos, tais como Neossolos, Plintossolos, Gleissolos, Chernossolos, ocupam 21% do território.

No trecho de estudo ocorrem predominantemente solos da classe Latossolos e Plintossolos, conforme na figura a seguir.

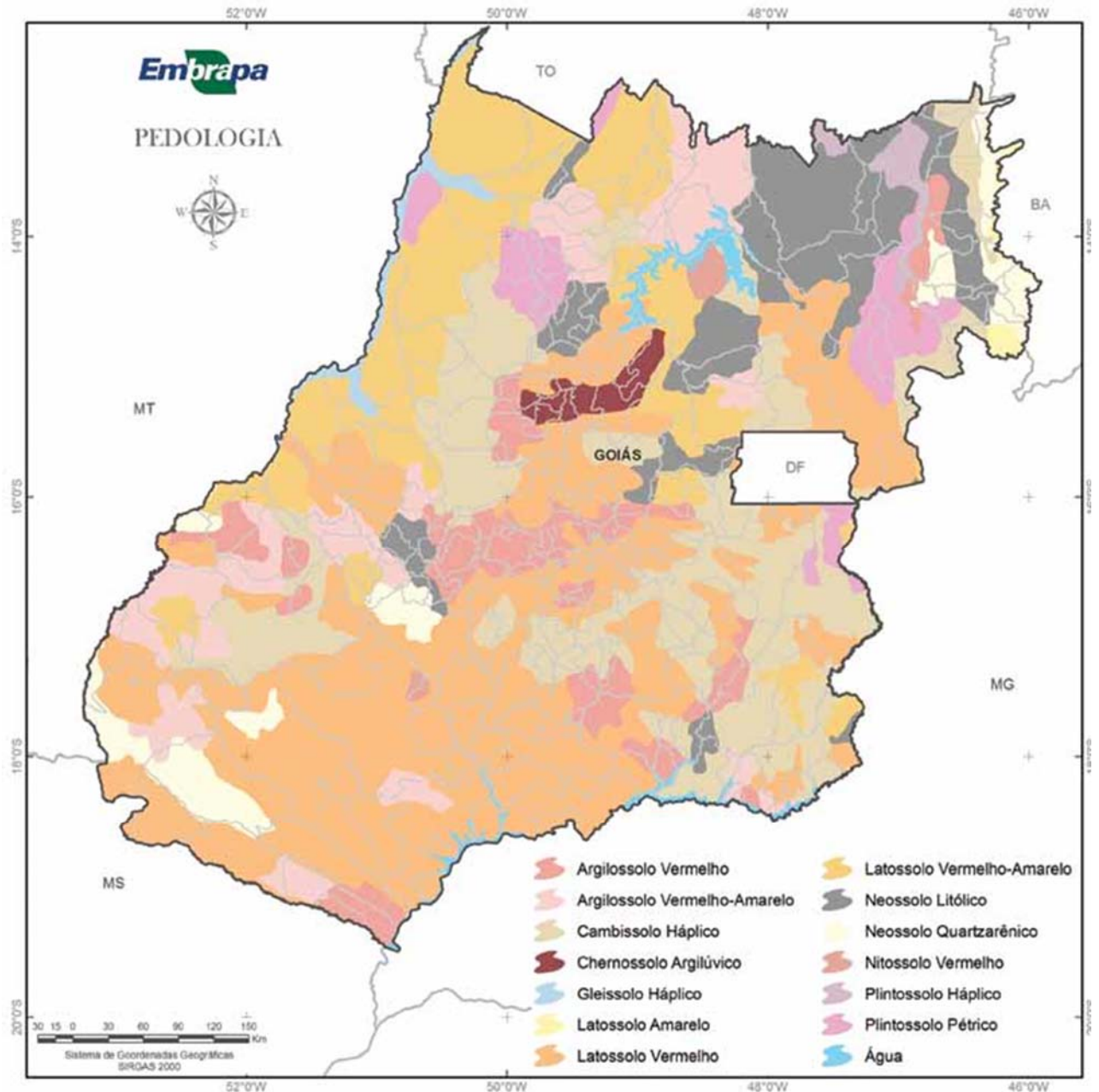


Figura 24 – Mapa solos do Estado de Goiás.

Fonte: IMB.

A seguir, é realizada uma breve descrição das principais características das classes de solos identificadas.

Latossolos - Do ponto de vista químico, eles são caracterizados como ácidos, deficientes em cálcio, magnésio, fósforo e zinco, com alta saturação de alumínio e baixa capacidade de troca de cátions, e ainda moderadamente deficientes em potássio e alguns micronutrientes. As argilas predominantes são do tipo caulinita, de reticulado 1:1, não expansiva e de baixa atividade, cujas partículas são revestidas por óxidos de ferro, responsáveis pelas típicas cores avermelhadas. A transição entre horizontes do solo é gradual ou difusa.

Quase sempre a única diferença notável no perfil é um escurecimento de horizonte “A (camada mais superficial do solo), ocasionado pelo acúmulo de húmus advindo de uma intensa decomposição de restos vegetais. A textura (ou granulometria) é também uniforme, uma vez ser destituído de horizonte de acúmulo de argila iluvial. No horizonte “B” (do tipo latossólico), a estrutura é composta de agregados arredondados e muito pequenos (0,5 a 3,0 mm) acomodados de modo a deixarem uma grande quantidade de macroporos entre eles. Por suas características físicas são solos que permitem, em sua condição original, altas taxas de infiltração e uma baixa capacidade de retenção de água, mesmo com elevados teores de argila. Os latossolos geralmente possuem uma textura argilosa, e as areias quartzosas conferem ao solo uma textura arenosa.

Em razão do intenso intemperismo (ações de agentes como vento, água, fogo etc., que ocorrem na superfície terrestre, e provocam alterações físicas e químicas nas rochas) a que são submetidos, a maior parte dos Latossolos é pobre em nutrientes vegetais. Em relação à topografia, possui relevo plano a suave ondulado, com pendente inferior a 4%, de maneira geral. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa, segundo classificação de 1999, os Latossolos estão subdivididos em quatro subordens que são: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Latossolo Bruno, sendo as duas primeiras muito comuns no Estado.

A maior parte dos latossolos era, até algum tempo atrás, considerada como “solo problemático” para a agricultura, principalmente devido a sua acidez e baixa fertilidade natural. Contudo, hoje estão sendo muito procurados para atividades agrícolas, resultado da pesquisa agrícola e avanços tecnológicos relacionados ao emprego de corretivos da acidez do solo (rocha calcária moída) e adição de fertilizantes, juntamente à facilidade de mecanização e os preços ainda relativamente baixos das terras do Cerrado.

Plintossolos – O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) define esta classe de solos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário, todos provenientes da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação (Embrapa, 2006). São fortemente ácidos, podem apresentar saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), predominando os de baixa saturação. Verificam-se também solos com propriedades solódica e sódica.

São típicos de zonas quentes e úmidas, mormente com estação seca bem definida ou que, pelo menos, apresentem um período com decréscimo acentuado das chuvas. No entanto, ocorrem também na zona equatorial perúmida e mais esporadicamente em zona semiárida.

Por serem formados, normalmente, sob condições de restrição à percolação da água ou sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, são normalmente, imperfeitamente ou mal drenados. Parte dos solos desta classe (solos com horizonte plíntico) tem ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e, menos frequentemente, ondulado, em zonas geomórficas de baixada. Ocorrem também em terços inferiores de encostas ou áreas de surgentes, sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água.

Solos com predomínio de horizonte concrecionário, apresentam melhor drenagem e ocupam posições mais elevadas. Encontram-se normalmente em bordas de platôs e áreas ligeiramente dissecadas de chapadas e chapadões das regiões central e Norte do Brasil, do Piauí e Maranhão.

2.3.1.4. Uso e ocupação

No Estado de Goiás o solo é essencialmente ocupado por áreas de pastagem, culturas e urbanas. A maior parte é compreendida por pastagens naturais e com manejo.

O mapa apresentando na figura 32 demonstra a intensa utilização do solo em Goiás.



Cobertura e uso do solo - 2014

- Corpo d'água Continental
- Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais
- Mosaico de Vegetação Campestre com Área Agrícola
- Mosaico de Vegetação Florestal com Áreas Agrícolas
- Pastagem com Manejo
- Pastagem Natural
- Área Agrícola
- Área Artificial
- Área úmida
- Silvicultura
- Vegetação Campestre
- Vegetação Florestal

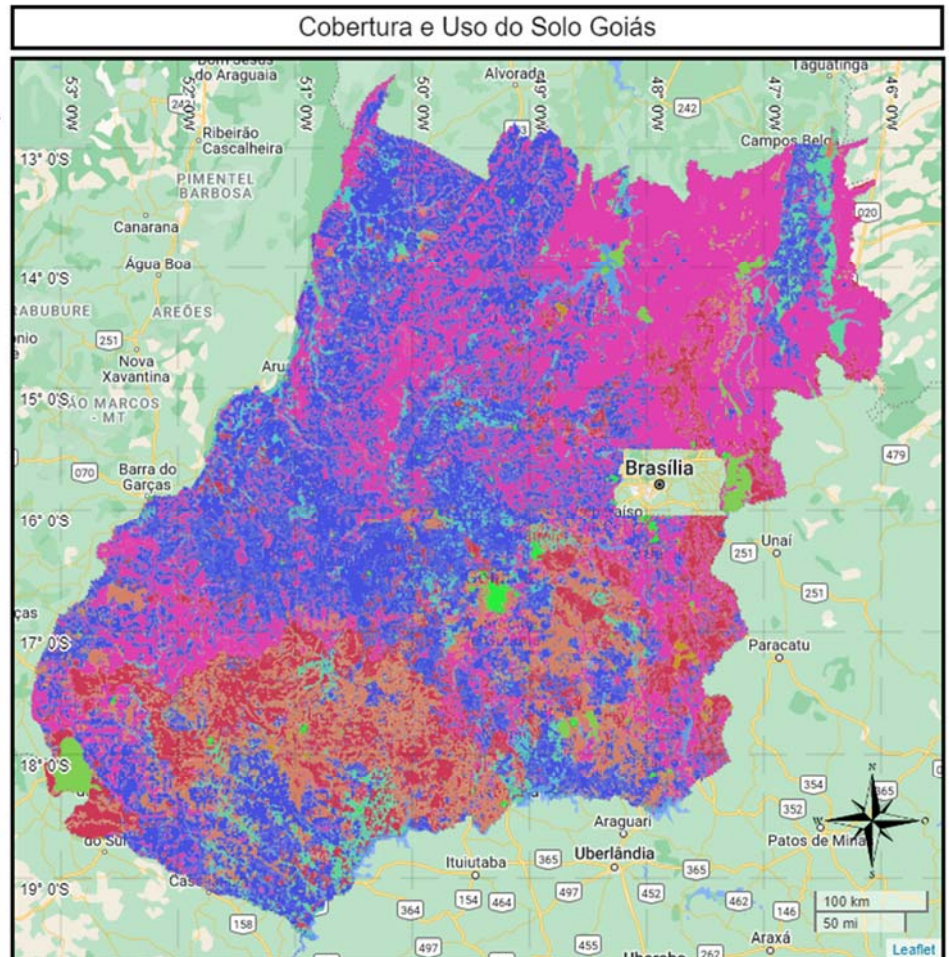


Figura25 – Cobertura e uso do solo.

Fonte: IMB.

Para a região de estudo, a cobertura de solo é predominantemente definida como Área Artificial ou urbana, conforme apresentado a seguir.



Cobertura e uso do solo - 2014

- Corpo d'água Continental
- Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais
- Mosaico de Vegetação Campestre com Área Agrícola
- Mosaico de Vegetação Florestal com Áreas Agrícolas
- Pastagem com Manejo
- Pastagem Natural
- Área Agrícola
- Área Artificial
- Área úmida
- Silvicultura
- Vegetação Campestre
- Vegetação Florestal

Municípios (2021)

- Municípios (2021)

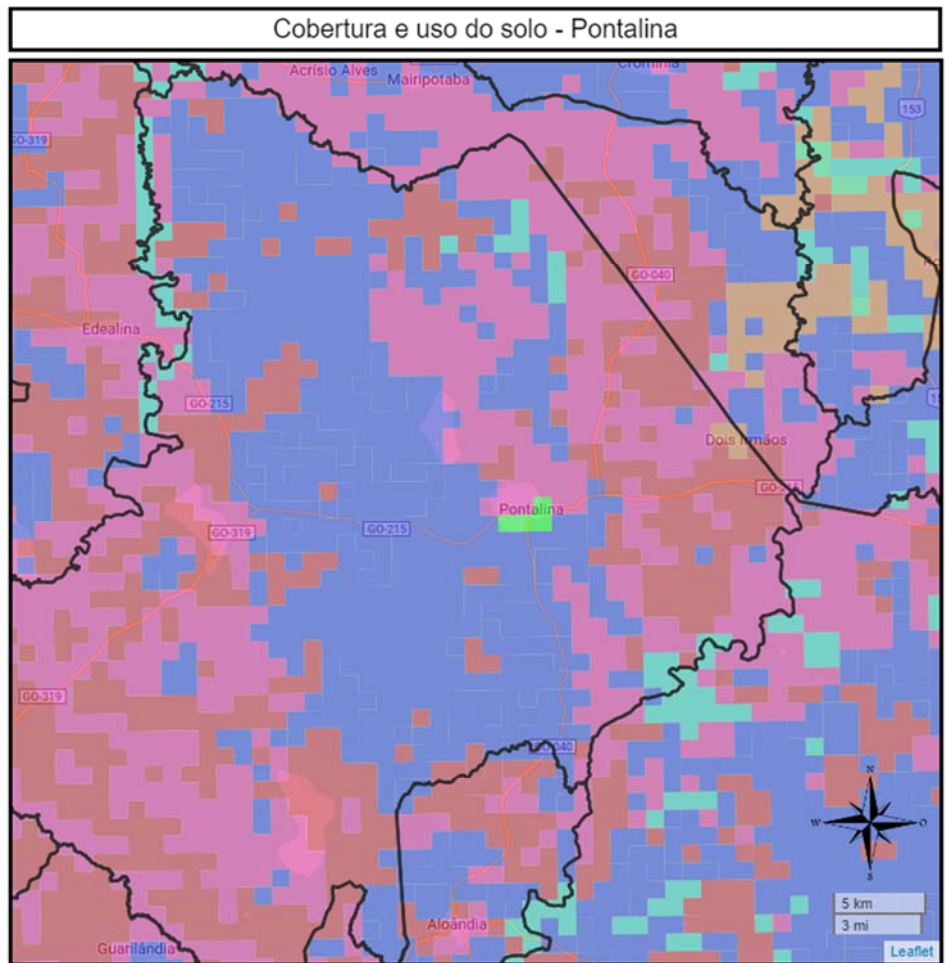


Figura 26 – Cobertura e uso do solo na região.

Fonte: IMB.

Os resultados dos estudos sondagem seguem a IP-14 – 2018/001 e estão consubstanciados através dos relatórios de sondagens, apresentados anexo a esse relatório.

2.3.1.5. Elementos complementares

Segundo a IP-14 – 2018/001 os elementos complementares são descrições da região de implantação da OAE. A seguir são apresentados os quesitos e as devidas descrições.

- *Nomenclatura da rodovia, S.R.E., trecho, subtrecho e estaca ou quilômetro em que se implantará a obra e nomes dos obstáculos a serem transpostos.*
 - **Rodovia:** LIGAÇÃO;
 - **Trecho:** Entr. GO-040 e GO-215;
 - **Obstáculo:** Aquífero – CÓRREGO MATEIRO;
- *Descrição dos aspectos locais que interessarão ao projeto, tais como: proximidade de centros urbanos, gabaritos a obedecer, necessidade de passeios para pedestres e guardacorpusespeciais, pista para bicicletas ou carroças, drenagem, passagens de tubulações, postes de iluminação, aspectos paisagísticos a considerar e quaisquer outros informes especiais necessários.*

O centro urbano mais próximo é a cidade de Pontalina, na qual o acesso à região de implantação da PCA CÓRREGO MATEIRO pode ser feito pela GO-040 ou GO-215, devidamente pavimentadas. A distância entre o entroncamento da GO-040 e o local de implantação da PCA é de aproximadamente 1,7 km. A distância entre o entroncamento da GO-215 e o local de implantação da PCA é de aproximadamente 1,1 km.

Conforme o projeto de pavimentação do contorno da cidade de Pontalina, local onde será implantada a obra de arte, a largura de uma faixa de rolamento bem como a largura dos acostamentos externos é apresentada abaixo:

- *Larguras das faixas de rolamento em relevo plano: 3,50m;*
- *Larguras dos acostamentos externos em relevo plano: 1,50m.*

Na região da PCA CÓRREGO MATIERO não deterá necessidade de passeios para pedestres e guardacorpusespeciais, pista para bicicletas ou carroças, passagens de tubulações, postes de iluminação, aspectos paisagísticos a considerar e quaisquer outros informes especiais necessários

Quanto à drenagem, na Fase de Projeto Executivo serão apresentados o devido projeto de drenagem da OAE em cena.

- *Meios de acesso à região onde se situará a obra e ao local.*

O acesso à região de implantação da PCA CÓRREGO MATEIRO pode ser feito pela GO-040 ou GO-215, devidamente pavimentadas. A distância entre o entroncamento da GO-040 e o local de implantação da PCA é de aproximadamente 1,7 km. A distância entre o entroncamento da GO-215 e o local de implantação da PCA é de aproximadamente 1,1 km.

- *Informações sobre a existência de jazidas de materiais que possam ser empregados na execução da obra, discriminando tipos disponíveis, quantidades e custos.*

Conforme apresentado no projeto de pavimentação do contorno de Pontalina, o qual este projeto de implantação é componente, os materiais de construção existentes ao longo do trecho e nas vizinhanças são suficientes e de qualidade, quantidade e custos satisfatórios e viáveis para implantação da OAE.

- *Informações sobre a possibilidade de aproveitamento de mão-de-obra da região, discriminando tipos, quantidades disponíveis e salários normais.*

Segundo dados do IBGE (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/pontalina/panorama>), as características regionais da cidade de Nova Crixás (município mais próximo da PCA) são de uma população de 17.121 pessoas (censo de 2010). A cidade detém comércio local de pequeno porte, sendo necessário o atendimento de comércio de maior porte na cidade de maior porte da região, neste caso em específico a cidade de Goiânia, distante 117 km do local de implantação da PCA.

Diante disso, a escolha do sistema construtivo possibilita, conforme apresentado no item 2.1.1 – Coletas de elementos básicos a utilização de mão-de-obra da construção civil corriqueiramente utilizadas em obras de pequeno e médio porte, como por exemplo os profissionais armadores, carpinteiros, concretadores, operadores de betoneira, ajudantes gerais, dentre outros. Os valores de honorários/salários são de acordo com o sindicato da categoria, neste caso do SINDUSCON-GO ou similar.

- *Condições de obtenção de água e análise química.*

O local de implantação da PCA CÓRREGO MATEIRO detém volume de água suficiente para o amassamento de todo o concreto a ser aplicado na OAE. Evidências obtidas no local apontam que não há presença de nenhum agente externo que possa influenciar na qualidade da água para devida utilização para produção de concretos em atendimento as instruções normativas vigentes.

- *Informações sobre as possibilidades de apoio da região, tais como: energia, habitações, comunicações, transportes, bancos e outros.*

Conforme descrito anteriormente, a região de implantação da OAE detém todos os serviços outrora apresentados.