

## PROJETO INTEGRAÇÃO FLUVIO-ESTUARINA: FLUXOS HIDROLÓGICOS

### 1 METODOLOGIA

#### 1.1 HIDROLOGIA

As estações pluviométricas existentes no interior e áreas lindeiras da bacia do Rio Doce foram identificadas por meio de consultas aos bancos de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

As estações existentes tiveram suas posições geográficas determinadas em shapefile e seus dados foram analisados em termos de consistência, disponibilidade e modo de obtenção, tendo as mesmas sido divididas em dois grupos: (1) estações que possuem longa série histórica e, (2) estações que apresentam dados diários recentes.

No grupo das estações de longa série histórica, estão as que apresentam séries descontinuadas e as que tiveram coleta de dados interrompidas. Assim, foram escolhidas aquelas com pelo menos 30 anos de dados contínuos entre 1985 e 2014, período em que os dados disponibilizados pela ANA se encontram consistidos. Este grupo é composto por 90 estações, todas operadas pela Agência Nacional de Água e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (ANA/CPRM).

A Tabela 1 apresenta dados das estações que apresentam longa série histórica, enquanto a

Figura 1 apresenta a espacialização das mesmas ao longo da bacia do rio Doce.

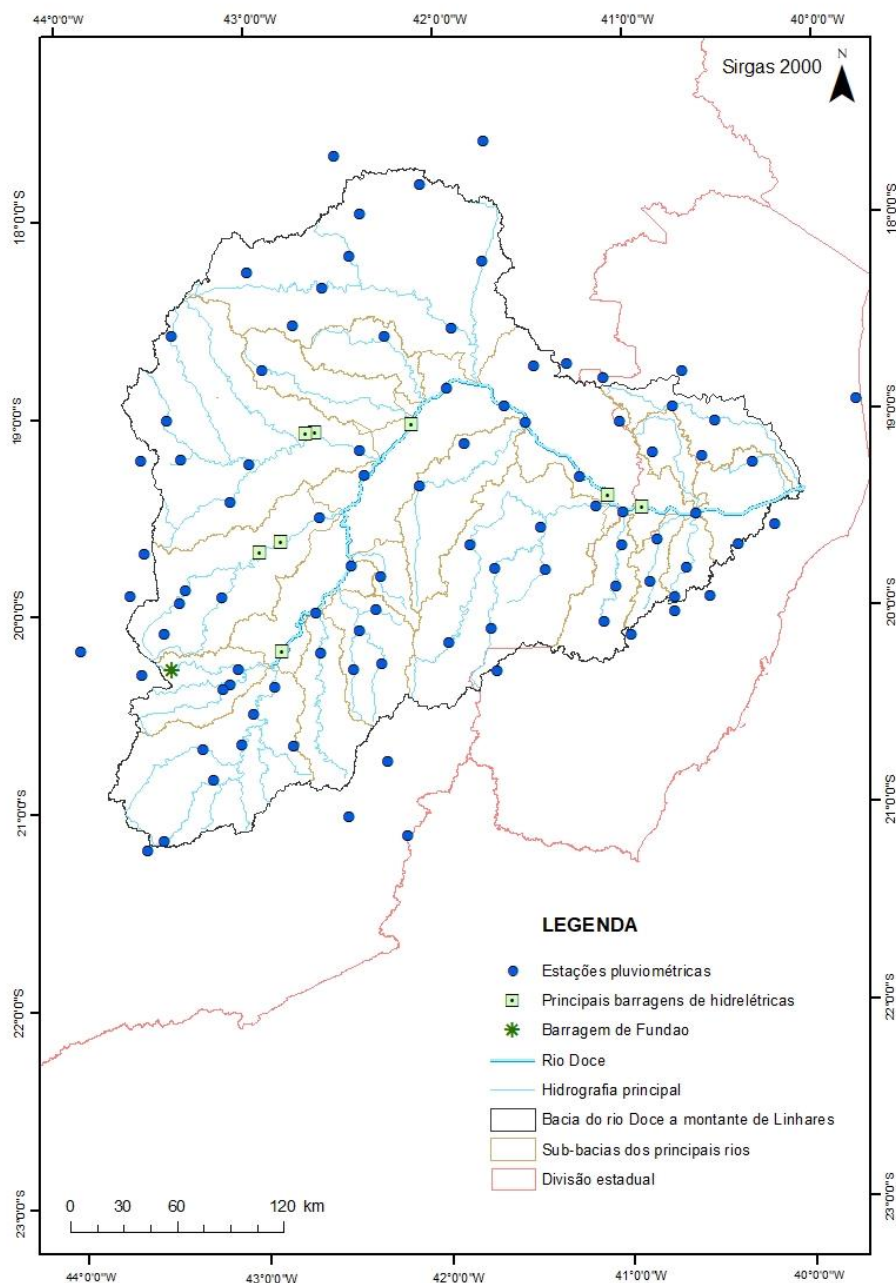
Tabela 1: Estações pluviométricas apresentando longas séries históricas na bacia do Rio Doce

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1839006	Barra Nova	-18.55277778	-42.76416667
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	2042014	Bicuíba	-18.59277778	-43.4125
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cachoeira dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444
ANA/CPRM	1943010	Caeté	-18.36305556	-42.60222222
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1742014	Capelinha	-18.20111111	-42.45527778
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1840010	Cedrolândia	-19.06166667	-41.53277778
ANA/CPRM	1841018	Central de Minas	-19.67833333	-41.83611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111
ANA/CPRM	2043056	Fazenda Água Limpa Jusante	-19.92277778	-43.17777778
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D´Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2142004	Fazenda Umbaúbas	-19.4925	-41.16166667
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667
ANA/CPRM	2040008	Garrafão (DNOS)	-19.88083333	-43.3675
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1940022	Jacupemba	-20.38472222	-42.90277778
ANA/CPRM	1943024	José de Melo	-20.28555556	-43.09888889
ANA/CPRM	1741006	Ladainha	-20.8475	-43.24194444
ANA/CPRM	2043002	Lagoa Grande	-20.51666667	-43.01666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1841009	Mantenópolis	-20.17055556	-41.96111111
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556
ANA/CPRM	2142002	Patrocínio do Muriaé	-19.2375	-40.59138889
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222
ANA/CPRM	2041017	Santa Cruz Caparaó	-17.69166667	-42.52611111
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333
ANA/CPRM	2040007	Santa Maria de Jetibá	-19.90277778	-43.66638889
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1940010	Valsugana Velha montante	-18.80972222	-40.69055556
ANA/IGAM	2143007	Vargem do Engenho	-20.14333333	-40.97527778
ANA/CPRM	1943035	Vau da Lagoa	-20.02805556	-40.74416667
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

Figura 1: Espacialização das estações pluviométricas apresentando longas séries históricas na bacia do Rio Doce



No grupo das estações com dados recentes, estão incluídas aquelas cujos dados são disponibilizados na internet diariamente ou em tempo real. Tratam-se das estações operadas pelo INMET, CEMADEN e ANA/Gestor PCD, cujos dados foram compilados diariamente durante o período de estudo.

A Tabela 2 apresenta as estações operadas pelo CEMADEN, enquanto a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a espacialização das mesmas na bacia do Rio Doce. A Tabela 3 apresenta as estações telemétricas disponibilizadas pela base de dados HIDRO - Telemetria, da ANA, enquanto a Figura 3 apresenta a espacialização das mesmas.

Tabela 2: Estações pluviométricas operadas pelo CEMADEM com dados recentes

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	320010201H	Rio Guandu
CEMADEN	320010202A	São Vicente
CEMADEN	320010203A	Floresta
CEMADEN	320010205A	Fazenda Guandu
CEMADEN	320010207A	Serra Pelada
CEMADEN	320010208A	Piracema
CEMADEN	320060702A	Centro
CEMADEN	320060705A	Jacupemba
CEMADEN	320060707A	Rod. Primo Bitti
CEMADEN	320090401A	Centro
CEMADEN	320090402A	Bambu
CEMADEN	320090403A	Centro2
CEMADEN	320150601A	Centro
CEMADEN	320150602A	Maria das Graças
CEMADEN	320150603A	Baunilha
CEMADEN	320150604A	Morada do Sol
CEMADEN	320150605A	Carlos Germano
CEMADEN	320150606A	Novo Horizonte
CEMADEN	320170401A	Pedro Rigo
CEMADEN	320220702A	São Joao
CEMADEN	320250401A	Centro
CEMADEN	320250402A	Av. Getúlio Vargas
CEMADEN	320255301A	Centro
CEMADEN	320270201A	Itaguaçu
CEMADEN	320270202A	Otto Luís Hofman
CEMADEN	320300701A	Centro
CEMADEN	320313001A	João Neiva
CEMADEN	320316301A	São Luiz de Miranda
CEMADEN	320316310H	Rio Guandu
CEMADEN	320320501A	Centro
CEMADEN	320330401A	Mantenópolis
CEMADEN	320400501A	Pancas
CEMADEN	320455901A	Alto Rio Possmoser
CEMADEN	320455903A	São Joao do Garrafão
CEMADEN	320455904A	São Luís
CEMADEN	320455905A	Baixo São Sebastiao
CEMADEN	320460901A	Centro
CEMADEN	320460902A	Alto Caldeirão
CEMADEN	320465801A	São Domingos do Norte
CEMADEN	320495501A	São Roque do Canaã
CEMADEN	320495502A	São Jacinto

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	320506901A	Esplanada
CEMADEN	310060901A	Centro
CEMADEN	310110201A	Igrejinha
CEMADEN	315350901A	Centro
CEMADEN	310230801A	Centro
CEMADEN	310560802A	Joao Paulo II
CEMADEN	310560803A	São Francisco
CEMADEN	310560804A	Correia de Almeida
CEMADEN	310560805A	Senhora dos Dolores
CEMADEN	310560806A	Funcionários
CEMADEN	310560808A	Ipanema
CEMADEN	310560810A	Água Santa
CEMADEN	310560811A	Nove de Março
CEMADEN	310560813A	Vilela
CEMADEN	310560814A	Carmo
CEMADEN	310560828H	Ribeirão Caieiro
CEMADEN	310570701A	Centro
CEMADEN	310630901A	Centro
CEMADEN	311000401A	Jose Brandao
CEMADEN	311080601A	Centro
CEMADEN	311205901A	Centro
CEMADEN	311230701A	Centro
CEMADEN	311290101A	Centro
CEMADEN	311320603A	Centro
CEMADEN	311320604A	Ponte Chave
CEMADEN	311320605A	Dombe
CEMADEN	311320606A	Pedra do Sino
CEMADEN	311320607A	Herculano Pena
CEMADEN	311340401A	Centro
CEMADEN	311340402A	Rural
CEMADEN	311570601A	Centro
CEMADEN	311600101A	Centro
CEMADEN	311750401A	Centro
CEMADEN	311800703A	Lobo Leite
CEMADEN	311800704A	Joaquim Murtinho
CEMADEN	311800711H	Rio Maranhão
CEMADEN	311830401A	Centro
CEMADEN	311830402A	Santa Efigênia
CEMADEN	311830403A	São Sebastiao
CEMADEN	311830404A	Belavinha
CEMADEN	311830405A	Buarque de Macedo
CEMADEN	311830406A	Santa Matilde

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	311830410H	Rio Bananeiras
CEMADEN	311920301A	Centro
CEMADEN	312170402A	Centro
CEMADEN	312190201A	Centro
CEMADEN	312250401A	Centro
CEMADEN	312260301A	Centro
CEMADEN	312370001A	Centro
CEMADEN	312400501A	Centro
CEMADEN	312420301A	Centro
CEMADEN	312420302A	Pq. Nac. Caparaó
CEMADEN	312580401A	Centro
CEMADEN	312680201A	Centro
CEMADEN	312690102A	Centro
CEMADEN	312690112H	Rio Suaçuí Grande
CEMADEN	312770101A	Altinópolis
CEMADEN	312770102A	Caravelas
CEMADEN	312770103A	Vera Cruz
CEMADEN	312770104A	Chonin de Baixo
CEMADEN	312770105A	Querosene
CEMADEN	312770106A	Santa Paula
CEMADEN	312770108A	Sir
CEMADEN	312820401A	Centro
CEMADEN	312900401A	Centro
CEMADEN	312930102A	Centro
CEMADEN	313090301A	Centro
CEMADEN	313130702A	Bom Jardim
CEMADEN	313130703A	Limoeiro
CEMADEN	313130704A	Bethânia
CEMADEN	313130705A	Bom Retiro
CEMADEN	313170301A	Joao XXIII
CEMADEN	313170302A	Gabiroba
CEMADEN	313170303A	N. S. das Oliveiras
CEMADEN	313170304A	Pedreira
CEMADEN	313170305A	Ipoema
CEMADEN	313170306A	Senhora do Carmo
CEMADEN	313270101A	Centro
CEMADEN	313320401A	Centro
CEMADEN	313620701A	Centro Industrial
CEMADEN	313620702A	N. S. da Conceição
CEMADEN	313620703A	Cruzeiro Celeste
CEMADEN	313620704A	Laranjeiras
CEMADEN	313620705A	Aclimação

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	313770001A	Centro
CEMADEN	313920101A	Centro
CEMADEN	313940901A	Pouso Alegre
CEMADEN	313940902A	Todos os Santos
CEMADEN	313950801A	Centro
CEMADEN	313960701A	Vila Florinda
CEMADEN	314000101A	Rosário
CEMADEN	314000102A	Centro
CEMADEN	314000103A	São Pedro
CEMADEN	314000104A	Santa Rita de Cassia
CEMADEN	314060501A	Centro
CEMADEN	314150401A	Centro
CEMADEN	314400301A	Centro
CEMADEN	314435901A	Centro
CEMADEN	314480503A	Centro
CEMADEN	314480504A	Honório Bicalho
CEMADEN	314480505A	Oswaldo Barbosa Penna II
CEMADEN	314480506A	Retiro
CEMADEN	314490401A	Esperança
CEMADEN	314610701A	Santo Antônio do Leite
CEMADEN	314610702A	Subdistrito de Soares
CEMADEN	314610703A	Bauxita
CEMADEN	314610704A	São Cristóvão
CEMADEN	314610705A	Parque das Andorinhas
CEMADEN	314610706A	Vila Itacolomy
CEMADEN	314610707A	Rodovia Melo Frando
CEMADEN	314610709A	Amarantina
CEMADEN	314610711A	Vila alegre
CEMADEN	314610712A	Estação Dom Bosco
CEMADEN	314995201A	Gameleira
CEMADEN	315000001A	Centro
CEMADEN	315080201A	Rosário
CEMADEN	315210502A	Centro MG
CEMADEN	315400201A	Santana
CEMADEN	315415001A	Moreira Bastos
CEMADEN	315430902A	Resplendor
CEMADEN	315480401A	Morgans
CEMADEN	315490301A	Centro
CEMADEN	315570201A	Centro
CEMADEN	315670023H	Ribeirão Sabará
CEMADEN	315680901A	Centro
CEMADEN	316020701A	Centro

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	316105601A	Centro
CEMADEN	316330001A	Centro
CEMADEN	316400101A	Centro
CEMADEN	316410001A	Centro
CEMADEN	316550301A	Centro
CEMADEN	316600601A	Centro
CEMADEN	316870501A	Centro-Norte
CEMADEN	316990102A	São Domingos
CEMADEN	316990104A	Otacílio Coutinho
CEMADEN	316990105A	Aeroporto
CEMADEN	316990107A	Ubá Pequeno
CEMADEN	316990108A	Av. Amadeu Schiavon
CEMADEN	316990109A	Rua Lilina Rinaldi
CEMADEN	316990110A	Av. Olegário Maciel
CEMADEN	316990126H	Rio Ubá
CEMADEN	317130301A	Centro
CEMADEN	317130303A	Fatima
CEMADEN	317130304A	São José do Triunfo
CEMADEN	317190701A	Centro
CEMADEN	317200401A	Centro
CEMADEN	317200427H	Rio Xopotó

Figura 2: Espacialização das estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN na bacia do Rio Doce, que apresentam dados diariamente disponibilizados na internet

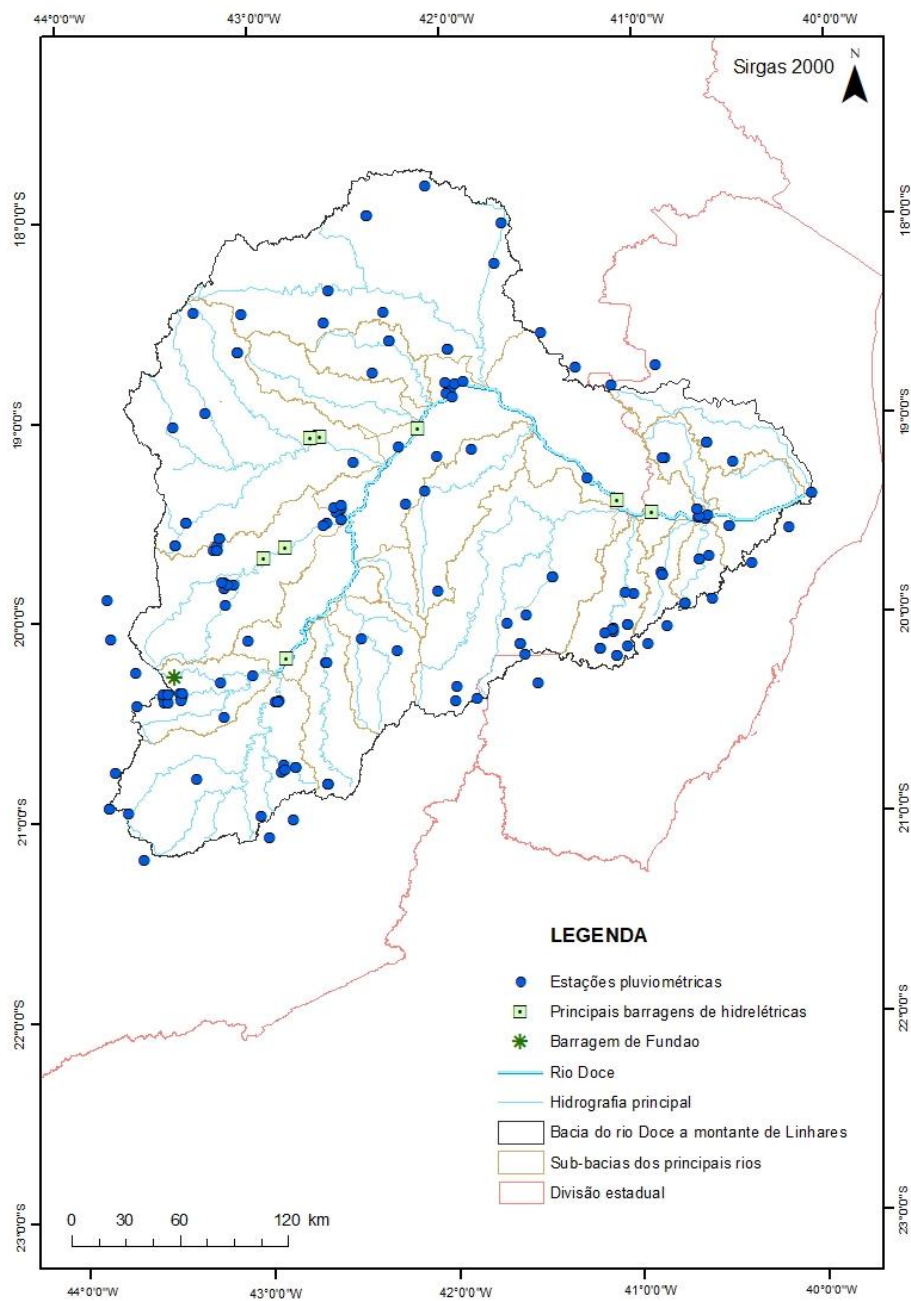


Tabela 3: Estações pluviométricas disponibilizadas pela base de dados HIDRO – Telemetria, da ANA

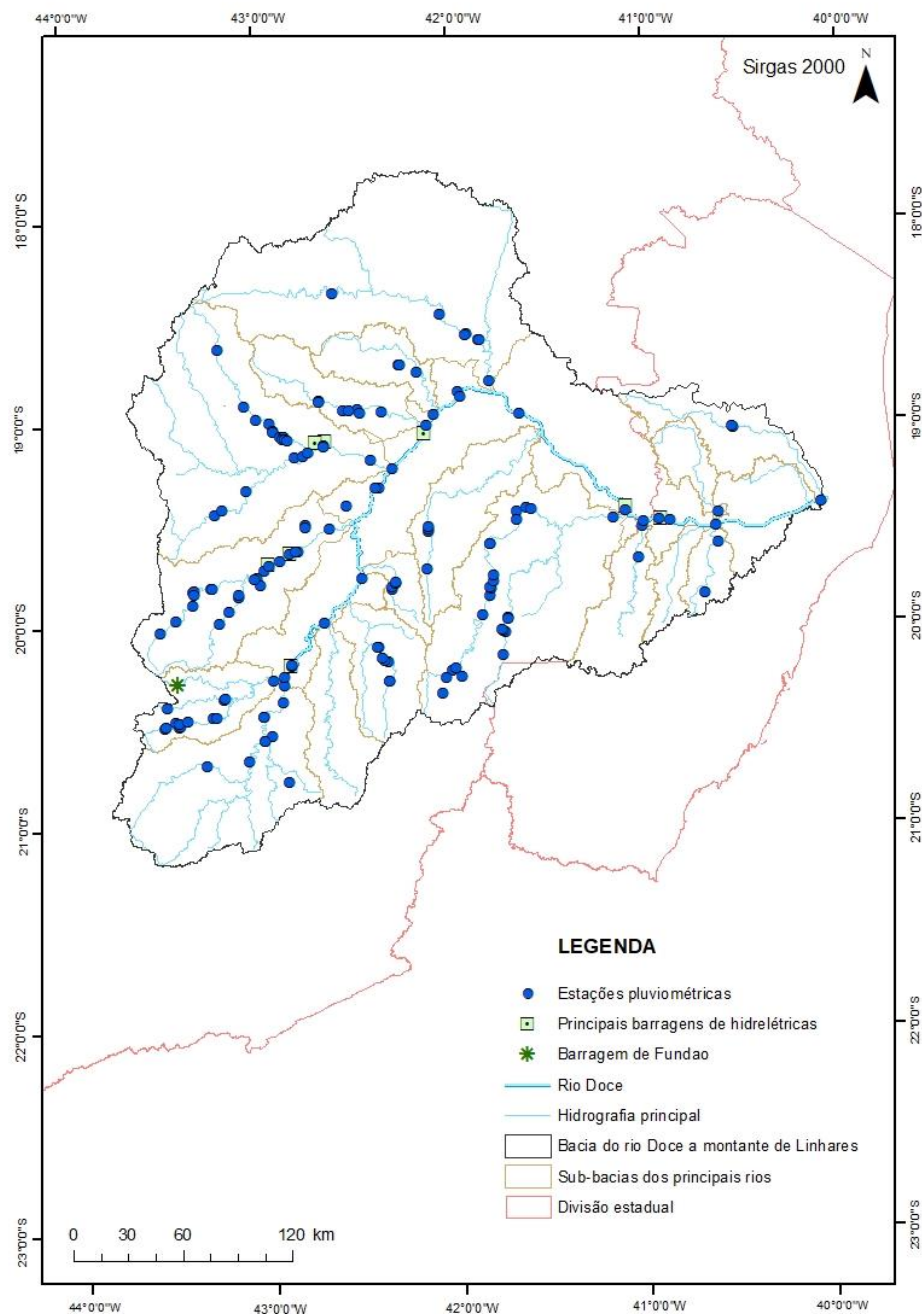
Resp./ Operadora	Código Est. Pluviométrica	Estação
ENERGEST	1941023	UHE Mascarenhas - Montante 1
ENERGEST	1941033	UHE Mascarenhas - Montante 3
ENERGEST	1940051	UHE Mascarenhas - Barramento
ENERGEST	1940047	UHE Mascarenhas - Jusante
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros

Resp./ Operadora	Código Est. Pluviométrica	Estação
ANA/CPRM	1940004	Linhares - Cais do Porto
ANA/CPRM	1940016	Barra de SAO Gabriel
CEMIG LESTE	1841029	PCH Tronqueiras Gov. Valadares
SA CARVALHO	1942033	UHE SA Carvalho Mesquita
SA CARVALHO	1942049	UHE SA Carvalho Jusante
CEMIG LESTE	2043063	UHE Peti SAO Gonçalves do Rio Acima
CEMIG LESTE	2043066	PCH Dona Rita Ouro Preto
ANA/CPRM	2042073	Viçosa Hidro
NOVELIS	2043069	PCH Brecha Montante 1
NOVELIS	2043068	PCH Brecha Montante 2
NOVELIS	2043067	PCH Brecha Montante 3
NOVELIS	2042055	PCH Brecha Barramento
NOVELIS	2042035	PCH Brecha Jusante
NOVELIS	2043087	PCH Brito Barramento
NOVELIS	2043088	PCH Brito Jusante
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova Jusante
MAYNART	2043083	PCH Furquim Barramento
MAYNART	2043084	PCH Furquim Jusante
MAYNART	2043129	PCH Caboclo Barramento
MAYNART	2043082	PCH Salto Jusante
MAYNART	2043130	CGH Cachoeira dos Prazeres Barramento
MAYNART	2043080	PCH Funil Barramento
MAYNART	2043081	PCH Funil Jusante
MAYNART	2043085	PCH Fumaça Barramento
MAYNART	2043086	PCH Fumaça Jusante
CONS. RISOLETA	2042056	UHE Risoleta Neves - Rio Piranga
CONS. RISOLETA	2042057	UHE Risoleta Neves - Rio do Carmo
CONS. RISOLETA	2042058	UHE Risoleta Neves Montante
CONS. RISOLETA	2042059	UHE Risoleta Neves Jusante
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas
SAO GERALDO	2042052	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 1
SAO GERALDO	2042053	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 2
SAO GERALDO	2042054	PCH Tulio Cordeiro de Mello Jusante
ZONA DA MATA	2142069	PCH João Camilo Penna Jusante
ZONA DA MATA	2042037	CGH MATIPO Jusante
ANA/CPRM	1942031	Cachoeira dos Óculos Montante
CEMIG	1942078	CGH Bom Jesus do Galho Montante
CEMIG	1942077	CGH Bom Jesus do Galho Barramento
CEMIG	1942034	CGH Sumidouro Barramento
CEMIG	1942076	CGH Sumidouro Jusante

Resp./ Operadora	Código Est. Pluviométrica	Estação
ARCELOR	1943111	PCH Rio Piracicaba Montante
ARCELOR	1943112	PCH Rio Piracicaba Jusante
CEMIG LESTE	1943101	UHE Peti Carrapato
CEMIG LESTE	1943076	UHE Peti Barramento
CEMIG LESTE	1943145	UHE Peti Jusante
SPE Gonçalves	1943104	PCH SAO Gonçalves Montante 1
SPE Gonçalves	1943114	PCH SAO Gonçalves Montante 2
SPE Gonçalves	1943103	PCH SAO Gonçalves Jusante
SA CARVALHO	1942050	UHE SA Carvalho Drumond Central
ANA/CPRM	1943100	Nova Era Telemétrica
CONS. UHEGA	1943113	UHE Guilman Amorim - Rio da Prata
CONS. UHEGA	1943080	UHE Guilman Amorim - Nova Era
CONS. UHEGA	1942055	UHE Guilman Amorim - Jusante
SPE COCAIS	1942057	PCH Cocais Grande Montante
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente
SALTO GRANDE	1942022	UHE Salto Grande Rio Sto. Antônio
CEMIG LESTE	1943102	PCH Dona Rita Povoado dos Gomes
CEMIG LESTE	1943147	PCH Dona Rita Jusante
Jacaré	1843026	PCH Jacaré Montante 1
Jacaré	1843025	PCH Jacaré Montante 2
Jacaré	1843024	PCH Jacaré Montante 3
Jacaré	1942064	PCH Jacaré Barramento
SENHORA	1942065	PCH Senhora do Porto Jusante
DORES	1942063	PCH Dores de Guanhões Jusante
SALTO GRANDE	1942045	UHE Salto Grande Montante
FUNIL	1942053	PCH Funil Montante
SALTO GRANDE	1942059	UHE Salto Grande Barramento Sto. Antônio
SALTO GRANDE	1942025	UHE Salto Grande Barramento Guanhões
PORTO ESTRELA	1942041	UHE Porto Estrela Jusante
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho
CONS. BAGUARI	1942066	UHE Baguari Montante
CONS. BAGUARI	1942051	UHE Baguari Naque Balsa
SPE PACIENCIA	1842030	PCH Barra da Paciência Jusante
SPE CORR. GRANDE	1842030	PCH Corrente Grande Montante
FORTUNA	1842033	SPE Fortuna II Jusante
CONS. BAGUARI	1842034	UHE Baguari Rio Corrente Grande
CONS. BAGUARI	1942067	UHE Baguari Barramento
CONS. BAGUARI	1842028	UHE Baguari Jusante

Resp./ Operadora	Código Est. Pluviométrica	Estação
CEMIG LESTE	1842027	PCH Tronqueiras Jusante
CEMIG LESTE	1842036	PCH Tronqueiras Suaçuí Pequeno
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares
ANA/CPRM	1842004	SAO Pedro do Suaçuí
SPE PAIOL	1841032	PCH Paiol Montante 1
SPE PAIOL	1842032	PCH Paiol Montante 2
SPE PAIOL	1841031	PCH Paiol Jusante
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias Montante
ALIANCA	1841030	UHE Aimorés - Rio Suaçuí Grande
ALIANCA	1841044	UHE Aimorés Montante
IG. CAARATINGA	1942061	PCH Inhapim Montante 1
IG. CAARATINGA	1942060	PCH Inhapim Montante 2
IG. CAARATINGA	1942062	PCH Inhapim Jusante
CEMIG LESTE	2042074	PCH Sinceridade Montante
RIO MANHUACU	2041098	PCH Benjamim Mário Baptista Montante
CEMIG LESTE	1941040	PCH Neblina Montante 1
CEMIG LESTE	1941039	PCH Neblina Montante 2
CEMIG LESTE	1941041	PCH Neblina Barramento
CEMIG LESTE	1941022	PCH Neblina Jusante
CEMIG LESTE	2041089	CGH Cachoeira Alta Jusante
PIPOCA	1941032	PCH Pipoca Montante
AREIA BRANCA	1941030	PCH Areia Branca Barramento
AREIA BRANCA	1941036	PCH Areia Branca Jusante
Cachoeirao	1941027	PCH Cachoeirao Montante 1
Cachoeirao	1941028	PCH Cachoeirao Montante 2
Cachoeirao	1941029	PCH Cachoeirao Jusante
SPE VARGINHA	2041086	PCH Varginha Montante 1
SPE VARGINHA	2041093	PCH Varginha Montante 2
SPE VARGINHA	2048085	PCH Varginha Jusante
SPE V. ALEGRE	1941031	PCH Várzea Alegre Jusante
ALIANCA	1941038	PCH Aimorés - Rio MANHUACU
ALIANCA	1941037	PCH Aimorés Barramento

Figura 3: Espacialização das estações telemétricas na bacia do Rio Doce, com dados disponibilizados na base de dados  
HIDRO – Telemetria, da ANA



As estações que apresentam dados pluviométricos de longo prazo tiveram seus dados compilados em planilha eletrônica, sendo os totais pluviométricos mensais calculados.

As estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Doce, assim como os responsáveis por suas operações, foram identificadas e, em seguida, espacializadas, utilizando sistema de informações geográficas. Das estações identificadas nesta fase, algumas não estão mais em operação e outras apresentam séries históricas com muitas falhas ou estão localizadas muito próximas de outras. Assim,

38 estações foram consideradas adequadas para caracterização fluviométrica da bacia do Rio Doce. A Figura 4 apresenta a espacialização das 38 estações fluviométricas na bacia do Rio Doce. Destas, cinco estações estão localizadas na calha do rio Doce, cinco localizadas no rio Piranga e no rio Santo Antônio, quatro estações no rio Manhuaçu, três estações nos rios Itambacuri e Piracicaba, duas estações no rio Corrente, no rio Caratinga e no rio do Carmo e uma estação em cada um dos seguintes rios: Casca, Guandu, Guanhões, Matipó, Pancas, Sacramento, Santa Joana, Santa Maria do rio Doce e São José. O rio Suaçuí Pequeno possui uma estação (Fazenda Aconchego) que se encontra também espacializada; porém, a mesma possui poucos dados disponíveis, não constituindo uma série histórica e, portanto, não foi utilizada em análises estatísticas subsequentes.

Os dados das estações foram consistidos em escritório com a eliminação dos anos com falhas superiores a vinte dias e preenchimento de falhas para os anos com menos de 20 dias de falha. Para o preenchimento das falhas, foram utilizados dados das estações mais próximas localizadas nos mesmos cursos d'água das estações com séries a serem preenchidas. A Tabela 4 apresenta a listagem das estações e as operações executadas nas suas séries para consistência de seus dados. Das 38 estações, 36 tiveram os dados referentes ao ano 1988 eliminado devido ao grande número de falhas. A estação Dom Cavati teve dados relativos a três anos eliminados da análise (1988, 1991 e 1993), enquanto as estações Porto de Santa Rita, Instituto Florestal Raul Soares, Rio Piracicaba, Barra do Cuieté Jusante, Barra de São Gabriel, Colatina, Ponte do Pancas e Jusante Córrego da Piaba tiveram dados relativos a dois anos eliminados. Quatro estações tiveram dados preenchidos durante o processamento de consistência de dados, Instituto Florestal Raul Soares, Mário de Carvalho, Colatina e Jusante Córrego da Piaba.

Para a maioria das estações, as séries históricas consideradas compreenderam registros relativos aos anos de 1985 a 2014. Exceções dizem respeito às estações Nova Era IV, Mario de Carvalho e Belo Oriente. Para a primeira, a série histórica abrangeu o período 1990-2016, enquanto que para as estações Mario de Carvalho e Belo Oriente as séries abrangeram o período 1987-2016.

Figura 4: Espacialização das estações fluviométricas na bacia do rio Doce a montante de Linhares

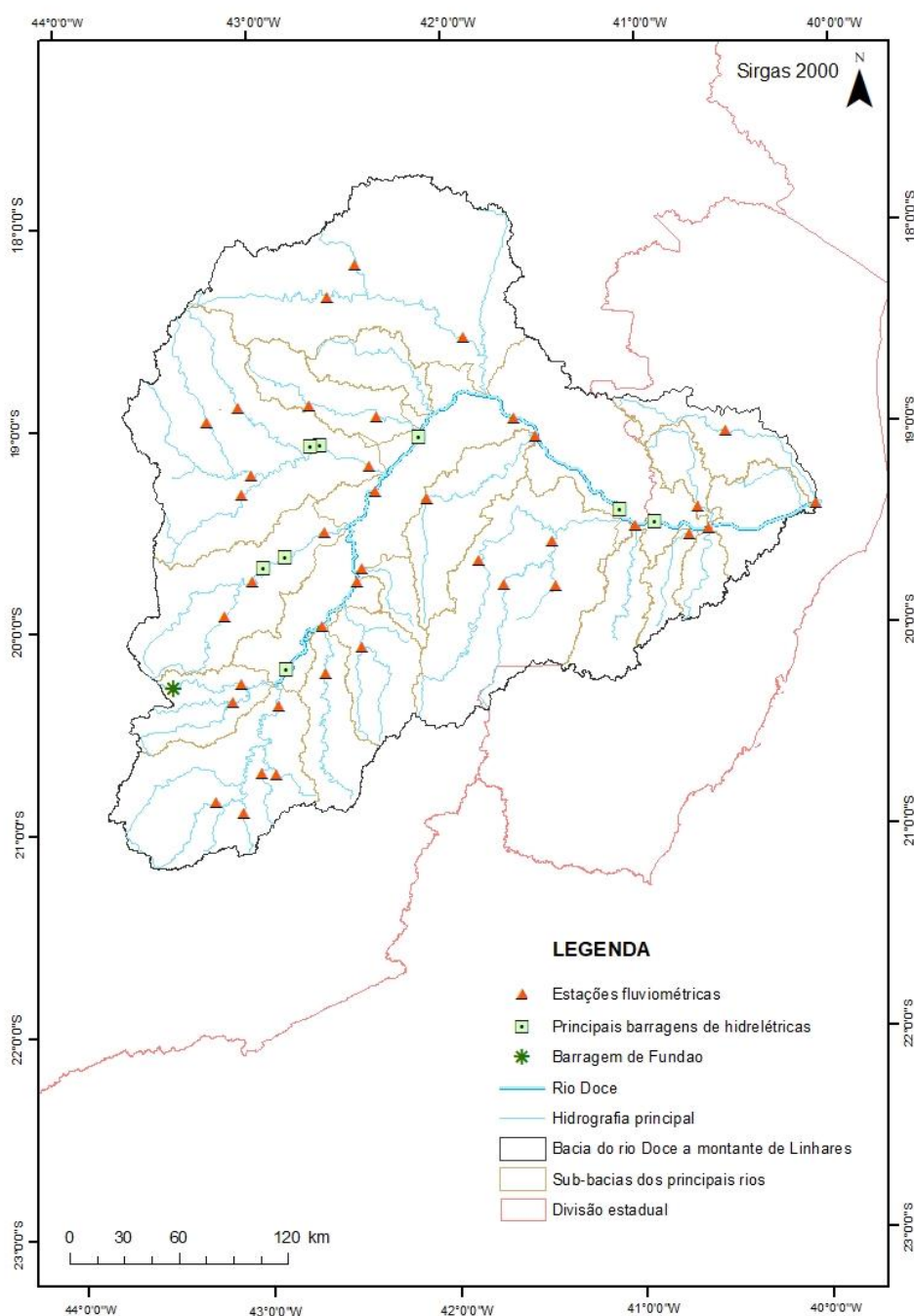


Tabela 4: Análise da consistência de dados fluviométricos das 38 estações da bacia do rio Doce

Código	Estação	Anos eliminados	Preenchimento de falhas
56846000	Porto de Santa Rita	1988 e 1989	-
56055000	Braz Pires	1988	-
56090000	Fazenda Varginha	1988	-
56110005	Ponte Nova Jusante	1988	-
56335001	Acaiaca Jusante	1988	-

Código	Estação	Anos eliminados	Preenchimento de falhas
56337000	Fazenda Ocidente	1988	-
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	1988	-
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	1988 e 2009	Dez. 2008
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	1988	-
56570000	Pingo D'Água	1988	-
56610000	Rio Piracicaba	1986 e 1988	-
56659998	Nova Era IV	-	-
56696000	Mário de Carvalho	1988	Mai. 1985, jul. 2016 e set. 2016
56719998	Belo Oriente	1988	-
56765000	Dom Joaquim	1988	-
56775000	Ferros	1988	-
56787000	Fazenda Barraca	1988	-
56800000	Senhora do Porto	1988	-
56825000	Naque Velho	1988	-
56845000	Fazenda Corrente	1988	-
56860000	São Pedro do Suaçuí	1988	-
56870000	Santa Maria do Suaçuí	1988	-
56891900	Vila Matias Montante	1988	-
56920000	Tumiritinga	1988	-
56935000	Dom Cavati	1988, 1991 e 1993	-
56940002	Barra do Cuieté Jusante	1988 e 1993	-
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	1988	-
56988500	Ipanema	1988	-
56989001	Mutum	1988	-
56989400	Assaraí montante	1988	-
56998400	Barra de São Gabriel	1988 e 1989	-
56992000	Baixo Guandu	1988	-
56994500	Colatina	1988 e 1989	Jan. 1985 e fev. 1985
56995500	Ponte do Pancas	1988 e 1989	-
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1990 e 1989	Mar 1995
56075000	Porto Firme	1988	-
56085000	Seriquite	1988	-
56065000	Senador Firmino	1988	-

Os dados fluviométricos diários de cada estação foram compilados em planilha eletrônica, sendo calculada a vazão média para todo o período. Para cada ano, foram identificadas as vazões máxima e mínima e calculadas as médias das mesmas para a série histórica. Com o objetivo de se comparar as vazões específicas, em L/s.km<sup>2</sup>, referentes às diversas sub-bacias do Rio Doce, as vazões médias relativas às estações fluviométricas foram divididas pelas áreas de contribuição das mesmas (deflúvios areais médios).

As vazões médias anuais relativas às estações foram transpostas para outras áreas da bacia do Rio Doce, de forma a se computar as vazões médias contribuintes de cada uma das sub-bacias e trechos do rio Doce, isto é, o quanto cada sub-bacia e cada trecho do Rio Doce contribui para a vazão média do rio Doce. A

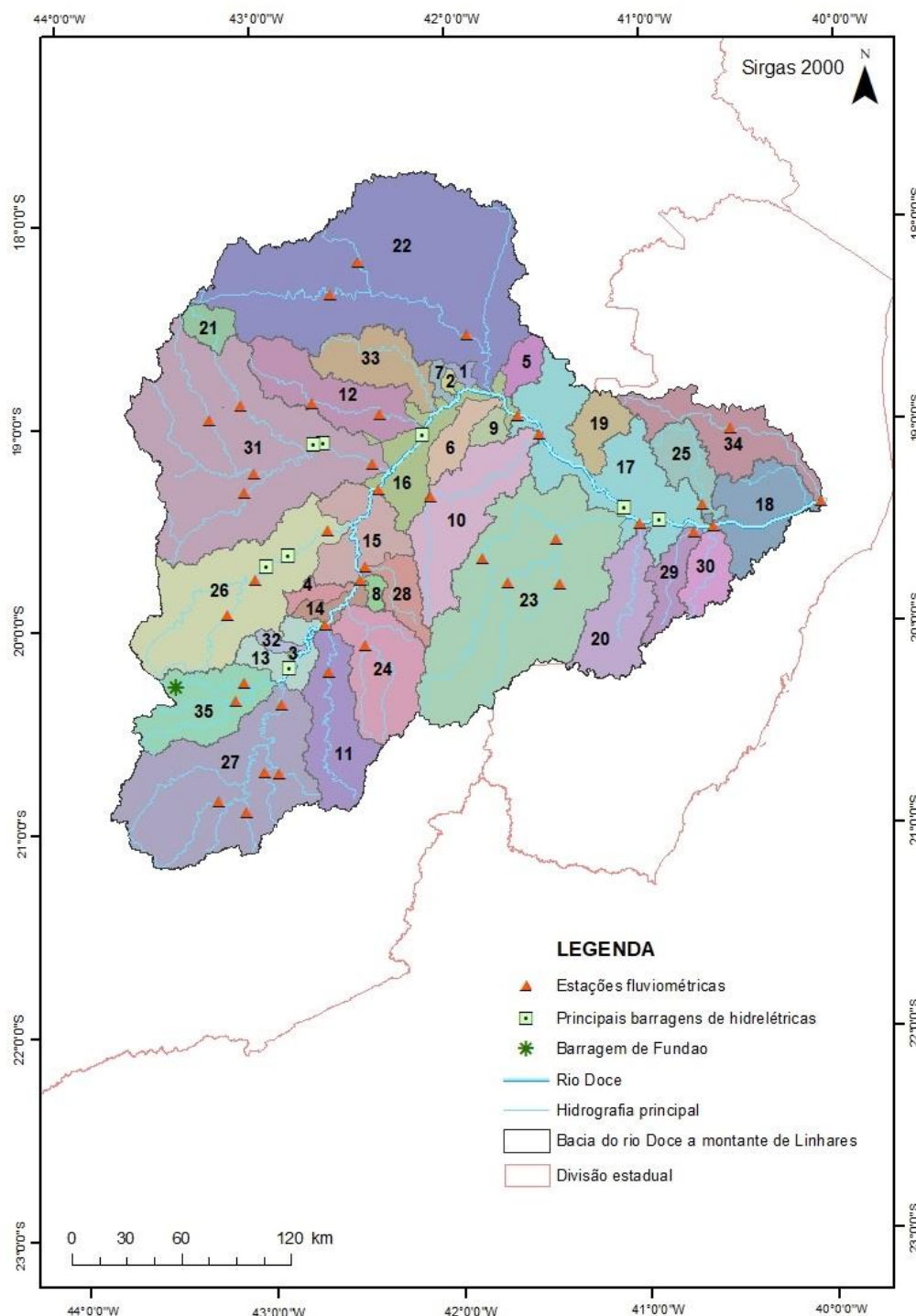
apresenta as sub-bacias e os trechos do Rio Doce que foram contemplados nesta análise e a Tabela contém a lista com nomes para identificação na

Tabela 5: Nomes das sub-bacias utilizadas na análise das vazões médias contribuintes para a vazão média do rio Doce

Número da sub-bacia no mapa (Figura 6)	Nome da sub-bacia
1	Bacia do córrego Capim
2	Bacia do córrego Moreira
3	Bacia do córrego do Manga
4	Bacia do ribeirão Mombaça
5	Bacia do ribeirão Santa Helena
6	Bacia do ribeirão Traíra
7	Bacia do ribeirão da Onça
8	Bacia do ribeirão dos Óculos
9	Bacia do rio Batatas
10	Bacia do rio Caratinga
11	Bacia do rio Casca
12	Bacia do rio Corrente
13	Bacia do rio Doce – Trecho 1
14	Bacia do rio Doce – Trecho 2
15	Bacia do rio Doce – Trecho 3
16	Bacia do rio Doce – Trecho 4
17	Bacia do rio Doce – Trecho 5
18	Bacia do rio Doce – Trecho 6
19	Bacia do rio do Eme
20	Bacia do rio Guandu
21	Bacia do rio Guanhães
22	Bacia do rio Itambacuri
23	Bacia do rio Manhuaçu
24	Bacia do rio Matipó
25	Bacia do rio Pancas
26	Bacia do rio Piracicaba
27	Bacia do rio Piranga
28	Bacia do rio Sacramento
29	Bacia do rio Santa Joana
30	Bacia do rio Santa Maria do Rio Doce
31	Bacia do rio Santo Antônio
32	Bacia do rio Sem Peixes
33	Bacia do rio Suaçuí Pequeno
34	Bacia do rio São José

Número da sub-bacia no mapa (Figura 6)	Nome da sub-bacia
35	Bacia do rio do Carmo

Figura 5: Mapa das sub-bacias e trechos do Rio Doce considerados na análise das vazões médias contribuintes para a vazão média do Rio Doce



Para a criação dos mapas de interpolação da precipitação acumulada durante o PMBA/FEST-RRDM (Figuras 1A e 1B do relatório), foram utilizados dados de 17 estações pluviométricas, e para os mapas de interpolação da precipitação acumulada, um para o total pluviométrico da série histórica de 30 anos (1985-2014) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**A) e outro o período úmido de uma série

histórica de 30 anos (1985-2014) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** do relatório). Para esse mapa foram utilizadas 70 estações pluviométricas convencionais de responsabilidade da Agência Nacional de Águas – ANA e operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Os três mapas foram produzidos por três métodos de interpolação existentes no software ArcGis: Inverse Distance Weight (IDW), Spline e Kriging. Para os interpoladores IDW e Kriging, os mapas gerados foram bem semelhantes, tanto em relação à distribuição espacial da chuva quanto em termos numéricos (acumulados máximos e mínimos). Decidiu-se pela utilização do interpolador IDW, seguindo a metodologia utilizada no primeiro ano de monitoramento do PMBA/FEST-RRDM, ou seja, potência igual a 2 e número de pontos igual a 6.

Tabela 6: Estações pluviométricas utilizadas para a interpolação do acumulado de precipitação da série histórica

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cachoeira dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

Com o objetivo de verificar a origem das águas que compunham as vazões do rio Doce durante as campanhas de monitoramento, foi realizada uma análise das vazões das sub-bacias no período antecedente às campanhas, pelo fato de ser considerável a influência do rio Doce no período antecedente às campanhas de monitoramento. Como a influência do reservatório da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista (Aimorés) foi considerada significativa na mistura das águas originadas a montante deste, a análise utilizou as vazões do rio Doce que afluem no lago e as vazões das estações a jusante do reservatório, que estão situadas nas bacias dos rios Pancas, Manhuaçu, Guandu, Santa Joana, São José, Colatina e Santa Maria do Rio Doce.

Os principais fatores que influem no regime hídrico de uma região são a topografia, a capacidade de infiltração dos solos (estritamente ligada ao uso e ocupação, às suas condições físicas como porosidade, textura, estrutura, entre outros) e o regime climático local, principalmente pluviosidade e os fatores que interferem na evapotranspiração (vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar). A espacialização dessas variáveis reflete na diferenciação do regime fluviométrico de uma bacia ou das sub-bacias que a compõem, como é o caso da bacia do rio Doce.

Foi aplicada a modelagem hidrológica à Bacia do Rio Doce, justificada pelo fato de que a publicação de dados fluviométricos das estações na bacia do rio Doce não ocorre em tempo real, o que dificulta a interpretação dos dados quanto à origem das águas monitoradas por este PMBA/FEST-RRDM, isto é, qual a percentagem da água monitorada em um determinado dia que vem da região próxima à barragem de Fundão e qual é a percentagem vinda de sub bacias não impactadas pelo rompimento da barragem. Como as estações gerenciadas pelo CEMADEN e pelo Gestor PCD publicam diariamente dados pluviométricos, julgou-se conveniente ajustar um modelo hidrológico à bacia do rio Doce para simular vazões tendo dados pluviométricos como uma das variáveis de entrada, de forma a auxiliar nas análises.

Dentre os modelos hidrológicos disponíveis, decidiu-se por utilizar o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Trata-se de um modelo hidrológico de simulação diária integrado a um Sistema de Informações Geográficas que permite a representação da bacia hidrográfica estudada em *layers*, sendo possível, desta forma, utilizar modelos digitais de elevação, mapas de solo e uso e ocupação do solo como dados de entrada e estudar o comportamento hidrológico das diversas variáveis de entrada, inclusive as ligadas ao clima. O modelo foi desenvolvido pelo *US Department of Agriculture - Agricultural Research Service* no *Soil and Water Research Laboratory*, em *Temple no Texas, EUA*, em 1990 e vem sofrendo atualizações constantes ao longo dos anos.

O SWAT permite que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia hidrográfica com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas não instrumentadas (MACHADO, 2002). O modelo é dividido em oito componentes de dados (MARCHIORO, 2008):

- **Clima:** possibilita a geração estocástica de dados climáticos através do algoritmo baseado na cadeia de *Markov* para uma localidade específica, tais como precipitação, temperatura, velocidade do vento e radiação solar.
- **Hidrologia:** calcula a infiltração, o movimento da água no solo, umidade relativa, balanço hídrico diário, fluxo subterrâneo lateral, escoamento superficial e retorno do fluxo.
- **Crescimento de plantas:** simula as mudanças temporais das plantas e resíduos, tais como altura da copa, profundidade de raiz e biomassa produzida.
- **Solos:** requer parâmetros físicos (profundidade do perfil e dos horizontes, textura, entre outros) e hídricos (condutividade hidráulica e disponibilidade de água por horizonte).
- **Processo de erosão/sedimentação:** governado pela MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) que utiliza o escoamento para simular a erosão e produção de sedimentos.
- **Nutrientes e pesticidas:** o modelo simula o comportamento para a variável encosta e a propagação no canal fluvial.
- **Manejo:** permite que o usuário indique o tipo, início e fim do manejo para que o modelo possa simular sua variação temporal.

O SWAT é classificado como um modelo baseado em processos, incorporando equações que descrevem a relação entre as variáveis do sistema. É também classificado como um modelo distribuído, pois subdivide a bacia hidrográfica em sub-bacias ou Unidades de Resposta Hidrológica (URH) de modo a refletir a diferença do tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo em cada URH, sendo possível a subdivisão da bacia em centenas a milhares de unidades, cada uma representando um sistema aberto (ANDRIOLO *et al*, 2008).

As URH são aglomerados de células que possuem idênticas características de vegetação, tipo de solo, práticas conservacionistas, dentre outros e são fundamentais quando diferentes áreas da bacia hidrográfica são dominadas por usos e tipos de solo diferentes (NEITSCH *et al*, 2005).

Após os trabalhos de coleta e compilação de dados hidrológicos, a simulação hidrológica se dividiu em quatro etapas:

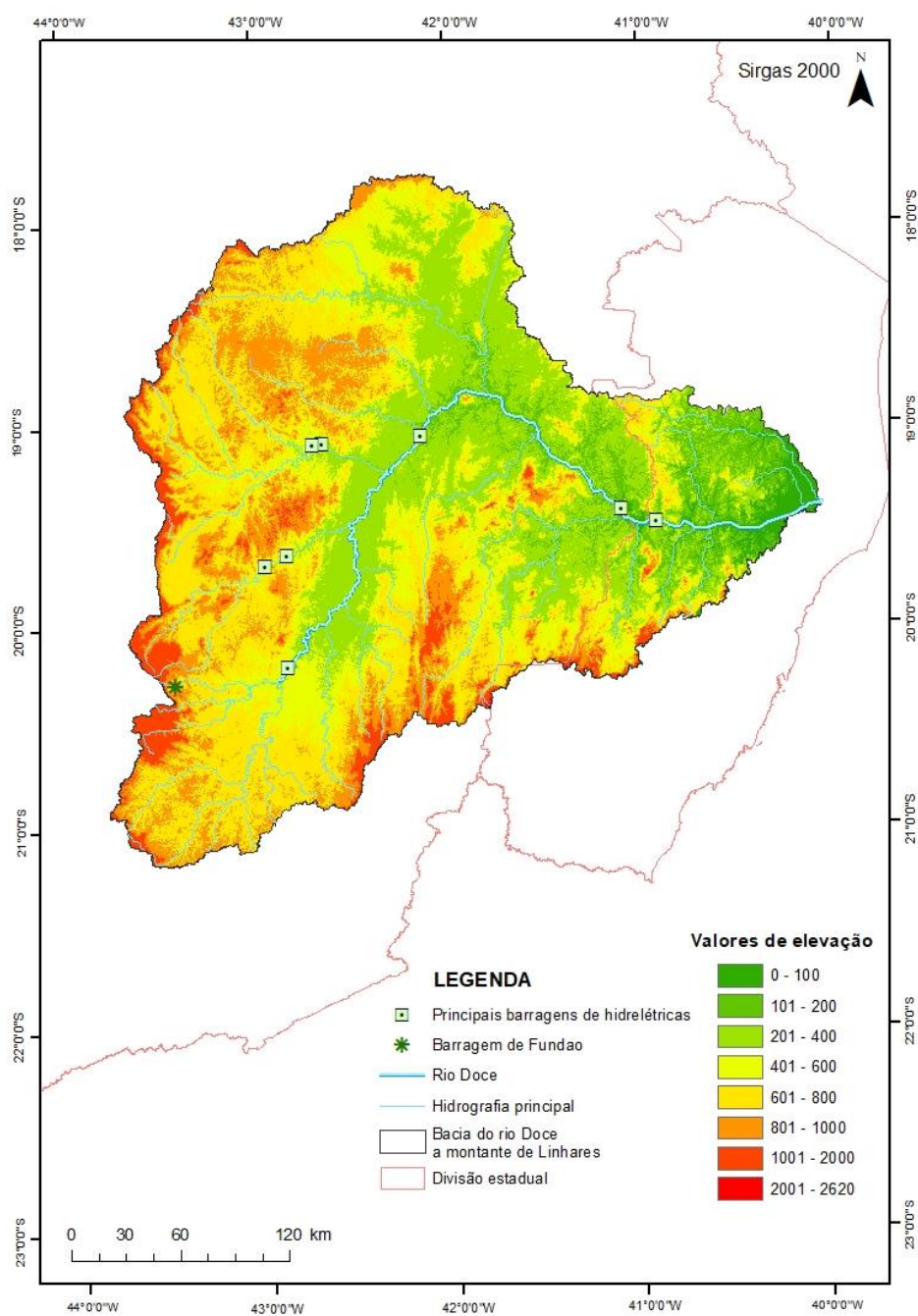
- Elaboração de mapas.
- Calibração do modelo
- Modelagem hidrológica atual.
- Análise dos resultados.
- As informações cartográficas que compuseram dados de entrada do modelo SWAT foram o Modelo Digital de Elevação (MDE) e os mapas Pedológico e de Uso e Ocupação do Solo da bacia do rio Doce. O MDE utilizado foi o disponibilizado no Portal para Informações e Dados Espaciais da Agência Nacional de Águas (GeoNetwork – ANA, 2018). Este possui moderada resolução espacial (células de 10m) e foi criado a partir de Modelos Digitais SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e *Global Digital Elevation Map*. A interpolação utilizada para a

elaboração do MDE com resolução de 10 m foi pelo método “*Spline*”. Além disso, foram utilizados os pontos altimétricos cotados para alocação de torres de transmissão de sinal de telefonia celular distribuídos aleatoriamente por toda a área do projeto, aprimorando a acurácia do dado. Para a área correspondente ao fuso 23, foram utilizados 9.720 pontos com as coordenadas planialtimétricas conhecidas e na área pertencente ao fuso 24, um total de 6.478 pontos. Como resultado, foi gerado um MDE de Superfície (MDS) com uma precisão de 5 m na altimetria e 10 m na planimetria.

- O Mapa de Uso e Ocupação do Solo utilizado é também disponibilizado pelo Portal para Informações e Dados Espaciais (GeoNetwork – ANA, 2018). O mapa foi criado por meio de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 e o produto tem uma escala de interpretação de 10 metros compatível com escala 1:100.000.
- Já o Mapa Pedológico da bacia do Rio Doce foi criado em 2006 pela Diretoria de Geociências do IBGE e está disponibilizado pelo Portal FTP deste órgão em resolução 1:5.000.000 (IBGE, 2006).

Os dados cartográficos e de altimetria utilizados estão apresentados a seguir: o MDE é apresentado na Figura 6, o mapa de Uso e ocupação do solo, na Figura 7e o Mapa Pedológico, na Figura 8.

Figura 6: MDE da bacia do rio Doce



Fonte: ANA adaptado, 2018.

Figura 7: Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia do rio Doce

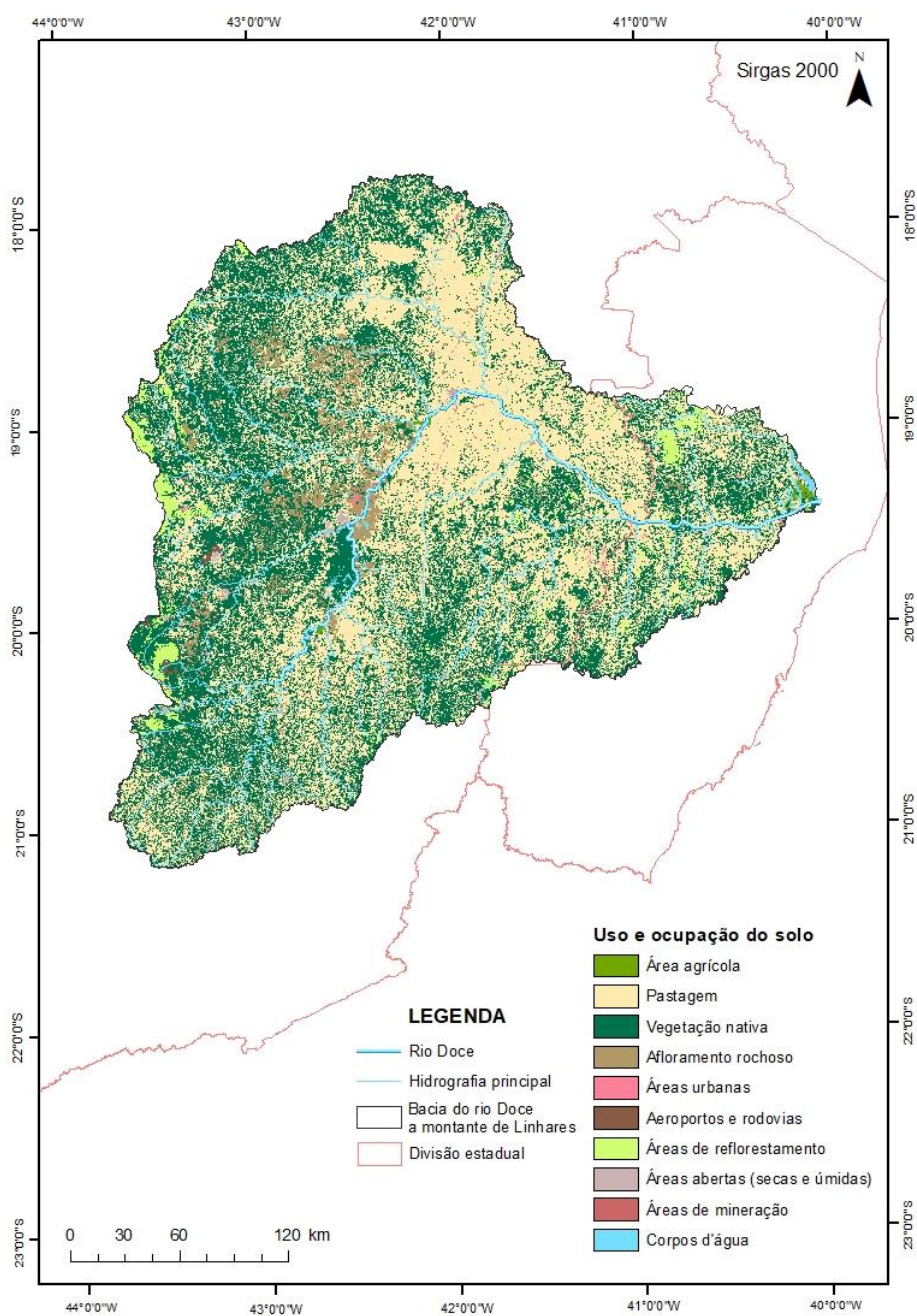
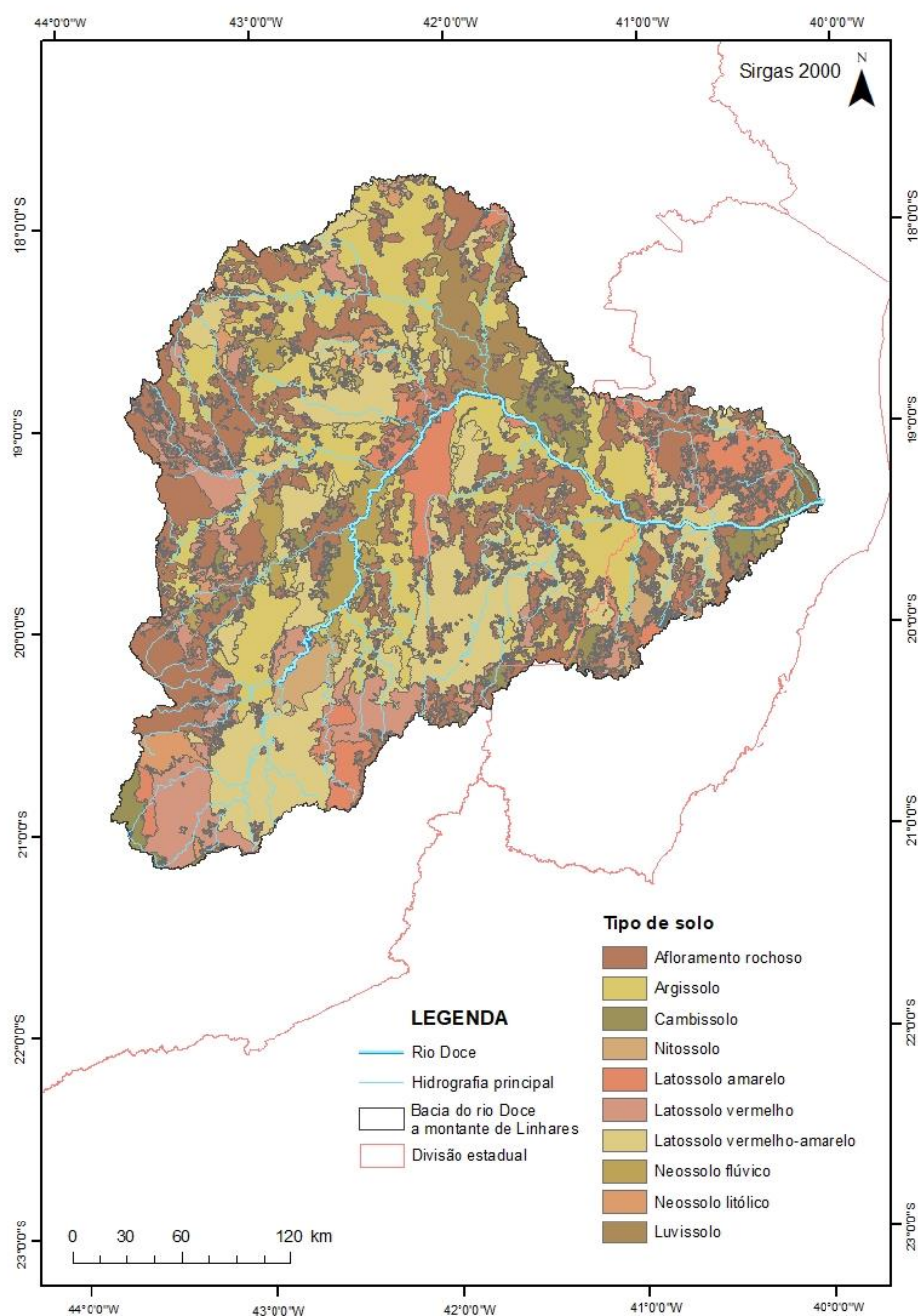


Figura 8: Mapa pedológico da bacia do rio Doce



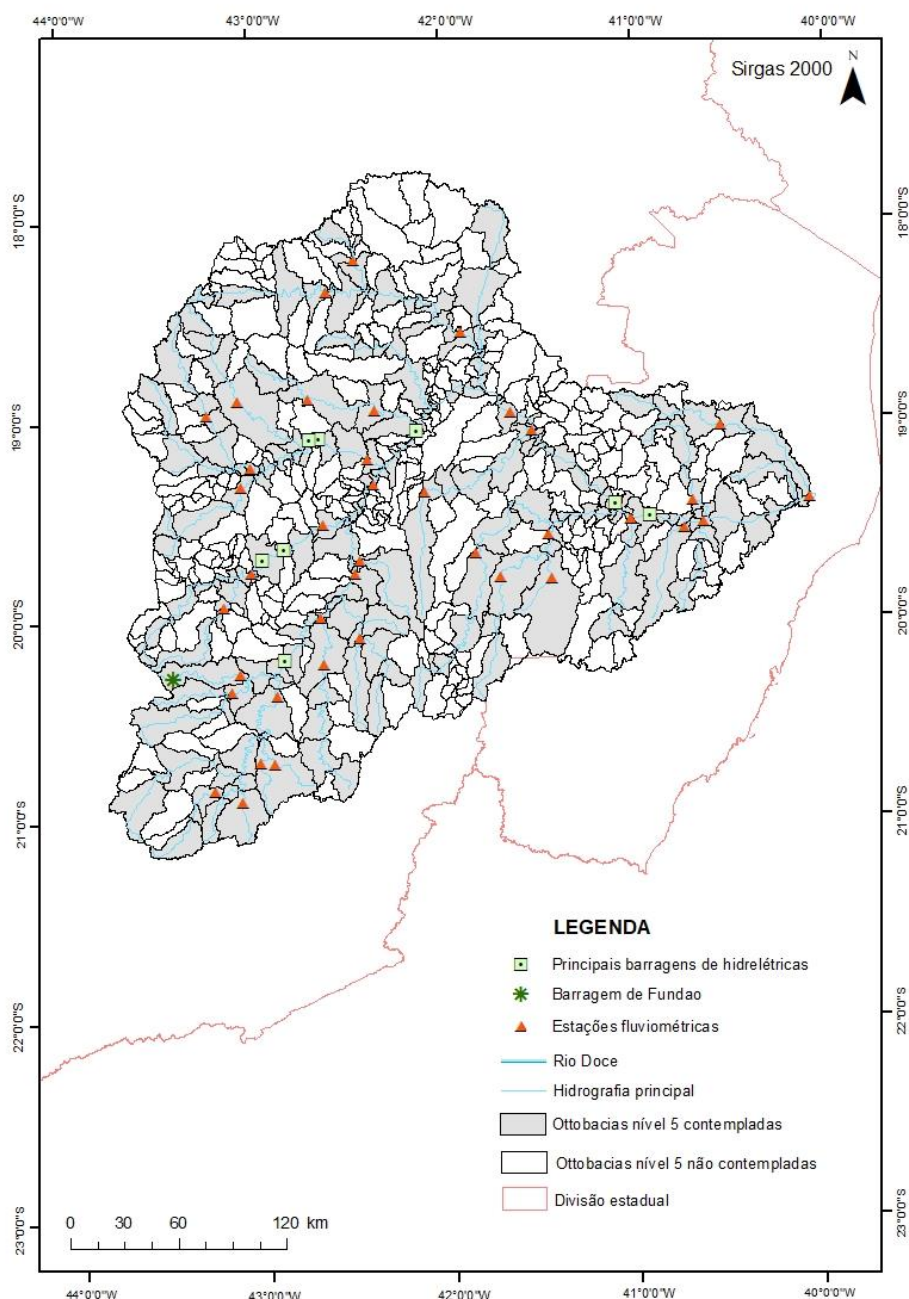
Fonte: IBGE adaptado, 2018.

O mapa pedológico original possui associações de solos incorporadas ao tipo de solo predominante. A partir do uso de imagens disponibilizadas pelo Google Earth, que possuem alta qualidade, foi possível que fossem identificar os limites de manchas com as associações dos solos com maior tendência ao escoamento superficial sem necessidade de ida a campo. As associações são: neossolo litólico + afloramento rochoso e neossolo litólico + gleissolo háplico. Nos mapas originais, essas associações

estão incorporadas ao tipo de solo predominante e, com o uso das imagens, foi possível a separação das mesmas.

As estações fluviométricas foram também espacializadas em mapa de ottobacias nível 5, para que fossem visualizadas as sub-bacias contempladas e as não contempladas pelo modelo aplicado (Figura 8).

Figura 9: Espacialização das estações fluviométricas na bacia do rio Doce a montante de Linhares e divisão da bacia em ottobacias nível 5



O método de classificação e codificação de bacias hidrográficas pelo método do engenheiro brasileiro Otto Pfastetter é natural e hierárquico, iniciando-se pela identificação do rio principal, e posteriormente

dos maiores rios de uma determinada bacia, descendo em nível de detalhe a cada etapa, até que se tenha codificado todos os trechos da rede hidrográfica (PFAFSTETTER, 1989). Cada trecho corresponde a uma área de drenagem individual, o que favorece o gerenciamento e o controle das ações do homem em áreas específicas, assim como as consequências que essas ações podem causar em todo o sistema hídrico. As sub-bacias são importantes ferramentas no planejamento e gestão dos recursos hídricos, bem como de fácil implementação computacional e boa interação com Sistemas de Informações Geográficas (ANA, 2012).

Embora a divisão hidrográfica pelo método Ottopfastetter seja amplamente utilizada no Brasil, não foi aplicada à modelagem, uma vez que é necessário que os exutórios das sub-bacias possuam dados para a calibração do modelo. Sendo assim, para a etapa de calibração do modelo, primeiramente foi inserido no SWAT o modelo digital de terreno da bacia e o shapefile com a posição das estações fluviométricas situadas em posições estratégicas e que possuem longa série de dados (1985 e 2017). As sub-bacias foram delimitadas de acordo com o modelo digital de terreno, tendo a posição das estações fluviométricas como ponto mais a jusante (considerando a área de drenagem efetivamente à jusante da estação).

A Figura 10 apresenta a espacialização das estações fluviométricas e as sub-bacias delimitadas a partir delas. A

Tabela 7 contém os nomes dessas sub-bacias (conforme a numeração da Figura 10), Figura 10 enquanto a

Tabela 7: Nomes das sub-bacias criadas a partir das estações fluviométricas distribuídas na bacia do rio Doce

Número da sub-bacia no mapa (Figura 10)	Nome da sub-bacia
1	Bacia da estação fluviométrica Santa Maria do Suaçuí
2	Bacia da estação fluviométrica São Pedro do Suaçuí
3	Bacia da estação fluviométrica Vila Matias Montante
4	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Corrente
5	Bacia da estação fluviométrica Senhora do Porto
6	Bacia da estação fluviométrica Porto Santa Rita
7	Bacia da estação fluviométrica Tumiritinga
8	Bacia da estação fluviométrica Dom Joaquim
9	Bacia da estação fluviométrica Barra de São Gabriel
10	Bacia da estação fluviométrica Barra do Cuieté Jusante
11	Bacia da estação fluviométrica Naque Velho
12	Bacia da estação fluviométrica Ferros
13	Bacia da estação fluviométrica Belo Oriente
14	Bacia da estação fluviométrica Linhares Cais do Porto
15	Bacia da estação fluviométrica Ponte do Pancas
16	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Barraca

Número da sub-bacia no mapa (Figura 10)	Nome da sub-bacia
17	Bacia da estação fluviométrica Colatina
18	Bacia da estação fluviométrica Mario de Carvalho
19	Bacia da estação fluviométrica Assaraí Montante
20	Bacia da estação fluviométrica Baixo Guandu
21	Bacia da estação fluviométrica Jusante Córrego da Piaba
22	Bacia da estação fluviométrica Pingo D'Água
23	Bacia da estação fluviométrica Cachoeira dos Óculos Montante
24	Bacia da estação fluviométrica Ipanema
25	Bacia da estação fluviométrica Mutum
26	Bacia da estação fluviométrica Nova Era IV
27	Bacia da estação fluviométrica Dom Cavati
28	Bacia da estação fluviométrica Rio Piracicaba
29	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Cachoeira D'Antas
30	Bacia da estação fluviométrica Instituto Florestal Raul Soares
31	Bacia da estação fluviométrica Santo Antônio do Manhuaçu
32	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Ocidente
33	Bacia da estação fluviométrica Acaiaca Jusante
34	Bacia da estação fluviométrica Ponte Nova Jusante
35	Bacia da estação fluviométrica Seriquite
36	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Varginha
37	Bacia da estação fluviométrica Braz Pires
38	Bacia da estação fluviométrica Senador Firmino

Tabela 8 apresenta características das estações fluviométricas utilizadas na etapa de calibração do modelo.

Figura 10: Posição das estações fluviométricas e sub-bacias a montante das mesmas

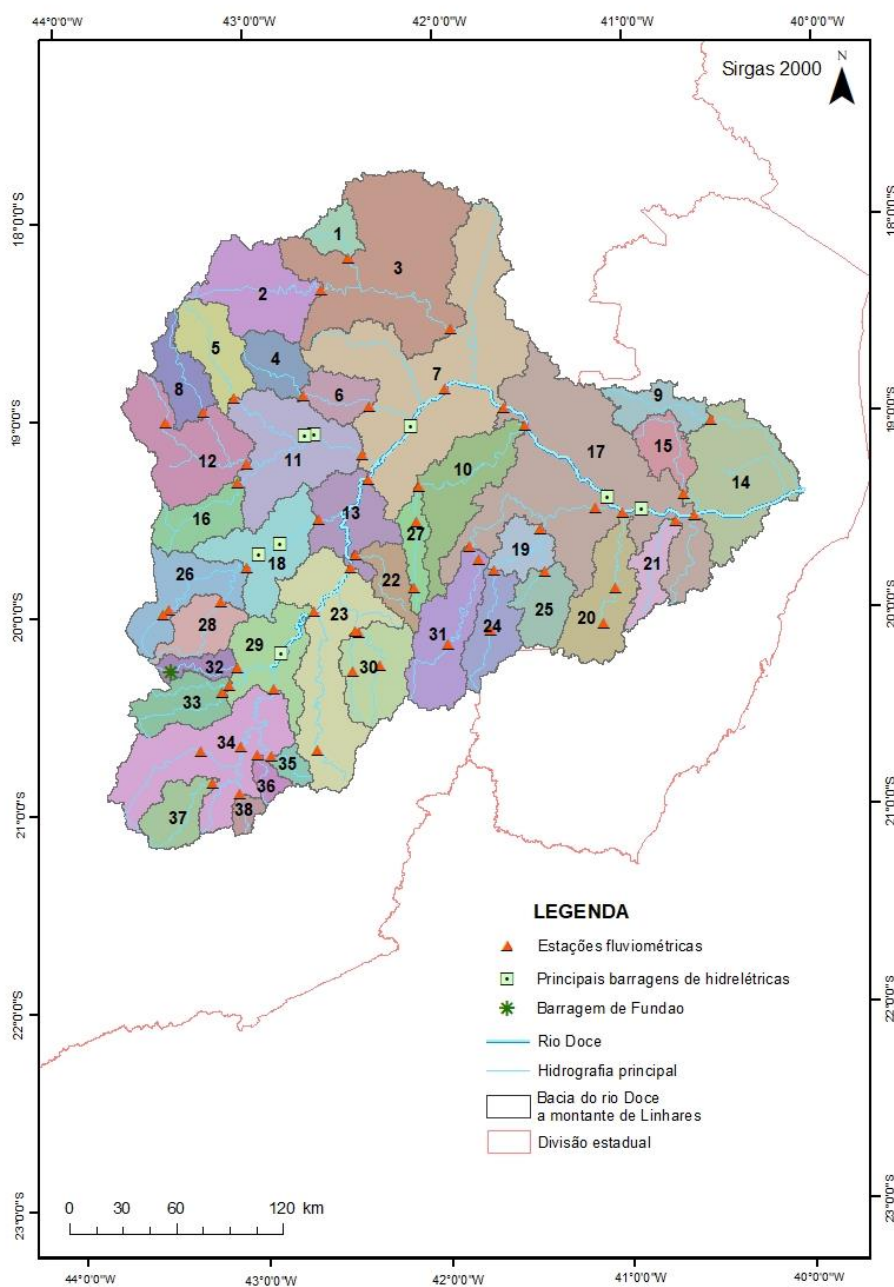


Tabela 7: Nomes das sub-bacias criadas a partir das estações fluviométricas distribuídas na bacia do rio Doce

Número da sub-bacia no mapa (Figura 10)	Nome da sub-bacia
1	Bacia da estação fluviométrica Santa Maria do Suaçuí
2	Bacia da estação fluviométrica São Pedro do Suaçuí
3	Bacia da estação fluviométrica Vila Matias Montante
4	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Corrente
5	Bacia da estação fluviométrica Senhora do Porto

Número da sub-bacia no mapa (Figura 10)	Nome da sub-bacia
6	Bacia da estação fluviométrica Porto Santa Rita
7	Bacia da estação fluviométrica Tumiritinga
8	Bacia da estação fluviométrica Dom Joaquim
9	Bacia da estação fluviométrica Barra de São Gabriel
10	Bacia da estação fluviométrica Barra do Cuieté Jusante
11	Bacia da estação fluviométrica Naque Velho
12	Bacia da estação fluviométrica Ferros
13	Bacia da estação fluviométrica Belo Oriente
14	Bacia da estação fluviométrica Linhares Cais do Porto
15	Bacia da estação fluviométrica Ponte do Pancas
16	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Barraca
17	Bacia da estação fluviométrica Colatina
18	Bacia da estação fluviométrica Mario de Carvalho
19	Bacia da estação fluviométrica Assaraí Montante
20	Bacia da estação fluviométrica Baixo Guandu
21	Bacia da estação fluviométrica Jusante Córrego da Piaba
22	Bacia da estação fluviométrica Pingo D'Água
23	Bacia da estação fluviométrica Cachoeira dos Óculos Montante
24	Bacia da estação fluviométrica Ipanema
25	Bacia da estação fluviométrica Mutum
26	Bacia da estação fluviométrica Nova Era IV
27	Bacia da estação fluviométrica Dom Cavati
28	Bacia da estação fluviométrica Rio Piracicaba
29	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Cachoeira D'Antas
30	Bacia da estação fluviométrica Instituto Florestal Raul Soares
31	Bacia da estação fluviométrica Santo Antônio do Manhuaçu
32	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Ocidente
33	Bacia da estação fluviométrica Acaiaca Jusante
34	Bacia da estação fluviométrica Ponte Nova Jusante
35	Bacia da estação fluviométrica Seriquite
36	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Varginha
37	Bacia da estação fluviométrica Braz Pires
38	Bacia da estação fluviométrica Senador Firmino

Tabela 8: Características das estações fluviométricas utilizadas na etapa de calibração do modelo SWAT

Código	Estação	Resp./Operadora	Latitude	Longitude	Área Drenagem (km²)
56846000	Porto de Santa Rita	ANA/CPRM	-18.95	-42.36	1965.00
56055000	Braz Pires	ANA/CPRM	-20.85	-43.24	1089.00
56090000	Fazenda Varginha	ANA/CPRM	-20.71	-43.00	324.00

Código	Estação	Resp./Operadora	Latitude	Longitude	Área Drenagem (km <sup>2</sup> )
56110005	Ponte Nova Jusante	ANA/CPRM	-20.38	-42.90	6132.00
56335001	Acaiaca Jusante	ANA/CPRM	-20.36	-43.14	1371.00
56337000	Fazenda Ocidente	ANA/CPRM	-20.27	-43.10	531.00
56425000	Faz. Cachoeira D'Antas	ANA/CPRM	-19.99	-42.67	10079.00
56510000	Inst. Flor. Raul Soares	ANA/CPRM	-20.10	-42.46	1800.00
56539000	Cach. Óculos Montante	ANA/IGAM	-19.78	-42.48	15836.00
56570000	Pingo D'Água	ANA/CPRM	-19.71	-42.45	814.00
56610000	Rio Piracicaba	ANA/CPRM	-19.93	-43.17	1163.00
56659998	Nova Era IV	ANA/CPRM	-19.77	-43.03	3060.00
56696000	Mário de Carvalho	ANA/CPRM	-19.52	-42.64	5270.00
56719998	Belo Oriente	ANA/CPRM	-19.33	-42.38	24200.00
56765000	Dom Joaquim	ANA/CPRM	-18.96	-43.24	972.00
56775000	Ferros	ANA/CPRM	-19.23	-43.02	4058.00
56787000	Fazenda Barraca	ANA/CPRM	-19.33	-43.07	1280.00
56800000	Senhora do Porto	ANA/CPRM	-18.89	-43.08	1521.00
56825000	Naque Velho	ANA/CPRM	-19.19	-42.42	10170.00
56845000	Fazenda Corrente	ANA/CPRM	-18.89	-42.71	1064.00
56860000	São Pedro do Suaçuí	ANA/CPRM	-18.36	-42.61	2610.00
56870000	Santa Maria do Suaçuí	ANA/CPRM	-18.20	-42.45	670.00
56891900	Vila Matias montante	ANA/CPRM	-18.57	-41.92	10200.00
56920000	Tumiritinga	ANA/CPRM	-18.97	-41.64	55425.00
56935000	Dom Cavati	ANA/CPRM	-19.37	-42.11	784.00
56940002	Barra do Cuieté Jus.	ANA/CPRM	-19.07	-41.54	3250.00
56978000	Sto. Ant. do Manhauçu	ANA/CPRM	-19.68	-41.84	2287.00
56988500	Ipanema	ANA/CPRM	-19.80	-41.71	1420.00
56989001	Mutum	ANA/CPRM	-19.81	-41.44	1187.00
56989400	Assaraí montante	ANA/CPRM	-19.59	-41.46	3190.00
56998400	Barra de São Gabriel	ANA/CPRM	-19.04	-40.53	1070
56992000	Baixo Guandu	ANA/CPRM	-19.52	-41.01	2135.00
56994500	Colatina	ANA/CPRM	-19.53	-40.62	75800.00
56995500	Ponte do Pancas	ANA/CPRM	-19.42	-40.69	919.00
56993551	Jusante Córrego da Piaba	ANA/CPRM	-19.56	-40.73	873.00
56075000	Porto Firme	ANA/CPRM	-20.67	-43.09	4251.00
56085000	Seriquite	ANA/CPRM	-20.67	-43.09	4251.00
56065000	Senador Firmino	ANA/CPRM	-20.91	-43.10	291.00

Em seguida, foram inseridos no SWAT os mapas de solo e de uso e ocupação do solo da bacia do rio Doce. Para cada classe de solo e de uso e ocupação do solo, o modelo associa um conjunto de parâmetros e variáveis de entrada que são retirados de seu banco de dados ou fornecidos pelo

modelador. Dados de solo da bacia foram retirados de levantamentos exploratórios de reconhecimento de solos, tanto para a porção mineira quanto para a porção espírito-santense (PANOSO, 1978; JACOMINE et al., 1979; PANOSO, 1980; MOTTA et al., 2004; IBGE, 2007). Já os dados das classes de uso do solo foram retirados do banco de dados existente no modelo.

Com base nas informações cartográficas, o modelo dividiu a bacia em 1705 Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que são áreas com apenas um tipo de solo e um tipo de uso e/ou ocupação do solo.

Na etapa seguinte foram inseridos os dados climatológicos no modelo. O SWAT utiliza os seguintes dados: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. A precipitação utilizada é proveniente de dados reais medidos nas estações pluviométricas de responsabilidade da ANA e operadas pela CPRM (Tabela 9), enquanto, para as demais variáveis, foram utilizados dados de um banco de dados mundial denominado Centros Nacionais de Previsão Ambiental (*The National Centers for Environmental Prediction – NCEP*) pela Reanálise de Sistemas de Previsão Climática (*Climate Forecast System Reanalysis – CFSR*), o qual foi concluído para um período de 36 anos, que compreende de 1979 a 2014. A CFSR foi projetada e executada como uma superfície global de alta resolução para fornecer a melhor estimativa de dados climáticos durante esse período. Este site permite que seja feito download de dados climatológicos no formato de arquivo SWAT para um determinado local do globo terrestre e período de tempo. Com relação à pluviosidade, para cada sub bacia, o modelo utiliza dados da estação pluviométrica localizada mais próxima ao seu centroide. Foram adicionados ao modelo os dados das 90 estações pluviométricas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Estações pluviométricas de longa série histórica utilizadas na modelagem hidrológica

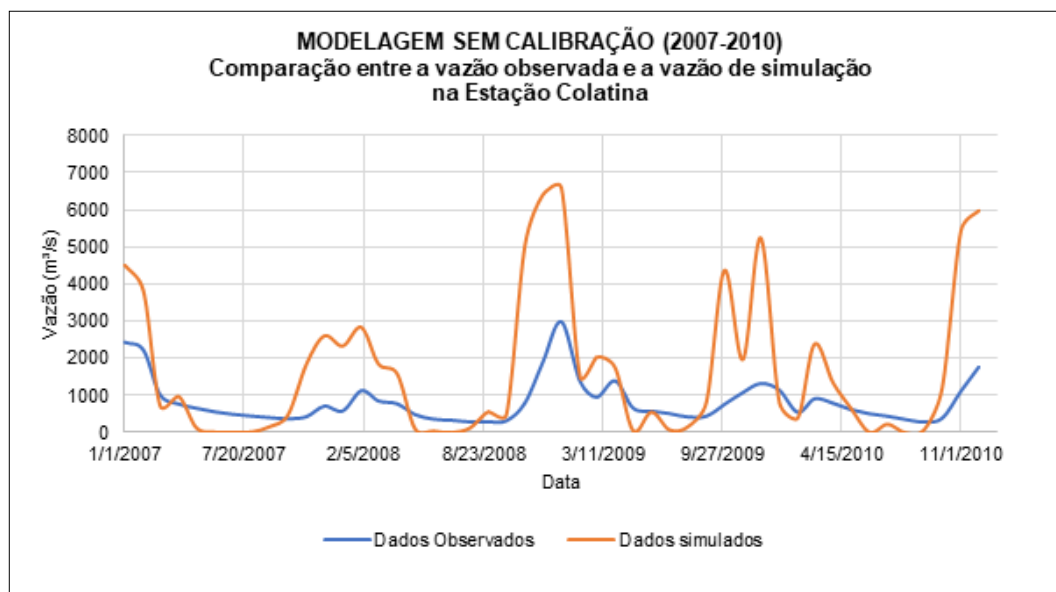
Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1839006	Barra Nova	-18.55277778	-42.76416667
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	2042014	Bicuiba	-18.59277778	-43.4125
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cach. dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444
ANA/CPRM	1943010	Caeté	-18.36305556	-42.60222222
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1742014	Capelinha	-18.20111111	-42.45527778
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1840010	Cedrolândia	-19.06166667	-41.53277778
ANA/CPRM	1841018	Central de Minas	-19.67833333	-41.83611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111
ANA/CPRM	2043056	Fazenda Água Limpa jusante	-19.92277778	-43.17777778
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2142004	Fazenda Umbaúbas	-19.4925	-41.16166667
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667
ANA/CPRM	2040008	Garrafão (DNOS)	-19.88083333	-43.3675
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1940022	Jacupemba	-20.38472222	-42.90277778
ANA/CPRM	1943024	José de Melo	-20.28555556	-43.09888889
ANA/CPRM	1741006	Ladainha	-20.8475	-43.24194444
ANA/CPRM	2043002	Lagoa Grande	-20.51666667	-43.01666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1841009	Mantenópolis	-20.17055556	-41.96111111
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2142002	Patrocínio do Muriaé	-19.2375	-40.59138889
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222
ANA/CPRM	2041017	Santa Cruz Caparaó	-17.69166667	-42.52611111
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333
ANA/CPRM	2040007	Santa Maria de Jetibá	-19.90277778	-43.66638889
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1940010	Valsugana Velha montante	-18.80972222	-40.69055556
ANA/IGAM	2143007	Vargem do Engenho	-20.14333333	-40.97527778
ANA/CPRM	1943035	Vau da Lagoa	-20.02805556	-40.74416667
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

O modelo foi rodado no período de 2004 a 2013 utilizando os dados inseridos no mesmo nas etapas discutidas nos itens anteriores. A Figura 11 apresenta hidrograma simulado e medido na estação fluviométrica Colatina para o período 2007-2010.

Figura 11: Resultado da simulação hidrológica na etapa anterior à calibração



Conforme pode ser observado, os resultados da modelagem inicial não se mostraram satisfatórios, havendo, dessa forma, necessidade de se proceder a calibração do modelo.

A calibração de um modelo é realizada com a finalidade de fazer com que valores simulados se aproximem ao máximo aos valores medidos, utilizando coeficientes estatísticos como o Nash-Sutcliffe (NS) e o Percentual bias (Pbias) para comparação. Para a bacia do rio Doce, valores de vazão diária simulados nos exutórios das sub-bacias foram comparados com os valores de vazão medidos nas estações fluviométricas durante o processo de calibração.

Para a calibração do SWAT na bacia do rio Doce, foi utilizado o software SWAT-CUP (ABBASPOUR et al., 2005), tendo sido escolhido o algoritmo de parametrização Sufi-2. Este algoritmo vem sendo o mais utilizado em modelagem de bacias hidrográficas por todo o globo, principalmente devido a sua facilidade de aplicação. Além disso, o software conta com a lista de parâmetros utilizados dentro do modelo SWAT e seus respectivos valores mínimos e máximos aceitáveis. O Quadro 1 apresenta os parâmetros que foram calibrados com o uso do SWAT CUP. Estes foram escolhidos a partir de revisão de literatura e do estudo detalhado de cada um dos parâmetros. Para a calibração, foram utilizados dados de 2007 a 2010 (4 anos) e o de validação de 2011 a 2013 (3 anos).

Quadro 1: Parâmetros utilizados na calibração do modelo

Parâmetro	Descrição
ALPHA_BF	Fator de fluxo de base ou constante de recessão (dias)
CANMX	Quantidade de água interceptada (mm)
SURLAG	Coefficiente de retardamento do escoamento superficial direto
GW_DELAY	Intervalo de tempo para recarga do aquífero (dias)
GW_REVAP	Coefficiente de ascensão de água à zona de saturação
GWQMN	Nível limite de água no aquífero livre para ocorrer o fluxo de retorno (mm)
CN2	Curva número inicial para condição de umidade do solo II
REVAPMN	Profund. de limiar de água no lençol freático para que ocorra reevaporação (mm)
SLSUBBSN	Comprimento médio da declividade (m)
RCHRG_DP	Coefficiente de percolação da água para o aquífero profundo (dias)
SOL_K	Condutividade hidráulica do solo (mm/h)
SOL_AWC	Armazenamento de água no solo (mm H <sub>2</sub> O/mm solo)
SOL_Z	Profundidade da superfície do solo ao fundo da camada (mm)
EPCO	Fator de compensação de captação de plantas
ESCO	Coefficiente de compensação de evaporação de água no solo
CH_K2	Condutividade efetiva do canal (mm/h)
CH_N2	Coefficiente de Manning para o canal principal
BIOMIX	Eficiência da mistura biológica

Foram realizadas diversas simulações com mais de 1000 iterações cada, quando os parâmetros foram sendo ajustados até que a estatística Nash-Sutcliffe fosse considerada satisfatória. Os parâmetros ajustados e os modos de ajuste encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10: Parâmetros calibrados

Parâmetro	Valor calibrado	Tipo de ajuste
ALPHA_BF	0.000273	substituição
CANMX	4.2242	adição
SURLAG	-1.848833	adição
GW_DELAY	99.985001	adição
GW_REVAP	-0.009426	adição
GWQMN	678.208008	adição
CN2	-0.30706	multiplicação
REVAPMN	23.533335	adição
SLSUBBSN	-0.27217	multiplicação
RCHRG_DP	0.02162	multiplicação
SOL_K	-4.76673	multiplicação
SOL_AWC	-0.022075	multiplicação
SOL_Z	0.41853	multiplicação
EPCO	0.3741	adição

Parâmetro	Valor calibrado	Tipo de ajuste
ESCO	0.020701	adição
CH_K2	5.591664	adição
CH_N2	0.168383	adição
BIOMIX	0.16243	multiplicação

O coeficiente escolhido para análise da calibração e validação do modelo foi o Nash-Sutcliffe (NS), que é o indicador estatístico de uso mais comum entre os usuários do SWAT. Para um ajuste perfeito entre os dados simulados e observados, o valor de NS deve ser o mais próximo possível de 1, sendo que resultados menores que zero significam que o uso da média dos dados observados é melhor que a simulação feita. Para o período de calibração o NS foi de 0,75 e para o período de validação foi de 0,43 e as comparações entre os dados observados e os dados simulados são mostrados na Figura 12 e na Figura 13: Gráfico validação do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período).

Figura 12: Gráfico calibração do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período)

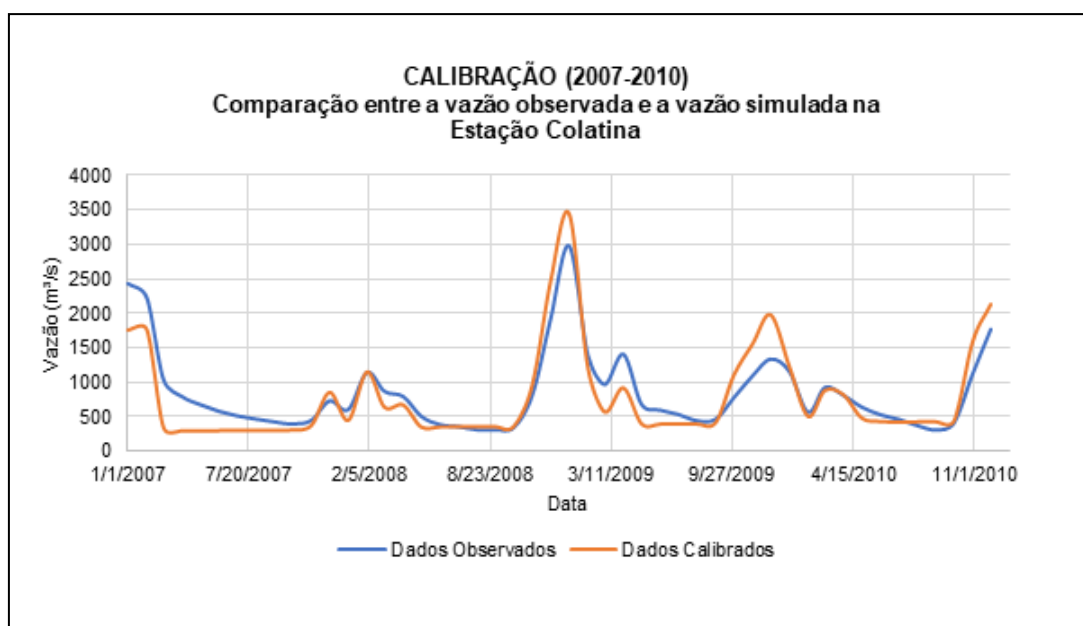
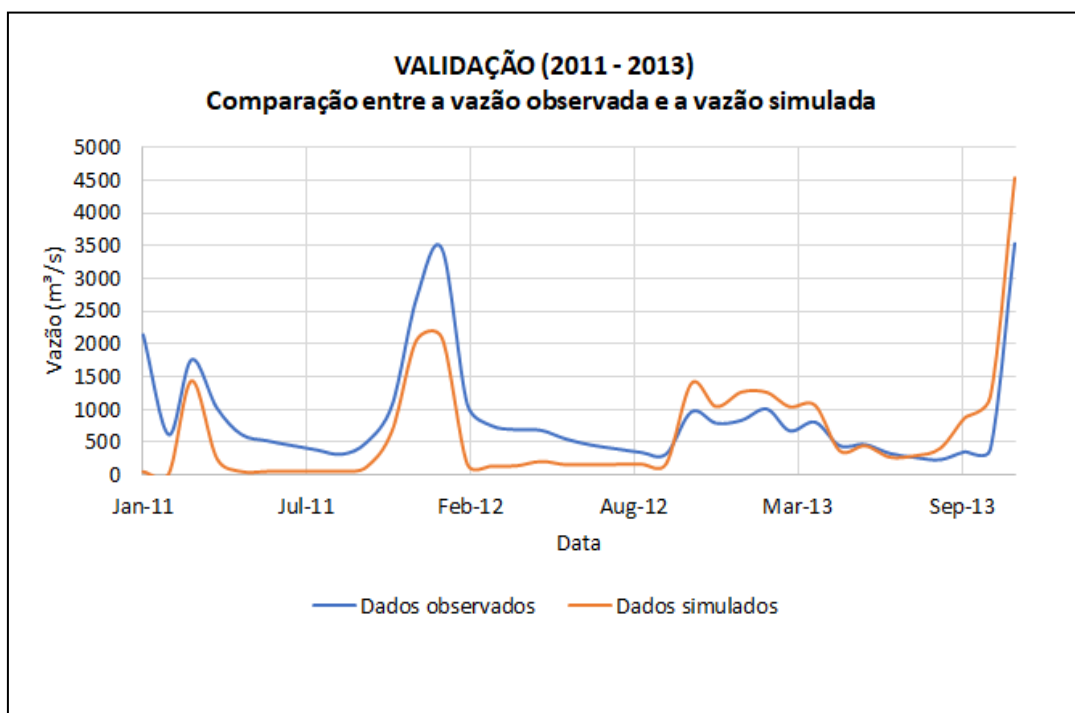
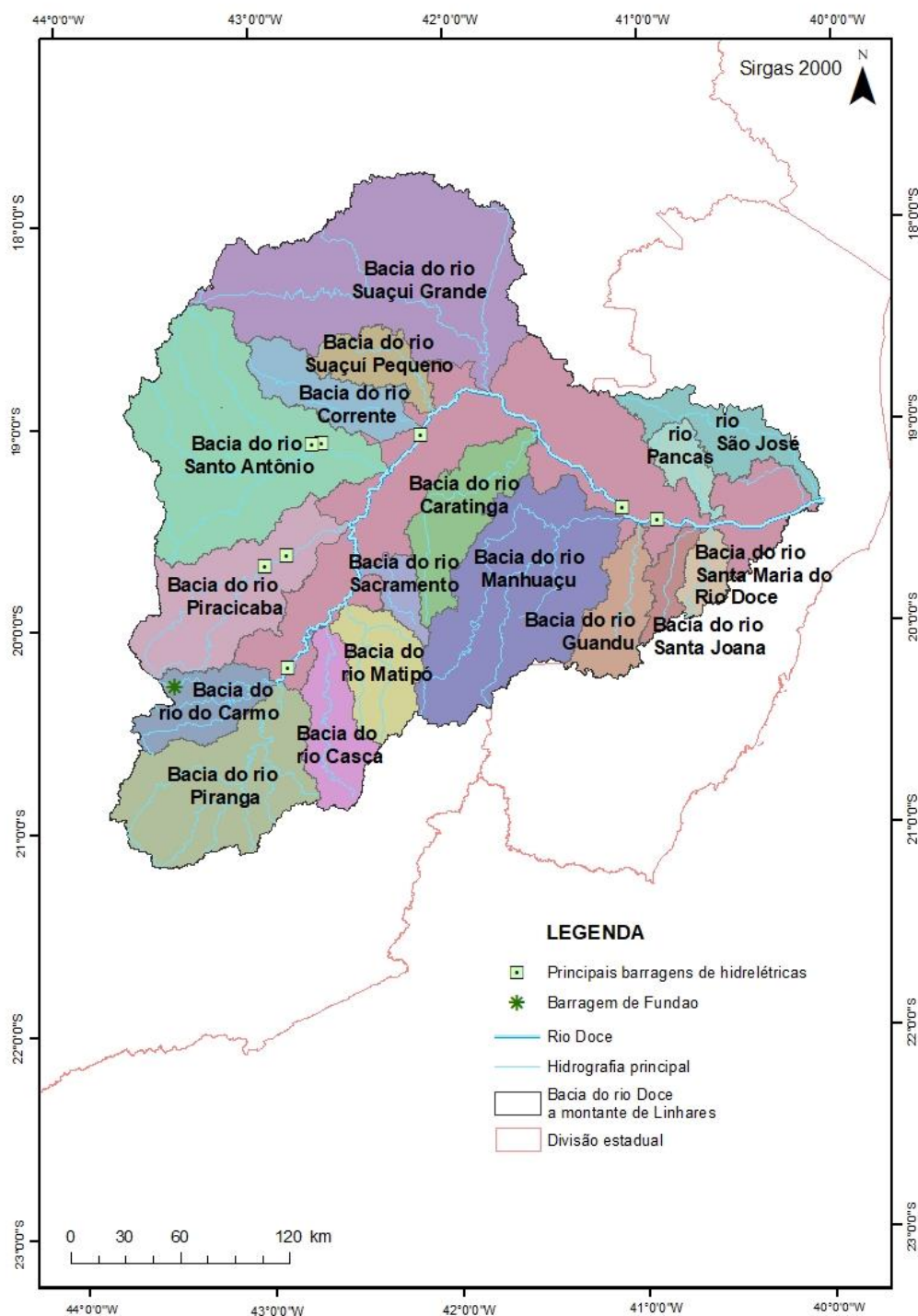


Figura 13: Gráfico validação do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período)



Após a calibração e a validação do modelo a bacia foi dividida em regiões com base na hidrografia principal (Figura 14), a fim de se caracterizar a quantidade de água que chega ao rio Doce advinda das suas diferentes sub-bacias formadoras.

Figura 14: Divisão da bacia do rio Doce para análise do aporte de água por região



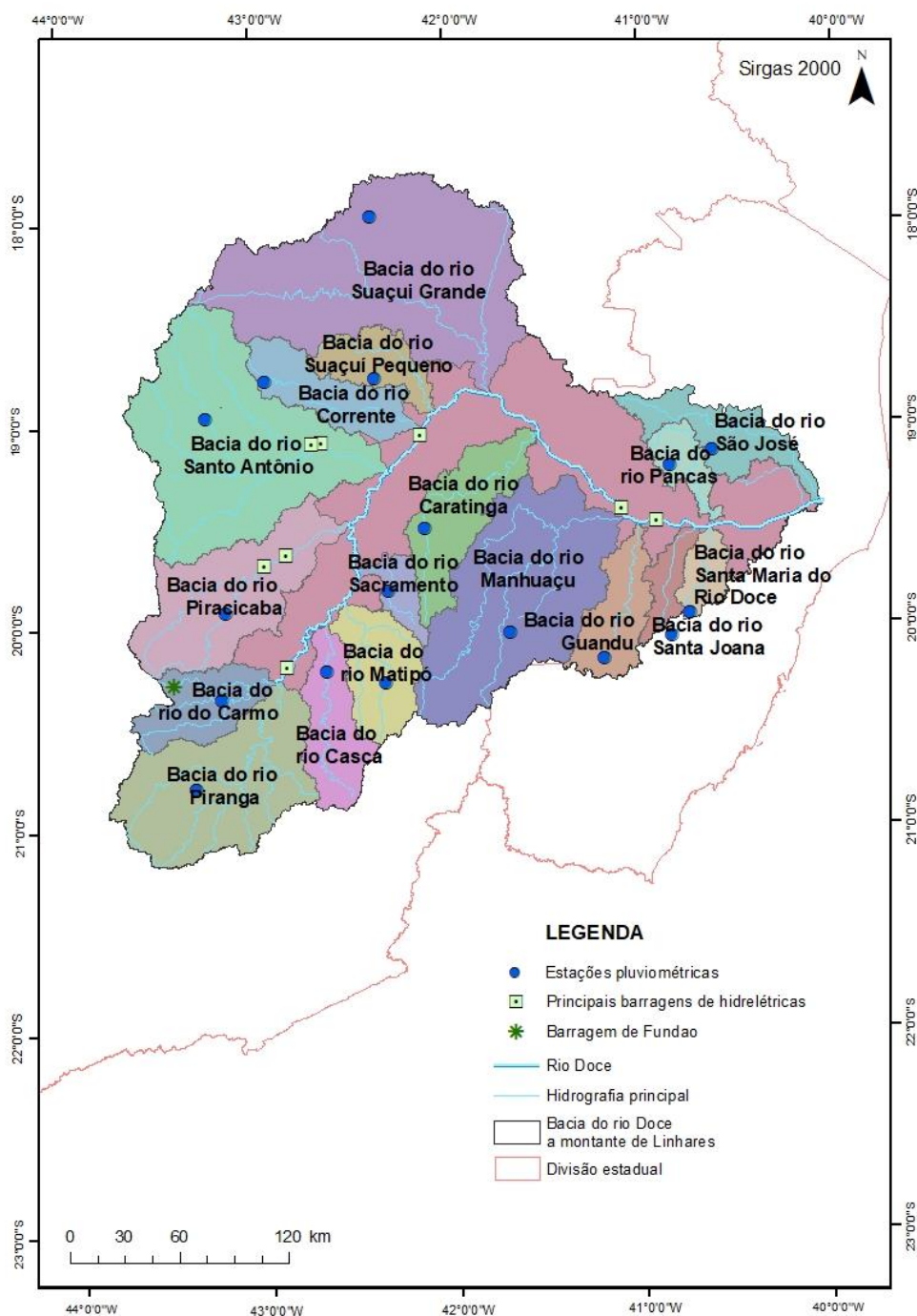
Para este processo, foi necessária uma simulação com dados atuais, visando entender hidrologicamente a bacia do rio Doce durante o período de outubro de 2018 a março de 2020. Para tanto, o modelo requer dados pluviométricos para o mesmo período. Estes dados foram buscados em bases que possuem estações telemétricas (CEMADEN, Sistema HIDRO – Telemetria da ANA e

INMET), cujos dados são disponibilizados na internet diariamente ou em tempo real, e foram sendo compilados para alimentar o modelo SWAT durante as simulações hidrológicas mais recentes. Essas bases, porém, não possuem dados consistidos e podem conter falhas. Sendo assim, foi escolhida uma estação de dado atual para cada região hidrográfica, desde que possuíssem o menor número de dias com falha ao longo do período analisado (setembro de 2018 a agosto de 2019). As estações estão detalhadas na Tabela 11 e espacializadas na Figura 15: Espacialização das estações telemétricas ao longo da bacia do rio Doce.

Tabela 11: Estações telemétricas utilizadas para análise pluviométrica 7 dias antes de cada amostragem

Bacia do rio	Estação telemétrica e código
Suaçuí Grande MG	Governador Valadares (A532)
Suaçuí Pequeno MG	Sardoá – Centro (316550301A)
Corrente MG	Guanhães (A533)
Caratinga MG	PCH Inhapim Jusante (1942062)
Santo Antônio MG	Dom Joaquim – Centro (312260301A)
São José ES	São Domingos do Norte (320270201A)
Pancas ES	Pancas (320400501A)
Manhuaçu MG	Chalé – Centro (311600101A)
Piracicaba MG	Piracicaba Centro (3155)
Santa Maria do Rio Doce ES	Santa Teresa - Alto Caldeirão (320460902A)
Guandu ES	Afonso Cláudio – Piracema (320010208A)
Santa Joana ES	Alto Rio Possmoser (320455)
Sacramento MG	GCH Bom Jesus do Galho (1942034)
Matipó MG	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 2 (2042053)
Casca MG	Rio Casca Centro (315490301A)
Carmo MG	PCH Furquim Jusante (2043084)
Piranga MG	Senhora de Oliveira – Centro (316600601A)

Figura 15: Espacialização das estações telemétricas ao longo da bacia do rio Doce



Para a análise da influência do reservatório da UHE Aimorés (Eliezer Batista), foram utilizados dados de vazões medidas da Agência Nacional de Águas. A estação base foi a UHE Aimorés montante (56919500). Porém, quando a série fluviométrica não dispunha de informações para as datas consideradas foram utilizadas informações relativas à estação Tumiritinga (56919500), a mais próxima a montante do reservatório apresentando registros (outubro de 2018 e de janeiro a março de 2019). A análise foi dividida em duas etapas, a primeira durante os 7 dias anteriores às amostragens e a segunda durante a realização de cada campanha (a primeira com 6 dias de amostragem e as demais com 5 dias

de amostragem). As duas estações estão localizadas a montante do início do lago da citada usina, bem perto uma da outra.

Nas datas de 3/12/2018, 4/12/2018, 7/12/2018 a 9/12/2018, 01/04/2018, 02/04/2018, 08/07/2018 a 12/07/2018 e 16/07/2018 não havia dados em nenhuma das duas estações utilizadas, portanto, estas datas supracitadas foram excluídas da análise. A partir das vazões observadas existentes, foi calculado o tempo de detenção (Equação 1: Cálculo do tempo de detenção teórico em reservatóriosEquação 1:) das águas no lago nos períodos que antecederam as campanhas para amostragens de água e sedimentos, cujas datas estão apresentadas na .

Equação 1: Cálculo do tempo de detenção teórico em reservatórios.

$$t_d = 86400 \frac{V}{Q}$$

Onde  $t_d$  é o tempo de detenção em dias;  $V$  é o volume útil do reservatório em  $m^3$  e  $Q$  é a descarga líquida (vazão) em  $m^3/s$ .

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DE INDUTORES, PRESSÕES AMBIENTAIS E AÇÕES DE RESPOSTA EXISTENTES NA BACIA

A caracterização dos indutores e pressões ambientais com potencial para influenciar o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes ao ambiente estuarino-marinho adjacente, bem como as ações de respostas a essas pressões foi realizada por meio de coleta e análise de dados secundários obtidos em bases de dados públicas e em relatórios técnicos de instituições governamentais e não governamentais, de artigos técnico-científicos e atas de reuniões.

Nesse estudo entende-se por indutor as atividades humanas que, quando combinadas com as condições ambientais, provocam mudança no meio ambiente (SOARES et al., 2011; NEWTON et al., 2014). Entende-se por pressões ambientais as consequências das atividades humanas que têm potencial de causar ou contribuir para eventos adversos (MAXIM; SPANGENBERG; O'CONNOR, 2009).

Para auxiliar na identificação de indutores e pressões ambientais a eles associados com potencial para influenciar os fluxos de água, nutrientes, sedimentos e metais na bacia do Rio Doce, bem como para subsidiar a compreensão e discussão de relações causais, elaborou-se um modelo conceitual qualitativo baseando-se numa estrutura DPSIR (Indutor-Pressão-Estado-Resposta). Para representação do modelo conceitual desenvolvido empregou-se a ferramenta *CmapsTools*. A abordagem DPSIR tem como conceituação o fator de que forças indutoras (*Drivers*) são decorrentes das atividades humanas e podem acarretar pressões ambientais (*Pressure*) sobre os ecossistemas, alterando o seu estado (*State*) e por consequência gerando impactos (*Impacts*) sobre a qualidade e

quantidade dos recursos naturais disponíveis e a biodiversidade. Esse arranjo de causa e efeito demanda respostas (*Responses*) dos sistemas de gestão (EEA, 1999).

No que diz respeito à caracterização dos indutores e pressões ambientais a análise dos usos e manejos do solo e da água na bacia foi fundamental. Para realizar uma análise geral do uso e ocupação do solo na bacia, as tipologias de uso foram agrupadas em 13 classes. Foram utilizados dados obtidos junto à Agência Nacional de Água, por meio do portal *GeoNetwork opensource*, referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 (2013/2014), com resolução de 10 metros (escala 1:100.000).

A fim de subsidiar a avaliação do uso e ocupação do solo na porção espírito-santense da bacia, realizou-se uma avaliação detalhada de situação para cada uma das regiões hidrográficas do rio Doce (Pontões e Lagoas do Rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce). Para isso, foram utilizados dados obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos dos ortofotomosaicos executados em 2012, na resolução de 1 metro (escala 1:15.000). Informações complementares foram obtidas em estudos como SOS Mata Atlântica e INPE (2019), SEAMA (2018a, 2018b, 2019), IGAM (2010), CEDAGRO (2012), UFV, Fundação Renova e UFMG (2018), entre outros.

Em função desses dados, foram construídos mapas de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Doce e das regiões Pontões e Lagoas do rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce. De forma complementar à análise, foram elaborados gráficos de distribuição percentual de tipologias de uso.

A caracterização dos usos da água foi realizada por meio de coleta e análise de dados de cadastros de Outorgas de Direito de Uso dos Recursos Hídricos. Para diagnosticar os usos na bacia hidrográfica do Rio Doce foram utilizados dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNAUH), do cadastro de usuários outorgados pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) e do cadastro de usuários outorgados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A partir da análise desses dados foi possível identificar o perfil de distribuição das finalidades de uso da água existentes na bacia e mapear sua localização.

Dados específicos sobre barragens foram obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). O SNISB constitui-se como um cadastro consolidado de informações sobre barragens de finalidades. Por meio da análise desses dados foi possível estabelecer um perfil de distribuição das barragens por finalidade de uso (abastecimento, geração de energia, irrigação, disposição de rejeitos de mineração, entre outras) e avaliar a categoria de risco de rompimento e potencial de dano em que estavam classificadas pela ANA.

Também foi realizada uma caracterização geral da situação do saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce. Essa caracterização se baseou nos dados e informações disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os dados e informações mais recentes

são referentes ao ano de 2018. Para cada município inserido na bacia, foram coletados indicadores relacionados ao acesso à água, perdas de água na distribuição e coleta e tratamento de esgotos.

Os indicadores do SNIS utilizam no seu cálculo informações de médias anuais, adota-se no cálculo a média aritmética dos valores em dezembro do ano anterior e dezembro do ano de referência. Para cada informação componente do indicador, são somados valores correspondentes a cada um dos prestadores de serviços e então processados para o cálculo do indicador. O processamento de cada um dos indicadores considera somente os prestadores de serviços que apresentam todas as informações necessárias para o cálculo. Os indicadores calculados para as bases dos dados do SNIS adotam as mesmas expressões matemáticas e metodologia de cálculo. Maior detalhamento das expressões matemáticas pode ser encontrado no site do SNIS ([www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br)), no link Glossários, inserido no item Publicação de Informações.

Os indicadores utilizados para diagnosticar o panorama do eixo água foram o índice de perdas na distribuição (IN049), o índice de coleta de esgoto (IN015) e o índice de esgoto tratado referido à água consumida (IN046). O IN049 diz respeito ao percentual de perdas de água que ocorre nos sistemas de distribuição e leva em consideração: volume de água produzido; volume de água consumido; volume de água tratada importado e o volume de serviço. O IN015 se refere ao percentual de esgoto que é coletado e corresponde à razão entre o volume de esgoto coletado e a diferença entre volume de água consumido e volume de água tratada exportado. Por outro lado, o IN046 diz respeito ao percentual de esgoto tratado e corresponde à razão entre o volume de esgoto tratado e a diferença entre o volume de água consumido e volume de água tratada exportado.

Adicionalmente, foram elaborados painéis de avaliação de intervenções na Bacia do Rio Doce sobre a qualidade da água e fluxos de água, nutrientes, sedimentos e metais. Nos painéis, os empreendimentos licenciados e pontos de interferência objeto de outorgas pelo uso da água foram espacializados no território da Bacia do Rio Doce. Foram elaborados gráficos que permitiram avaliar os percentuais agregados das diferentes tipologias de empreendimentos e finalidades de usos da água outorgados, em quais sub-bacias estão presentes e localidades de maior concentração. O objetivo dos painéis foi dar subsídios às análises de qualidade da água e de fluxos, a partir da maior compreensão das intervenções que existem no território.

A base de dados utilizada para a elaboração dos painéis temáticos referentes aos empreendimentos com registro de licenças e outorgas cadastradas na Bacia do Rio Doce, consistiu em planilhas e *shapes files* publicados pelos órgãos públicos de meio ambiente e recursos hídricos de cada estado. Para os dados de empreendimentos:

- Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), com dados oriundos da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD) – Histórico de Empreendimentos Licenciados entre 2013 a 2019 pela SEMAD (shape file).

- Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) – Registro de Requerimento de Licenças Ambientais entre 1988 a 2020 (shape file).

Para os dados de outorga:

- Sistema Federal de Regulação de Usos da Agência Nacional de Águas (REGLA/ANA) – registro de outorgas emitidas para usos da água da calha do Rio Doce (planilha);
- Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), com dados oriundos da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD) – registro de outorgas emitidas pelo IGAM para as sub-bacias de domínio estadual (planilha);
- Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (AGERH) - registro de outorgas emitidas pelo AGERH para as sub-bacias de domínio estadual (planilha).

É importante destacar que emissão de licenças ambientais e concessão de outorgas são instrumentos reguladores, de modo que inúmeros empreendimentos e/ou usuários da água podem não constar nos registros oficiais dos órgãos reguladores. Desta forma, os números reais podem ser ainda maiores. O que justifica também a discrepância no número de registros para as sub-bacias das porções mineira e espírito-santense.

Utilizando-se o software ArcGis 10.6, os dados dos empreendimentos foram extraídos da tabela de atributos de cada *shape file*, com as respectivas informações de latitude e longitude, e salvos no formato de planilhas do Microsoft Excel. Os dados de outorgas, por sua vez, já foram obtidos no formato de planilha, sendo apenas tabulados no Excel.

Os dados foram sistematizados para a eliminação de informações duplicadas, faltantes ou inconsistentes. A partir de então, os dados foram padronizados, de modo que restassem apenas as colunas com informações essenciais para as análises. Foram considerados apenas os registros de licenças ambientais e outorgas vigentes para o período de 2018 a 2020. Além disso, para a análise dos dados de outorgas foi considerado apenas aqueles referentes a usos de águas superficiais.

Para a avaliação da potencial interferência de cada empreendimento e/ou outorga, foram criadas colunas referentes a qualidade de água, fluxos de água, sedimentos e metais. Nestas colunas foram atribuídos valores “0” e “1”, sendo “0” para “não interfere” e “1” para “potencialmente interfere”. Os valores foram atribuídos a partir do conhecimento existente acerca de potenciais impactos associados a cada tipo de atividade licenciada e registro de outorga emitido. Sendo que, por exemplo, um mesmo empreendimento pode potencialmente interferir sobre a qualidade da água, mas não no fluxo da água, ou potencialmente interferir sobre o fluxo de sedimentos, mas não sobre o fluxo de nutrientes, e assim por diante.

Após essa etapa de sistematização e padronização, as planilhas foram trabalhadas no software Tableau, onde os painéis foram propriamente elaborados. A utilização deste software permitiu trabalhar

com o grande volume de dados de forma mais prática e segura, gerando as visualizações de forma integrada, dando mais subsídios às avaliações.

As avaliações foram feitas a partir da distribuição espacial, percentuais e quantitativos do número de registros de empreendimentos licenciados e registros de outorgas pelo uso da água concedidas, a fim de subsidiar avaliação das potenciais interferências sobre a qualidade da água, fluxos de água, nutrientes, sedimentos e metais na Bacia do Rio Doce. As particularidades das atividades de cada empreendimento e/ou usuário não foram amplamente exploradas, mas sim dado destaque para as tipologias e finalidades de uso de maior proporção e interesse.

No que diz respeito às ações de resposta, foram identificadas e mapeadas ações de compensação, reparação e recuperação às pressões ambientais existentes sobre o meio abiótico e biótico dos ecossistemas aquáticos da bacia hidrográfica do Rio Doce. Percebeu-se no ano 1 do monitoramento que essas ações possuem caráter estrutural ou não estrutural podem ser associadas às temáticas de recuperação de APPs e reflorestamento; saneamento básico; prevenção e controle de produção e/ou aporte de sedimentos; e manejo de rejeitos.

Para identificação, mapeamento e acompanhamento dessas ações foram consultadas bases de dados e informações disponíveis nos sites da Fundação Renova, das Prefeituras Municipais e do Ibio AGB Doce e de relatórios de gerenciais de acompanhamento de ações implementadas por esses organismos. Também houve o acompanhamento mais próximo da atuação das Câmaras Técnicas (CTs) CT-Bio, CT-Flor, CT-Rejeitos e CT-SHQA, uma vez que elas possuem maior relação com temáticas “biodiversidade” e “alteração de quantidade e qualidade de água”. Esse acompanhamento se deu pela sistematização de 56 Atas de reuniões conduzidas no âmbito das respectivas CTs (Material Suplementar A3DIFS1, Quadro 2), bem como no acompanhamento dos Relatórios mensal de atividades publicados pela Fundação Renova, os oferecem panorama do grau de implementação de todas as ações realizadas no âmbito dos programas socioambientais e socioeconômicos desenvolvido e executados pela fundação. No Material Suplementar A3DIFS1, Quadro 3, é apresentada uma lista dos principais documentos e bases públicas que subsidiaram a identificação, mapeamento e acompanhamento das ações de resposta na bacia. Ao todo foram consultadas 28 diferentes bases de dados, com inúmeras fontes de informações.

### 1.3 MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS

No período de Transição foi feita adequação de malha e frequência amostral. O ponto P04-Anexo 7 foi retirado deste projeto e os fluxos de água e sedimentos passaram a ser medidos preferencialmente durante o período de maiores vazões.

Com finalidade de monitorar descargas líquidas e sólidas no rio Doce, bem como fluxos e variações de níveis d'água, para caracterização do ambiente estudado, foram executados os monitoramentos descritos a seguir.

Os pontos de monitoramento estão localizados no Baixo Rio Doce, entre Linhares e a foz do rio em Regência (ver MAPMBA/FEST-RRDMS1.xlsx).

Nos pontos E21 e E22 foram realizadas medições de fluxos de água (vazão) e de sedimentos (carga de sedimentos).

No ponto E26 foram realizadas medições de fluxo de água, salinidade e temperatura.

Nos pontos E21, Povoação e E26 foi feito monitoramento de níveis d'água. No ponto E22 não foram medidos níveis, uma vez que não foi autorizado o acesso da equipe de campo para instalação de seção fluviométrica.

As medições de vazão foram feitas com ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) River Ray e processadas no software Winriver II da RD Instruments.

Níveis d'água foram obtidos com sensores de pressão. Salinidades e temperaturas foram medidas *in situ* com sonda multiparâmetros portátil.

As amostragens da mistura água/sedimentos foram feitas pelo método de Igual Incremento de Largura em 12 verticais espaçadas ao longo das seções transversais. Os sedimentos de fundo foram coletados com draga em seis pontos em cada seção do rio.

Em laboratório foram determinadas concentrações e granulometrias de sedimentos suspensos pelo método de tubo de retirada pela base, além de granulometrias de sedimentos de fundo pelo método de peneiramento.

As estimativas de fluxos de sedimentos foram feitas pelo Método modificado de Einstein, conforme apresentado em Carvalho (2008).

No período de transição as campanhas foram realizadas em condições de vazões mais altas.