

Parecer Técnico nº 19/2016/SRE
Documento nº 00000.068258/2016-89
Referência: 02501.000731/2015

Estimativa de perdas hídricas no PISF – Eixo Norte

1. O Parecer Técnico Conjunto nº 5/2016/SRE/SFI, documento nº 00000.060997/2016, apresentou uma metodologia de consenso para cálculo das perdas hídricas ao longo do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).
2. Na presente nota técnica, essa metodologia será aplicada para estimativa das perdas no eixo norte do projeto, considerando um cenário de captação de 16,4 m³/s a partir do rio São Francisco. Salienta-se que os procedimentos metodológicos definidos foram sistematizados em uma interface de cálculo, de forma que as perdas para outras vazões podem ser estimadas de forma expedita.
3. O parecer conjunto dividiu as perdas possíveis em (a) perdas nos sistemas construídos; (b) perdas por evaporação nos reservatórios e (c) perdas no sistema natural. Para as perdas no sistema construído, adota-se um percentual de 5% da vazão total captada, ou seja, neste caso, 820 l/s. A partição dessa perda se dá nos diversos trechos entre reservatórios e estações de bombeamento. Portanto, é conveniente inicialmente fazer um breve fluxograma do eixo norte, para definição dos trechos do sistema construído. Esse fluxograma foi desenhado a partir dos estudos de viabilidade do projeto e é mostrado na figura 1, na qual adotam-se as seguintes convenções:

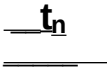
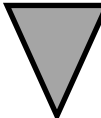
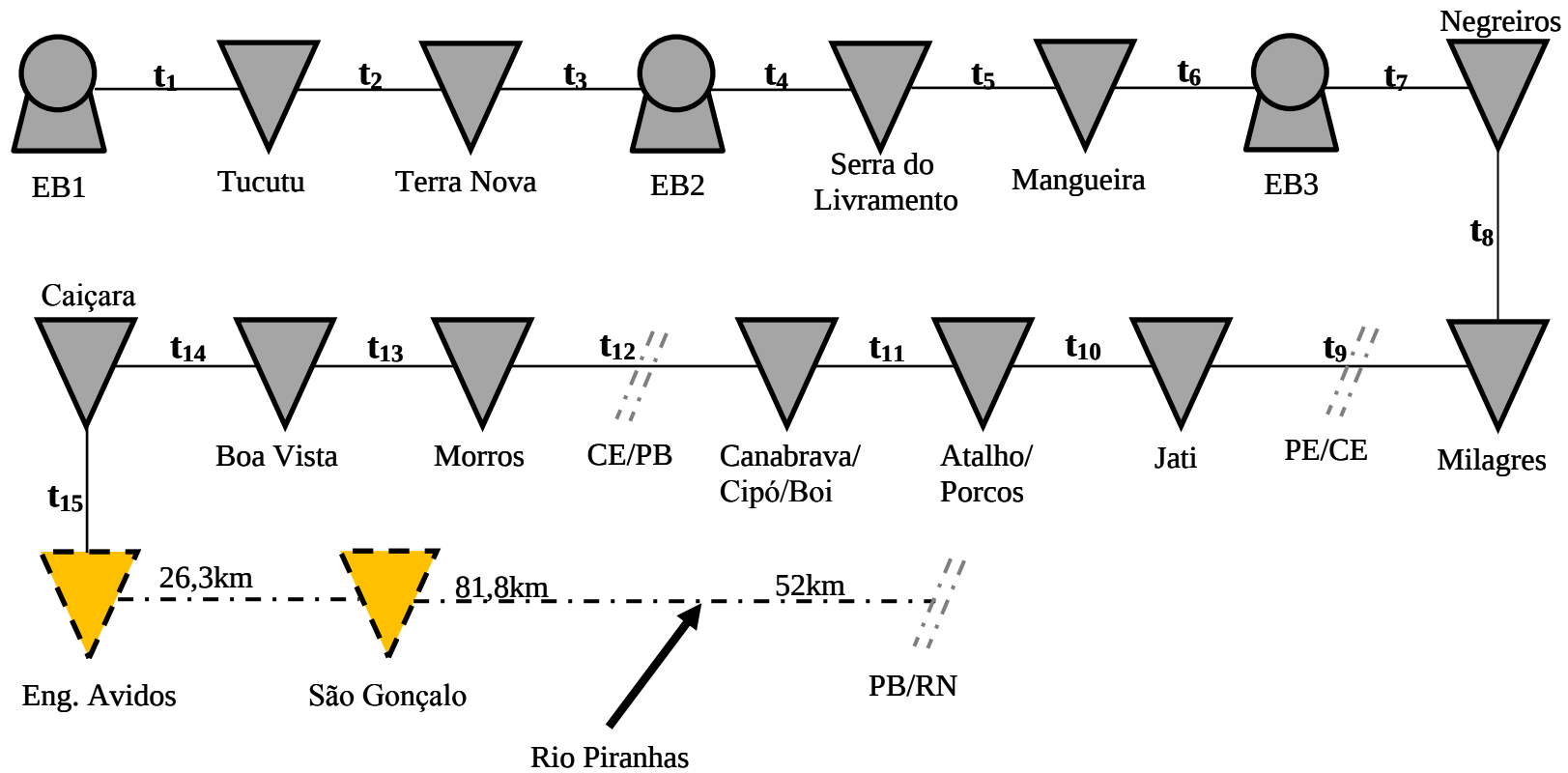
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Estação de bombeamento		Reservatório existente
	Trecho do sistema construído (canais, aquedutos, túneis)		Trecho do sistema natural
	Reservatório novo ou em ampliação		Demanda, tomada de água ou derivação
	Divisa de estado		

Figura 1. Fluxograma do Eixo Norte do PISF para fins de cálculo das perdas hídricas



4. Esse fluxograma corresponde ao traçado mais provável para entrega de água no Rio Grande do Norte no presente momento. Entretanto, há outras duas possibilidades de entrega, por meio do reservatório de Curemas ou por meio do Açude Lagoa do Arroz, que não foram contempladas no presente parecer.
5. Observa-se que alguns reservatórios foram agrupados para fins da partição de perdas no sistema construído, uma vez que, de acordo com os projetos de viabilidade do PISF, não há trecho de canais entre eles.
6. Em cada reservatório, existem um ou mais portais de entrega para atendimento às demandas do PISF, que podem ser um terminal de uso difuso (TUD) ou a tomada de água de uma das obras complementares do PISF (Cinturão das Águas do Ceará, Ramal do Apodi, etc).
7. Assim, como a ponderação das perdas depende das demandas a jusante do trecho, essa partição dependerá de como o atendimento à demanda será alocado ao longo do projeto.
8. Num primeiro momento, a quantificação das perdas obedece a um cenário de demandas de referência, para fins de uma estimativa prévia da tarifa de operação do sistema. Assim, consideram-se inicialmente as vazões disponibilizadas previstas na Nota Técnica nº 390/2005/SOC-ANA, ou seja, 8,91 m³/s para o Ceará, 1 m³/s para a Paraíba, 0,59 m³/s para Pernambuco e 2,3 m³/s para o Rio Grande do Norte.
9. O ponto de entrega dessas vazões também influencia, uma vez que pode exigir que a mesma quantidade de água percorra um número maior de reservatórios, onde haverá mais perda por evaporação. Novamente tendo em vista o cenário de referência para cálculo de tarifa, julga-se prudente ser mais conservador no cálculo, ou seja, alocar a demanda no ponto mais distante em cada estado. Somente no caso da demanda do Ceará, será considerado que a vazão será integralmente derivada na tomada de água do CAC, no reservatório de Jati.
10. Entretanto, a vazão entregue ao Rio Grande do Norte é a vazão resultante do balanço hídrico até este ponto. Assim, diferentemente da vazão disponibilizada aos demais estados, esta não pode ser inserida explicitamente nos cálculos.
11. Isto poderia conduzir a uma assimetria, uma vez que, caso haja diferenças entre as perdas estimadas na NT 390/2005 e as perdas atuais, toda a diferença seria descontada da vazão disponibilizada ao RN. De fato, à luz da metodologia proposta pelo Parecer nº 5, ao se manterem as demandas de 8,91 m³/s ao Ceará, 1 m³/s para a Paraíba e 0,59 m³/s para Pernambuco, não chegaria água ao Rio Grande do Norte.
12. Assim, se procedeu de forma iterativa, iniciando-se com as vazões disponibilizadas mencionadas acima, e diminuindo-se a vazão disponibilizada proporcionalmente a todos os estados, até que a vazão entregue ao RN fosse atendida (também com redução proporcional). Para isto, foi necessária uma redução de 15% na vazão disponibilizada a todos os estados, em relação à disponibilização original, ou seja, 7,57 m³/s para o Ceará, 0,5 m³/s para Pernambuco, 0,85 m³/s para a Paraíba e 1,96 m³/s para o Rio Grande do Norte.
13. A seguir são detalhadas as estimativas de perdas para este cenário.

Perdas no sistema construído

14. Portanto, a perda total de 820 l/s no sistema construído deve ser alocada em 15 trechos. O parecer conjunto nº 5 sugere que essa partição deve ser feita de forma ponderada, considerando as demandas a jusante de cada trecho. Assim, os trechos iniciais terão perdas maiores (pois a demanda à frente é maior), e vice-versa.

15. A formulação para partição das perdas do sistema construído é:

$$L_{ti} = L_{total} \cdot W_i$$

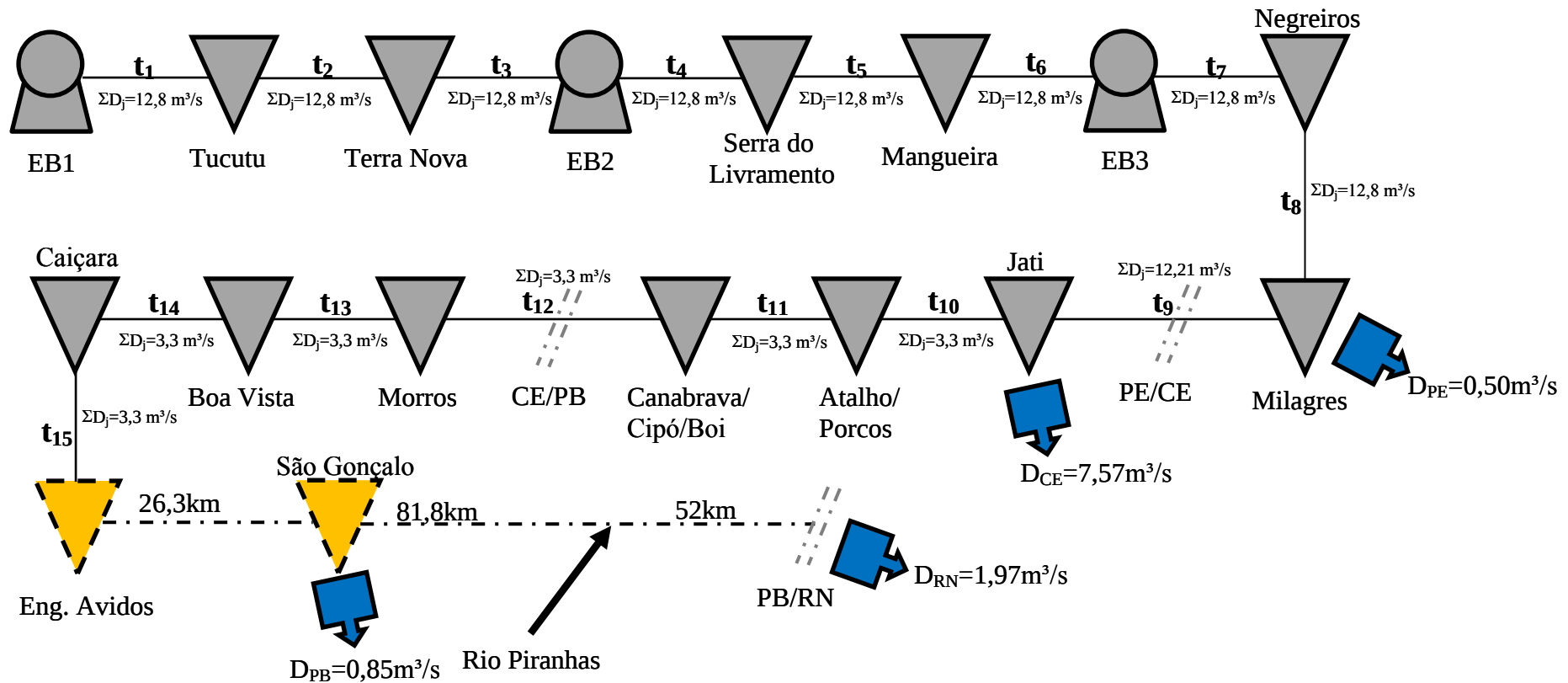
onde L_{ti} é a perda no trecho i do sistema construído, L_{total} é a perda total do sistema construído (5% da vazão captada) e W_i é um ponderador, definido por:

$$W_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^n D_j}$$

onde D_j são as demandas em cada derivação j a jusante do trecho i

16. Para melhor compreensão, o fluxograma é reapresentado a seguir, agora com os somatórios de demandas a jusante.

Figura 2. Fluxograma com as demandas a jusante de cada trecho, para o cenário de referência



17. Assim, a título de exemplo, a perda no trecho 1 é

$$Lt1 = (0,05 \cdot 16,4) \cdot 12,88 \cdot 12,8 + 1 \cdot 12,21 + 6 \cdot 3,3 = 75 \text{ l/s}$$

18. As perdas no sistema construído, em cada trecho do fluxograma, são as seguintes:

Trecho	Descrição	Perda
t1	EB1-Res. Tucutu	75 l/s
t2	Res. Tucutu-Res. Terra Nova	75 l/s
t3	Res. Terra Nova-EB2	75 l/s
t4	EB2-Res. Serra do Livramento	75 l/s
t5	Res. S. Livramento-Res. Mangueira	75 l/s
t6	Res. Mangueira-EB3	75 l/s
t7	EB3-Res. Negreiros	75 l/s
t8	Res. Negreiros-Res. Milagres	75 l/s
t9	Res. Milagres-Res. Jati	72 l/s
t10	Res. Jati-Res. Atalho/Porcos	26 l/s
t11	Res. Porcos-Res. Canabrava/Cipó/Boi	26 l/s
t12	Res. Boi-Res. Morros	26 l/s
t13	Res. Morros-Res. Boa Vista	26 l/s
t14	Res. Boa Vista-Res. Caiçara	26 l/s
t15	Res. Caiçara-Res. Eng. Avidos	21 l/s
Perda total no sistema construído		820 l/s

Perdas por evaporação nos reservatórios

19. Para quantificar a perda por evaporação nos reservatórios, o parecer conjunto nº 5 propõe o uso de vetores de evaporação especializados a partir do estudo de balanço hídrico de 204 reservatórios na região semi-árida. Esta espacialização resultou na associação de um vetor de evaporação para cada reservatório do PISF. A tabela abaixo mostra os resultados dessa associação.

Reservatório do PISF	Reservatório existente mais próximo*	E _{anual}
Tucutu	Chapéu	2911 mm
Terra Nova		
Serra do Livramento		
Mangueira		
Negreiros		
Milagres	Atalho	2264 mm
Jati		
Atalho		
Porcos		
Canabrava	Quixabinha	2114 mm
Cipó		
Boi		
Morros	Média entre São José I e Prazeres	2140 mm
Boa Vista		
Caiçara	Eng. Avidos	2130 mm
Eng. Avidos		
São Gonçalo	São Gonçalo	2199 mm

20. Para determinar a área inundada em cada reservatório, o parecer conjunto nº5 recomenda a adoção da área correspondente ao nível necessário para transferir (por meio das estruturas de controle) a vazão média igual à afluente. Ou seja:

$$Q_{tucutudefl} \cong Q_{tucutuafl} = Q_{eb1} - L_{t1}$$

$$Q_{tnovadefl} \cong Q_{tnovafl} = Q_{tucutudefl} - E_{tucutu} - L_{t2}$$

$$Q_{slivramentoafl} = Q_{tnovadefl} - E_{tnova} - L_{t3} - L_{t4}$$

....

$$Q_{jatidefl} = Q_{jatiafl} - Q_{CAC} = Q_{milagresdefl} - E_{milagres} - L_{t9} - Q_{CAC}$$

...

$$Q_{divisa}$$

$$RN/PB_{afl} = Q_{jatiafl} - Q_{CAC} = Q_{milagresdefl} - E_{milagres} - L_{t9} - Q_{CAC}$$

21. Caso houvesse derivações (demandas) no respectivo reservatório, estas também eram descontadas da vazão afluente. Observa-se que este procedimento é levemente a favor da segurança, uma vez que na realidade a vazão defluente é inferior à afluente, devido à evaporação. Porém, a consideração da evaporação neste cálculo levaria a uma não-linearidade, visto que é justamente a evaporação que se deseja calcular. Assim, por simplificação, o débito da vazão evaporada é sempre feito no reservatório seguinte, conforme pode ser visto nas equações acima.

22. Uma vez determinada a vazão defluente em cada reservatório, foi obtido o nível correspondente para defluir tal vazão, a partir das equações das estruturas de controle. Como em geral cada estrutura de controle é dotada de 4 comportas, a mesma vazão poderia ser defluída para 4 níveis distintos. Assim, considerou-se que essa defluência se dará com todas as comportas abertas, de forma a diminuir as perdas por evaporação.

23. No caso do reservatório de Tucutu, por exemplo, a vazão afluente é de 16,25 m³/s e a estrutura de controle tem soleira na cota 356,73m, com largura de 9,6m. A equação da estrutura (vertedor), segundo o projeto do PISF, é:

$$Q = 2 \cdot L \cdot h^{1,5}$$

24. Resulta, nesse caso, um nível d'água de 357,62m, o que, pela curva cota-área-volume deste reservatório, corresponde a uma área inundada de 2,54 km².

25. A tabela a seguir mostra o resumo de cálculo da perda por evaporação nos reservatórios:

Reservatório do PISF	Área inundada	Vazão evaporada (média anual)
Tucutu	2,54 km ²	234 l/s
Terra Nova	0,53 km ²	49 l/s
Serra do Livramento	1,47 km ²	136 l/s
Mangueira	1,30 km ²	119 l/s
Negreiros	2,00 km ²	184 l/s
Milagres	7,96 km ²	572 l/s
Jati	1,18 km ²	84 l/s
Atalho	6,23 km ²	447 l/s
Porcos	7,62 km ²	547 l/s
Canabrava	0,76 km ²	54 l/s
Cipó	0,55 km ²	40 l/s
Boi	1,52 km ²	109 l/s
Morros	0,51 km ²	35 l/s
Boa Vista	11,83 km ²	802 l/s
Caiçara	0,42 km ²	28 l/s

26. Restam ainda os reservatórios já existentes de Eng. Ávidos e São Gonçalo, para os quais não se dispõe ainda do projeto das estruturas de descarga, visto que estas ainda serão construídas no âmbito das ações de modernização desses mananciais. Assim, conforme parecer conjunto nº 05/2016, considera-se a área inundada correspondente à cota de 2m acima do dispositivo de descarga atualmente existente. Em correspondência eletrônica enviada pelo DNOCS (doc. 67658/2016), o chefe do setor de Elaboração e Avaliação de Custos do DNOCS informa que a geratriz superior da estrutura de descarga de Eng. Ávidos situa-se na cota 299m, enquanto que a de São Gonçalo situa-se na cota 236,5m.

27. De acordo com as batimetrias recentemente realizadas pela ANA nesses reservatórios, tais cotas correspondem a uma área inundada de 5,77 km² e 1,62 km², respectivamente. Assim, as perdas por evaporação correspondem a 389 l/s e 110 l/s, respectivamente. Com isso, a perda estimada total por evaporação nos reservatórios corresponde a 3,9 m³/s, fazendo com que esta seja principal perda hídrica do projeto.

Perdas no sistema natural

28. Por fim, resta a estimativa das perdas nos rios, do reservatório de Eng. Ávidos até a divisa entre Paraíba e Rio Grande do Norte. O trecho entre os açudes Eng. Ávidos e São Gonçalo tem 26,35 km, segundo a hidrografia do semi-árido, na escala 1:100.000 disponível no Portal de Metadados do SNIRH. Já o trecho entre São Gonçalo e a confluência com o rio Piranhas tem 81,8km. Nesses dois trechos, o parecer conjunto nº5 recomenda a adoção de uma perda de 4,32 l/s/km, resultando em perdas de 114 l/s e 353 l/s, respectivamente.

29. No trecho seguinte, da confluência com o rio Piranhas até a divisa, a extensão é de 52km, com uma perda estimada de 340 l/s. Parte dessa perda é suprida pela própria vazão do rio Piranhas, perenizado pelo Açude Curemas, com uma vazão de aproximadamente 1 m³/s. Como a vazão afluente do PISF, para o cenário de referência, é da ordem de 2,6 m³/s, essa perda foi alocada proporcionalmente a essas duas vazões, resultando uma perda para o PISF de 246 l/s, da confluência com o rio Piranhas até a divisa. As perdas totais no sistema natural foram, portanto, estimadas em 713 l/s.

Conclusões

30. O presente parecer apresenta as estimativas de perdas hídricas no eixo norte do PISF, considerando as metodologias propostas no Parecer Conjunto nº 5/2016. Resultou daí uma perda total de 5,47 m³/s, sendo 820 l/s no sistema construído (canais), 3940 l/s nos reservatórios e 710 l/s no sistema natural (rios).

31. Cabe ressaltar que essa perda somente é válida para o cenário de referência, que considera uma captação de 16,4 m³/s no rio São Francisco, levando ainda em conta as premissas feitas neste parecer sobre a partição das demandas. Para vazões captadas distintas, ou alteração na partição da água pelos diversos portais de entrega, essas perdas também se alteram.

32. Foi desenvolvida uma interface em Matlab® para a sistematização deste cálculo, de forma que a estimativa de perdas para diferentes cenários de demanda (por exemplo após a definição do PGA) podem ser calculados de forma relativamente expedita. O anexo 1 mostra o resultado dos cálculos para o cenário de referência

33. Se de acordo, sugiro tramitar à COSER/SRE para as providências pertinentes, notadamente na estimativa da tarifa de operação do PISF.

É o parecer técnico.

Brasília, 1º de dezembro de 2016.

(assinado eletronicamente)
BRUNO COLLISCHONN
Especialista em Recursos Hídricos
Coordenador de Regulação

De acordo. À Senhora Coordenadora de Regulação de Serviços Públicos e de Segurança de Barragens, para providências.

(assinado eletronicamente)
RODRIGO FLECHA FERRREIRA ALVES
Superintendente de Regulação

Anexo 1 – Tela do interface de estimativa de perdas, para o cenário de referência

exioN

Estimativa de perdas hídricas - eixo norte (preencher os campos em amarelo)

Vazão inicial

16.4

m3/s

Calcular

Período

☒ Média anual

☐ Quadra seca (ago-nov)

☐ Quadra chuvosa (fev-mai)

EB1-Tucutu

0.075

m²/s

Res. Tucutu

0.234

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Tucutu-Terra Nova

0.075

m²/s

Res. Terra Nova

0.049

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Terra Nova - EB2

0.075

m²/s

Vazão bombeada na EB2

15.893

m²/s

EB2-Slivramento

0.075

m²/s

Res. Slivramento

0.136

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Slivramento-Mangueira

0.075

m²/s

Res. Mangueira

0.119

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Q Ramal Entremontes

0

m²/s

Mangueira-EB3

0.075

m²/s

Vazão bombeada na EB3

15.413

m²/s

EB3-Negreiros

0.075

m²/s

Res. Negreiros

0.184

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Negreiros-Milagres

0.075

m²/s

Res. Milagres

0.572

m²/s

Q TUD

.50

m²/s

Milagres-Jati

0.072

m²/s

Res. Jati

0.084

m²/s

Q CAC

7.57

m²/s

Jati-Atalho

0.026

m²/s

Q Jussante Jati

6.3

m²/s

Res. Atalho

0.447

m²/s

Res. Porcos

0.547

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Porcos-Canabrava

0.026

m²/s

Res. Canabrava

0.054

m²/s

Res. Cipó

0.040

m²/s

Res. Boi

0.109

m²/s

Boi-Morros

0.026

m²/s

Res. Morros

0.035

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Morros-Bvista

0.026

m²/s

Res. Boa Vista

0.802

m²/s

Q TUD

0

m²/s

Q TUD (Dique Cuncas)

0

m²/s

Bvista-Caiçara

0.026

m²/s

Res. Caiçara

0.028

m²/s

Q TUD

.85

m²/s

Q Ramal Apodi

0

m²/s

Caiçara-Avidos

0.021

m²/s

Res. Eng. Avidos

0.389

m²/s

Avidos-Sgonçalo

0.095

m²/s

Res. Sgonçalo

0.11

m²/s

Sgonçalo-Divisa

0.650

m²/s

Perda total (canais)

0.820

m²/s

Perda total (reservatórios)

3.9

m²/s

Perda total (rios)

0.7

m²/s

Vazão entregue na divisa PB/RN

1.97

m²/s