

NOTA TÉCNICA – NT (SIMPLIFICADA)

Diretoria Socioambiental

Brasília, DF

**SISTEMA PARA TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES
ANÁLISE DOS ENSAIOS EM MODELO REDUZIDO
TRIDIMENSIONAL GERAL**

UHE BELO MONTE

EMPRESA
NORTE ENERGIA SA

NÚMERO/CÓDIGO DO DOCUMENTO
NT_Nº 01 _PMMTP_05-12-12_LEME

EMPRESAS PARTICIPANTES

LEME
ENGENHARIA

DEZEMBRO/2012

QUADRO DE CONTROLE DE REVISÕES

REV. (a)	DATA (b)	HISTÓRICO (c)	NOME DO TÉCNICO (d)	FUNÇÃO (e)	EMPRESA (f)
00	05/12/12	Elaboração	Ricardo Junho	-	LEME

REV. (a): Inserir o número da revisão, com dois dígitos, a se iniciar na versão 00, ou seja, a de criação do documento.

DATA (b): Data referente à revisão citada na primeira coluna.

HISTÓRICO (c): Informação referente a etapa de revisão do documento, (Ex. criação, revisão, adequações), se possível listando as principais necessidades de ajustes.

NOME DO TÉCNICO (d): Nome do técnico responsável pela revisão do documento.

FUNÇÃO (e): Função do técnico responsável pela revisão

EMPRESA (f): Empresa a qual o técnico responsável pela revisão representa.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO ANALISADO.....	2
3. ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES	8
4. REFERENCIAIS TEÓRICOS UTILIZADOS	16

1. APRESENTAÇÃO

No Projeto de Implantação e Monitoramento do Sistema de Transposição de Peixes (STP), integrante do Programa de Conservação da Ictiofauna constante do Projeto Básico Ambiental da UHE Belo Monte, a posição da entrada no canal de fuga da casa de força complementar foi definida de forma teórica, tendo-se previsto a sua confirmação através da realização de ensaios específicos no modelo reduzido tridimensional geral do sítio Pimental, construído e operado pelo LACTEC CEHPAR.

Em reunião realizada na Norte Energia, em Brasília, em 08 de agosto de 2012, com a participação de representantes da Norte Energia, do Consórcio Projetista e da Leme Engenharia, foram confirmados os critérios gerais de projeto do STP adotados no PBA e a necessidade de realização daqueles ensaios em modelo reduzido para confirmação da posição da entrada. Naquela ocasião, os consultores da Leme indicaram, também, a necessidade de introdução de dique a jusante da entrada para facilitar a localização daquela estrutura por peixes.

Especificação técnica (ET) para os ensaios em modelo reduzido tridimensional geral, com objetivo de subsidiar o posicionamento da entrada do STP, foi elaborada pela Leme em agosto de 2012.

Após o recebimento de comentários de representantes da Norte Energia e do Consórcio Projetista, por telefone, em 27 de agosto de 2012, e primeira revisão da ET, a segunda revisão, após incorporação de novos comentários da Norte Energia, recebidos por e-mail em 03 de setembro de 2012, foi encaminhada à Norte Energia em 03 de setembro de 2009.

Os ensaios foram realizados nos meses de setembro e outubro de 2012 e, ao seu final, foi emitido pelo LACTECCEHPAR o Relatório N° 04 – Estudo do Escoamento a Jusante da Casa de Força Complementar para Fins de Definição do Sistema de Transposição de Peixes, cuja análise é objeto da presente Nota Técnica.

2. DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO ANALISADO

Conforme apresentado no PBA, a localização da entrada é provavelmente o aspecto mais importante de qualquer STP, particularmente os construídos em barragens (Clay 1995). Se os peixes não conseguirem localizar a entrada, a passagem fracassará. Por isso, a entrada deve ser o componente de STP a ser definido primeiro (Clay 1995).

Peixes em migração rio acima, ao aproximarem-se de barramento, geralmente deslocam-se até atingir o ponto no qual não podem mais prosseguir (Larinier 2002). Em hidrelétricas, esse ponto é imediatamente a jusante da barragem ou na saída do tubo de sucção (FAO/DVWK 2002), devido à velocidade da água ou elevada turbulência (Larinier 2002). É nesse ponto que os peixes tendem a se concentrar (Larinier 2002) e é onde a entrada deve ser posicionada (FAO/DVWK 2002). Quanto mais distante a entrada estiver da casa de força, mais difícil será para o peixe localizá-la (Clay 1995). Por esses motivos, a entrada do STP foi posicionada no canal de fuga da casa de força complementar.

Para a efetiva atração dos peixes do canal de fuga ao canal de entrada do STP são necessárias velocidades superiores às do escoamento no canal de fuga, que, em geral, são da ordem de 1,5 m/s. Por outro lado, elevadas velocidades para a água de atração podem impedir a entrada de peixes por superar a sua capacidade natatória (Clay 1995). Assim, o valor usual de velocidade na comporta do canal de entrada é da ordem de 2,0 m/s, valor médio entre os apresentados por Clay (1995) e Banys and Leonardson (1969), que poderá ser obtido pela operação da comporta de regulação.

A posição mais adequada da entrada é de difícil avaliação teórica sendo usual a utilização de ensaios em modelo reduzido para esse fim (Clay, 1995). Assim, previu-se, no PBA, a confirmação da posição da entrada mediante a realização de ensaios específicos no modelo reduzido tridimensional geral já construído e em operação para a otimização das estruturas hidráulicas do empreendimento no sítio Pimental.

Além dos aspectos relativos às velocidades do escoamento, a configuração da entrada do STP em relação às estruturas do aproveitamento deve favorecer a localização da entrada pelos peixes e ser projetada de modo a evitar o surgimento de indesejáveis correntes de recirculação intensas, que podem, também, dificultar a localização da entrada por peixes (Clay, 1995). Essa situação é ilustrada nas **Figuras 2-1 e 2-2**, para o caso de entrada junto a vertedores, que é análoga àquela de entrada junto a casas de força, onde as velocidades são menores.

Arranjos mais indicados, com a eliminação de áreas indesejadas são apresentados na **Figura 2-3**.

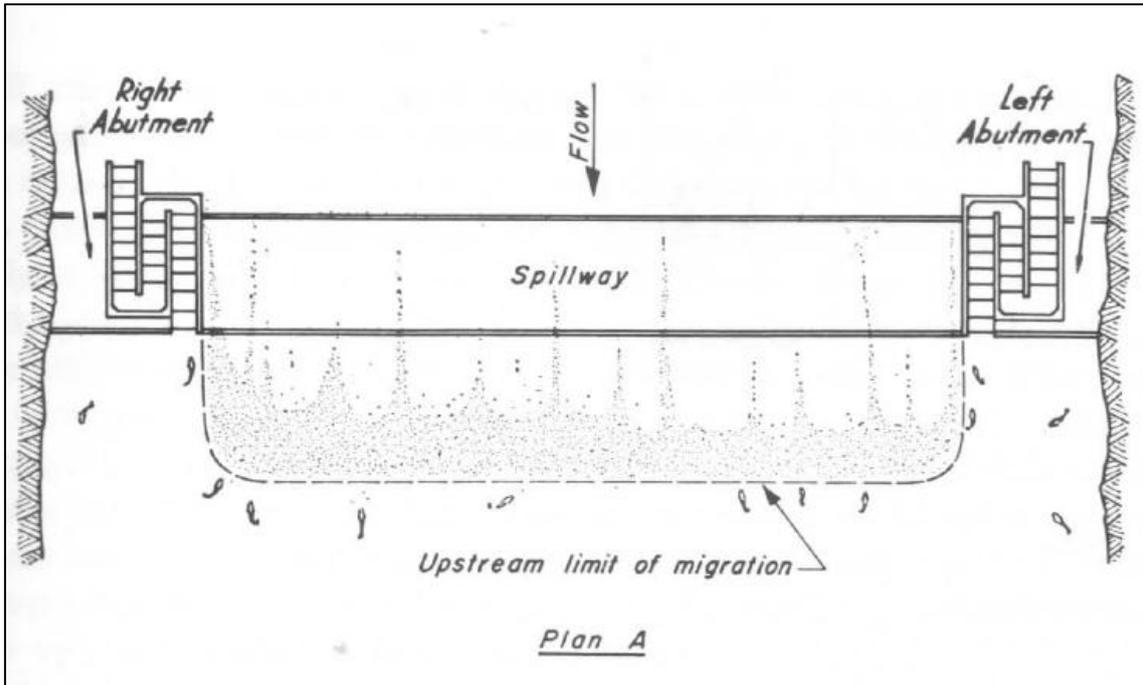


Figura 2 - 1 – Planta esquemática de arranjo indesejável de entrada de STP (Figure 3.3, Clay (1995)).

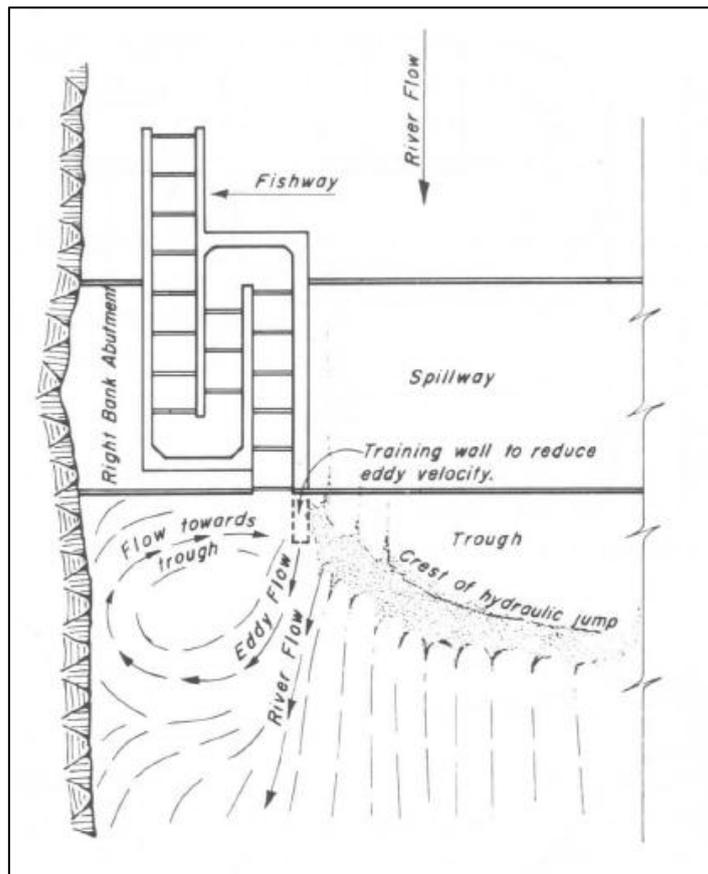


Figura 2 - 2 – Planta esquemática de recirculações indesejadas junto à entrada de STP (Figure 3.6, Clay (1995)).

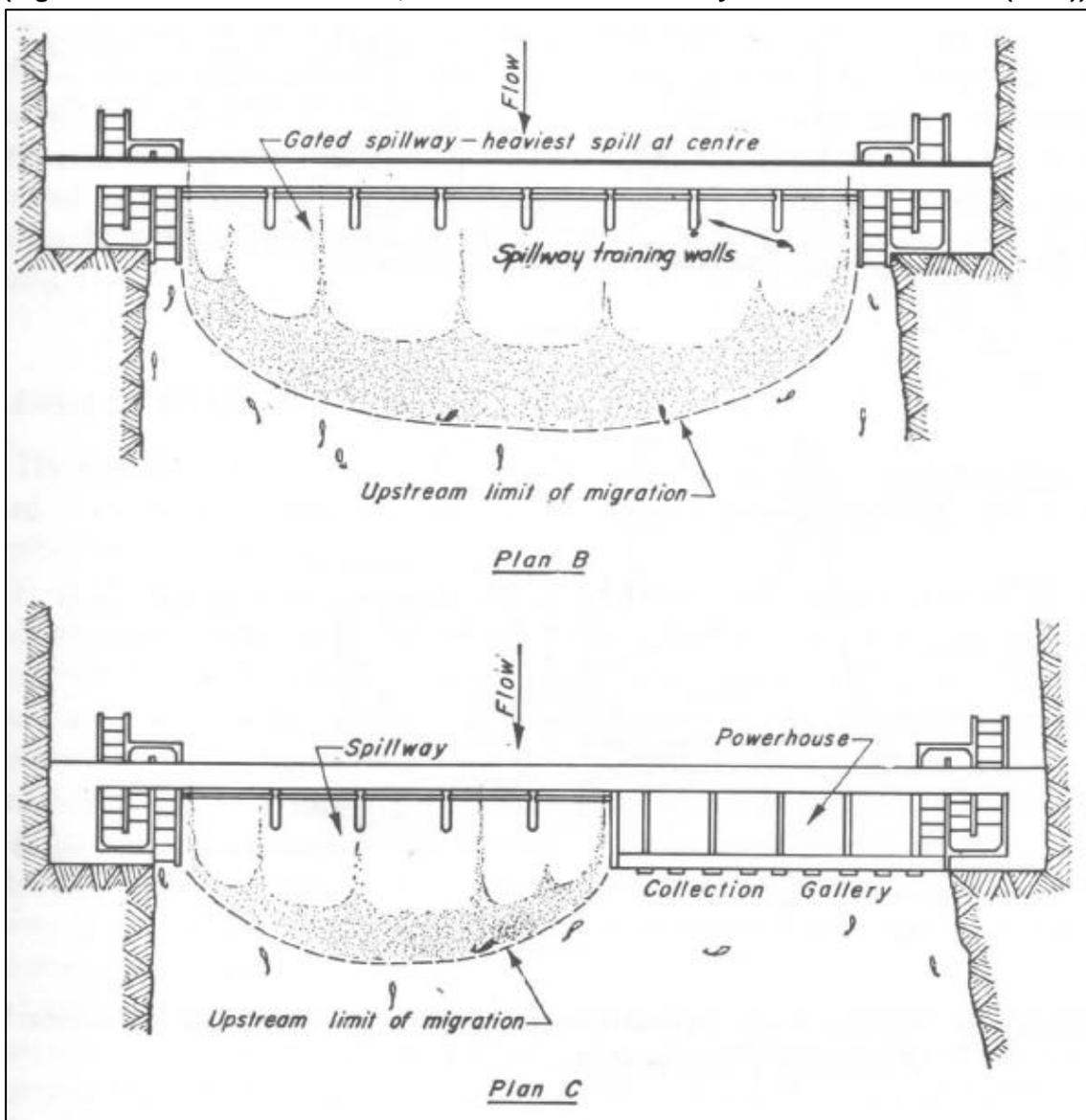


Figura 2 - 3 – Planta esquemática de arranjo recomendável de entrada de STP (Figure 3.3, Clay (1995)).

Com relação a esses aspectos, o arranjo proposto para a entrada do STP, no PBA, apresentado na **Figura 2-4**, era relativamente desfavorável, devido à presença de área livre na lateral esquerda a jusante que poderia propiciar o surgimento de correntes de recirculação e dificultar a identificação da entrada por peixes.

Durante o Projeto Básico Consolidado (PBC), o conceito geral da região da entrada do STP foi mantido, mas a posição da entrada foi deslocada para jusante, como se pode observar na **Figura 2-5**.

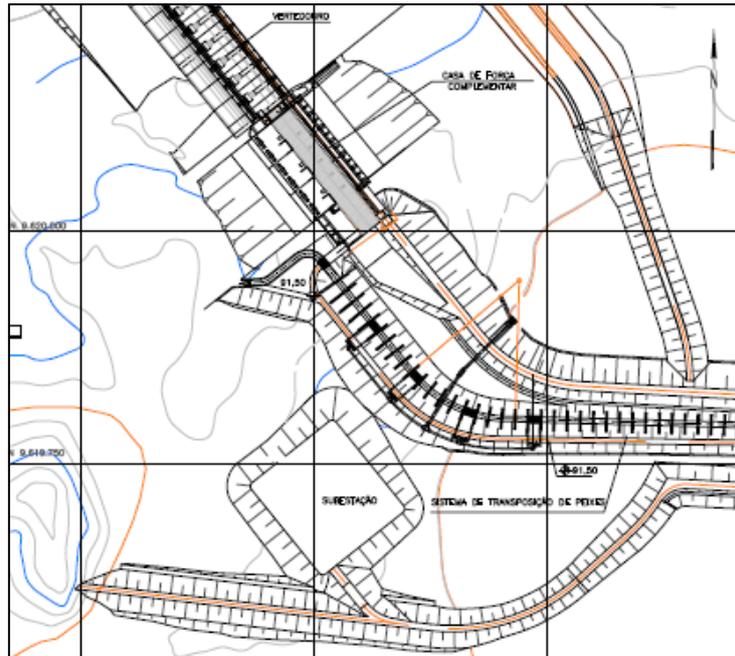


Figura 2 - 4 – Arranjo geral parcial do STP com a localização proposta para a entrada no PBA (Desenho BM-TP-DA-001, PBA-UHE Belo Monte).

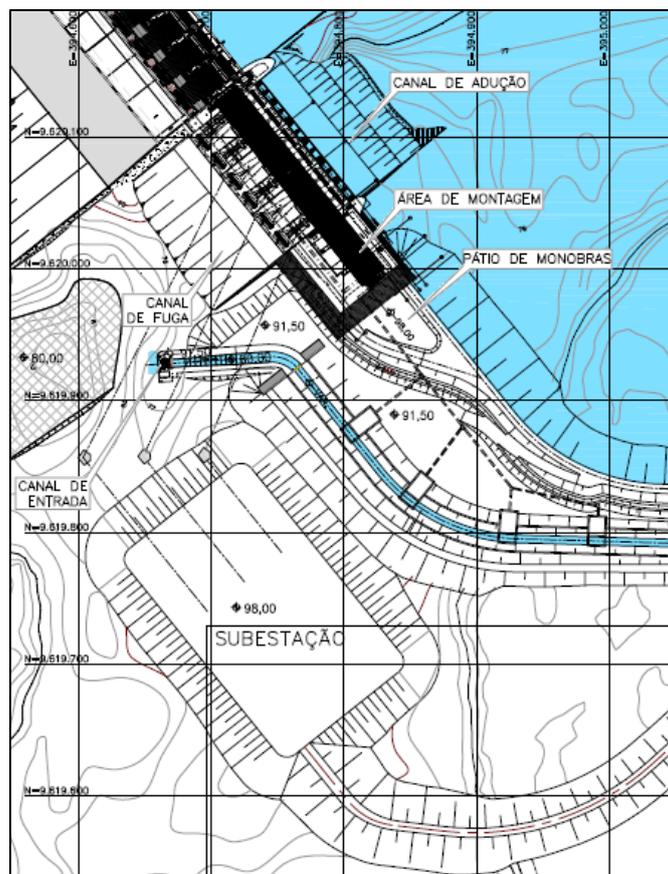


Figura 2 - 5 – Arranjo geral parcial do STP com a localização proposta para a entrada no PBC (Desenho BEL-C-PM-DE-GER-000-0002, PBC-UHE Belo Monte).

Anteriormente à realização dos ensaios em modelo reduzido, os consultores da LEME propuseram, *a priori*, a introdução de dique a jusante do canal de entrada para reduzir a possibilidade de ocorrência de correntes de recirculação intensas que poderiam dificultar a localização da entrada por peixes. Além disso, o dique ajudará a localização da entrada do STP por parte dos peixes que se movimentam junto à margem esquerda.

O arranjo em planta da Alternativa Inicial, com dique paralelo ao eixo do canal de fuga, testado em modelo reduzido é apresentado na **Figura 2-6**, juntamente com a locação dos pontos de medição de velocidades.

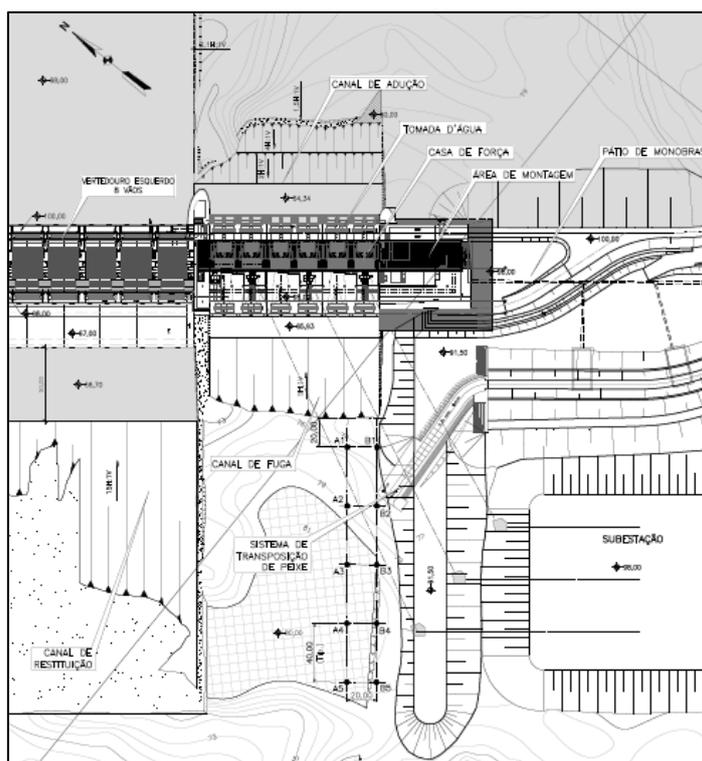


Figura 2 - 6 – Arranjo em planta da Alternativa Inicial para dique junto à entrada do STP (Anexo 1, LEME (2012)).

O arranjo em planta da Alternativa Final, com dique inclinado entre o canal de fuga e a subestação, juntamente com a locação dos pontos de medição de velocidades, é apresentada na **Figura 2-7**.

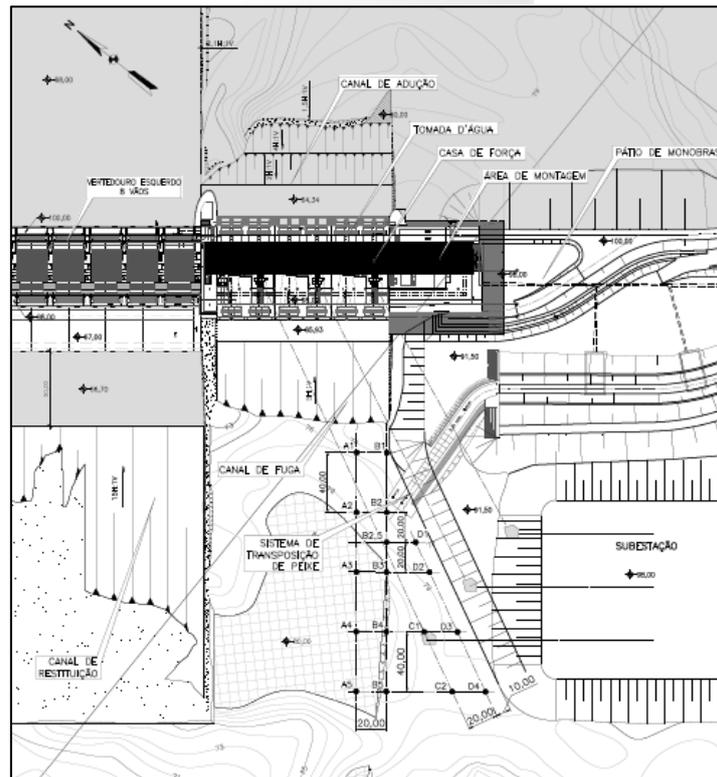


Figura 2 - 7 – Arranjo em planta da Alternativa Final para dique junto à entrada do STP (Anexo 2, LEME (2012)).

3. ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES

Observações efetuadas durante a realização dos ensaios indicaram que, de forma geral, a região de turbulência mais acentuada do escoamento proveniente do tubo de sucção ocorre na região limitada, a jusante, pelos pontos B1 e A1.

Para a alternativa inicial, com dique paralelo ao eixo do canal de fuga, à esquerda e a jusante da casa de força complementar, as velocidades do escoamento medidas nos pontos B1 a B5, para as vazões de 2.280 m³/s a 12.000 m³/s encontram-se no **Quadro 3-1**. A representação gráfica das velocidades médias e máximas junto ao fundo, disponíveis para todos os pontos, é apresentada nas **Figuras 3-1 e 3-2**. Registre-se que a velocidade média do escoamento é da ordem da velocidade medida junto ao meio da lâmina d'água, superior à velocidade junto ao fundo.

Quadro 3 - 1 – Velocidades a jusante da Casa de Força Complementar – Pontos B1 a B5 - Alternativa Inicial (Quadro II, LACTEC CEHPAR (2012))

Ponto	Posição	Vazão (m ³ /s)							
		2.280		4.000		8.000		12.000	
		Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima
B1	Fundo	0,5	1,0/-0,6	0,5	1,0/-0,3	0,3	0,6/-0,4	0,4	0,8/-0,3
	Meio	0,8	1,4/-0,3	0,8	1,3	0,9	1,5	1,0	1,7
	Superfície	1,6	2,3	1,9	2,3	1,6	2,6	1,6	2,3
B2	Fundo	1,4	1,9	1,3	1,7	1,0	1,3	1,1	1,4
	Meio	1,6	2,1	1,3	1,8	1,2	1,6	1,2	1,7
	Superfície	-	-	-	-	-	-	1,4	1,9
B3	Fundo	2,1	2,6	1,5	1,9	1,2	1,4	1,2	1,5
	Meio	-	-	1,6	2,0	1,3	1,6	1,3	1,7
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-
B4	Fundo	1,6	2,1	1,3	1,7	1,0	1,3	1,2	1,5
	Meio	-	-	1,5	1,9	1,2	1,3	1,3	1,7
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-
B5	Fundo	1,3	1,8	1,1	1,4	0,8	1,1	0,9	1,2
	Meio	-	-	1,3	1,6	1,1	1,3	1,3	1,5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-

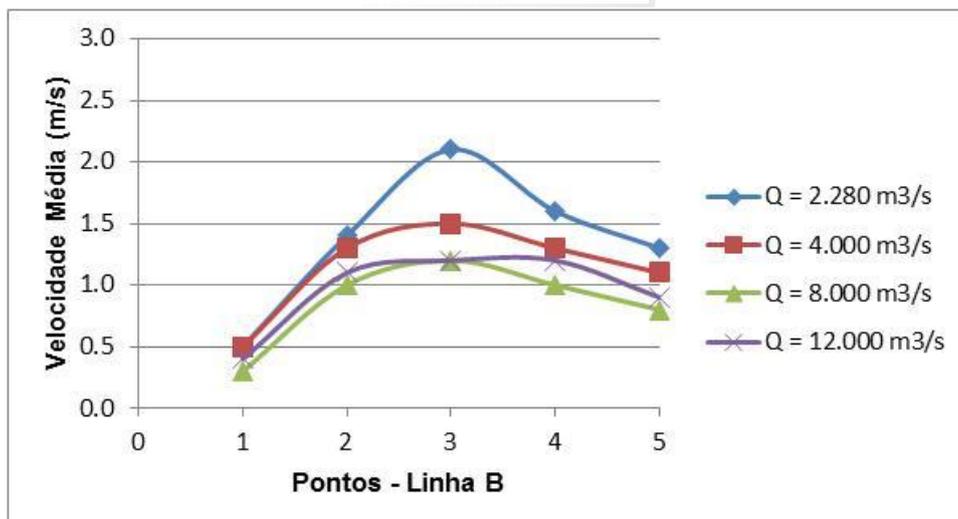


Figura 3 - 1 – Velocidades Médias nos Pontos B1 a B5 da Alternativa Inicial (Quadro II, LACTEC CEHPAR (2012)).

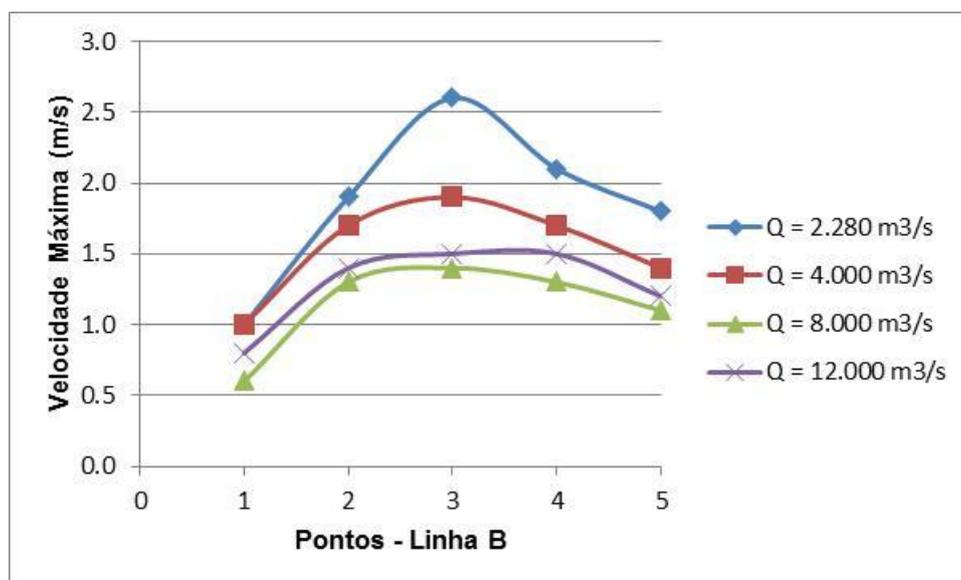


Figura 3 - 2 – Velocidades Máximas nos Pontos B1 a B5 da Alternativa Inicial (Quadro II, LACTEC CEHPAR (2012)).

De modo geral, observa-se que as velocidades médias aumentam de jusante para montante, atingindo o valor máximo de 2,1 m/s no ponto B3, reduzindo-se a partir daí para montante. O mesmo comportamento é observado para as velocidades máximas (instantâneas), sendo o maior valor igual a 2,6 m/s no mesmo ponto B3. As velocidades máximas ocorrem para a condição de vazão turbinada máxima, 2.280 m³/s, em operação isolada da casa de força complementar.

Em tese, para essa condição, o escoamento proveniente da entrada do STP deve apresentar boa atratividade, uma vez que compete, apenas, com a vazão turbinada. A partir da entrada em operação do vertedouro, com o aumento da vazão concorrente à vazão do STP e da ampliação da sua extensão, na região a jusante do barramento, a vazão de atração do STP tende a ser menos eficaz.

Dessa forma, para a Alternativa Inicial, na condição de operação isolada da casa de força complementar, com vazão máxima turbinada de 2.280 m³/s, para que o escoamento do STP seja eficaz na atração de peixes, a entrada do STP deveria ficar a jusante do ponto B3, para manter a velocidade máxima do escoamento de atração de 2,0 m/s; mas, com uma relativamente menor eficiência devido à maior distância da saída das turbinas. Ou, a entrada poderia ser posicionada junto ao ponto B3, com velocidade do escoamento de atração maior do que 2,0 m/s, o que poderia, em princípio, impor alguma seletividade a indivíduos de menor capacidade natatória. A entrada localizada a montante do ponto B3 também poderia ser menos eficiente, caso as maiores velocidades desse ponto viessem a constituir algum tipo de barreira a indivíduos de menor capacidade natatória.

Para as demais condições de operação da casa de força, em conjunto com o vertedouro, essa questão não ocorreria, devido à velocidade média do escoamento no canal de fuga ser sempre inferior a 1,5 m/s, menor que aquela velocidade do escoamento de atração, de 2,0 m/s.

Para a Alternativa Final, com dique inclinado em relação ao eixo do canal de fuga, à esquerda e a jusante da casa de força complementar, as velocidades do escoamento medidas nos pontos B1 a B5, mesmos pontos da Alternativa Inicial, para as vazões de 2.280 m³/s a 12.000 m³/s encontram-se no **Quadro 3-2**. A representação gráfica das velocidades médias e máximas junto ao fundo, disponíveis para todos os pontos, é apresentada nas **Figuras 3-3 e 3-4**.

Quadro 3 - 2 – Velocidades a jusante da Casa de Força Complementar – Pontos B1 a B5 - Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

Ponto	Posição	Vazão (m ³ /s)							
		2.280		4.000		8.000		12.000	
		Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima
B1	Fundo	1.3	1.8	0.5	1.0/-0.6	0.7	1.2	0.7	1.0
	Meio	1.9	2.6	1.4	2.0	1.2	1.9	1.2	1.8
	Superfície	-	-	1.9	2.3	1.3	1.9	1.4	1.8
B2	Fundo	1.4	2.0	1.2	1.7	0.9	1.3	1.0	1.4
	Meio	1.6	2.3	1.3	2.0	1.2	1.6	1.2	1.5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	1.3	1.7
B3	Fundo	1.6	2.1	1.2	1.7	1.0	1.3	1.1	1.5
	Meio	-	-	1.4	1.9	1.1	1.4	1.3	1.5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-
B4	Fundo	1.5	2.1	1.1	1.5	0.8	1.2	0.8	1.3
	Meio	-	-	1.3	1.7	1.0	1.3	1.2	1.5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-
B5	Fundo	1.3	1.8	1.1	1.5	0.9	1.3	0.7	1.1
	Meio	-	-	1.1	1.4	0.9	1.2	1.0	1.3
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-

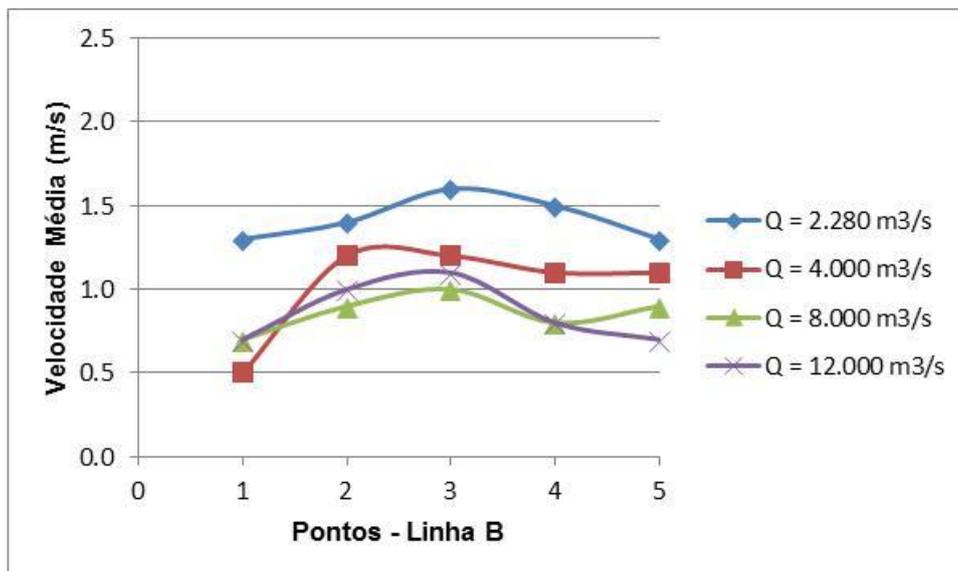


Figura 3 - 3 – Velocidades Médias nos Pontos B1 a B5 da Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

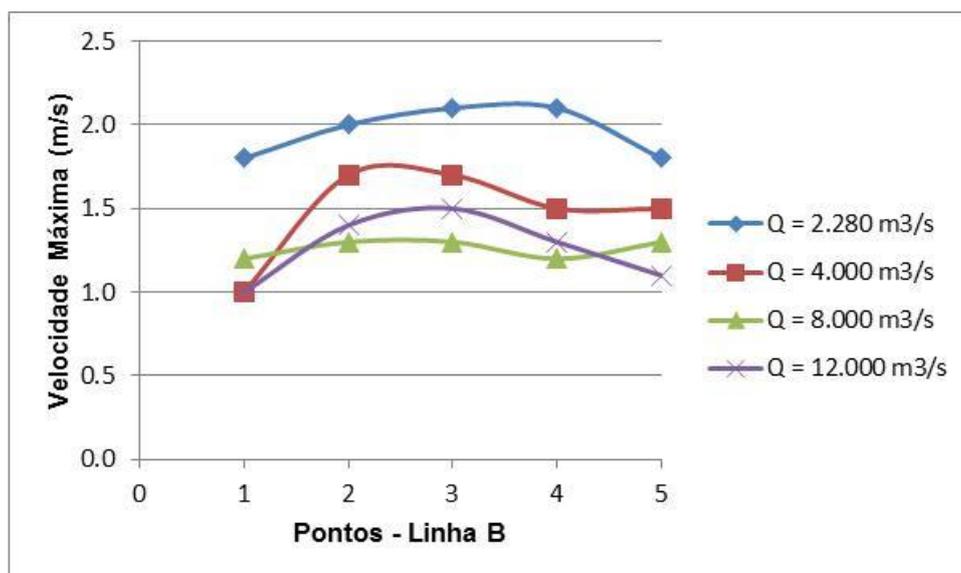


Figura 3 - 4 – Velocidades Máximas nos Pontos B1 a B5 da Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

De modo geral, observa-se que a amplitude das velocidades médias é relativamente baixa para todas as vazões ensaiadas, com valor máximo de 1,6 m/s no ponto B3, para a mesma condição de vazão turbinada máxima, 2.280 m³/s, em operação isolada da casa de força complementar. O mesmo comportamento é observado para as velocidades máximas, sendo que o maior valor, 2,1 m/s, ocorre nos pontos B3 e B4.

Para as demais condições de operação da casa de força, em conjunto com o vertedouro, a velocidade média do escoamento no canal de fuga é inferior a 1,2 m/s, enquanto que a velocidade máxima não é superior a 1,7 m/s.

Assim, considerando a velocidade máxima do escoamento de atração de 2,0 m/s, a entrada do STP poderia ser posicionada junto ao ponto B2. Deslocá-la em direção ao ponto B1 poderia constituir um risco, em função da maior macro turbulência do escoamento proveniente das turbinas.

Ainda para a Alternativa Final, análise similar pode ser feita para as velocidades do escoamento medidas nos pontos D0 a D4, junto ao talude do dique, para as vazões de 2.280 m³/s a 12.000 m³/s. As velocidades médias e máximas junto ao fundo encontram-se no **Quadro 3-3** e a sua representação gráfica é apresentada nas **Figuras 3-5 e 3-6**. Para efeito de representação das velocidades, pontos com velocidade nula e com recirculação foram indicados com velocidade de 0 m/s, igualmente.

Quadro 3 - 3 – Velocidades a jusante da Casa de Força Complementar – Pontos D0 a D4 - Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

Ponto	Posição	Vazão (m ³ /s)							
		2.280		4.000		8.000		12.000	
		Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima
D0	Fundo	1.3	1.9	1.3	1.8	0.9	1.3	0.8	1.3
	Meio	1.6	2.1	1.4	2.0	1.1	1.5	0.8	1.3
	Superfície	-	-	-	-	-	-	1.1	1.6
D1	Fundo	1.3	1.7	1.3	1.8	1.1	1.5	1.0	1.3
	Meio	1.5	2.1	1.5	2.1	1.1	1.5	1.1	1.5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	1.1	1.3
D2	Fundo	1.3	1.7	1.1	1.5	0.7	1.1	1.0	1.3
	Meio	1.4	1.9	0.8	1.3	0.4	0.8/-0.3	0.7	1.2
	Superfície	-	-	-	-	-	-	0.5	1.0/-0.5
D3	Fundo	0.3	0.6/-0.4	~0	-0.3	~0	~0	~0	+~0.3
	Meio	-	-	~0	+~0.4	~0	+~0.4	-0.3	-0.5
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-
D4	Fundo	~0	+~0.7	-0.3	-0.5	~0	+~0.3	-0.3	-0.4
	Meio	-	-	-0.3	-0.4	~0	+~0.5	-0.3	-0.4
	Superfície	-	-	-	-	-	-	-	-

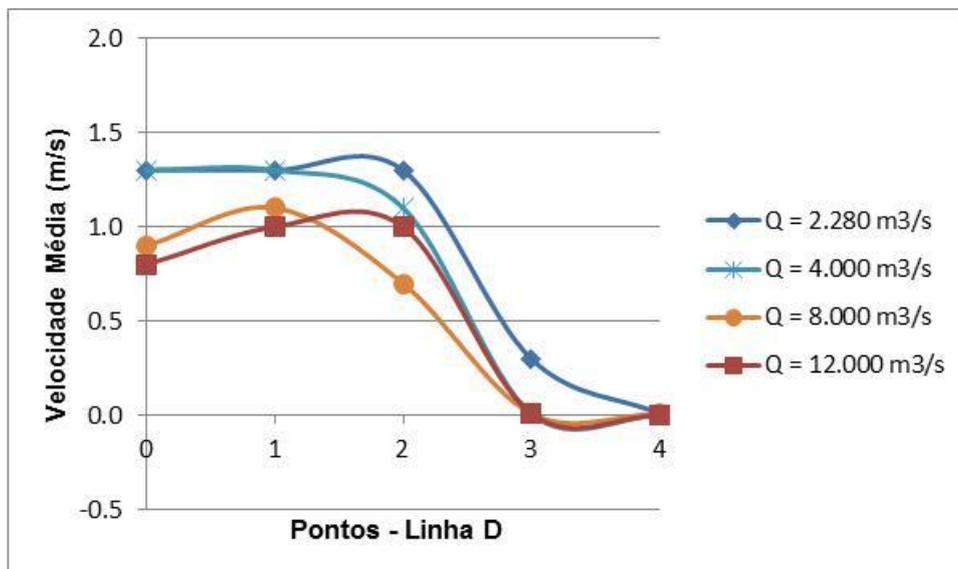


Figura 3 - 5 – Velocidades Médias nos Pontos D0 a D4 da Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

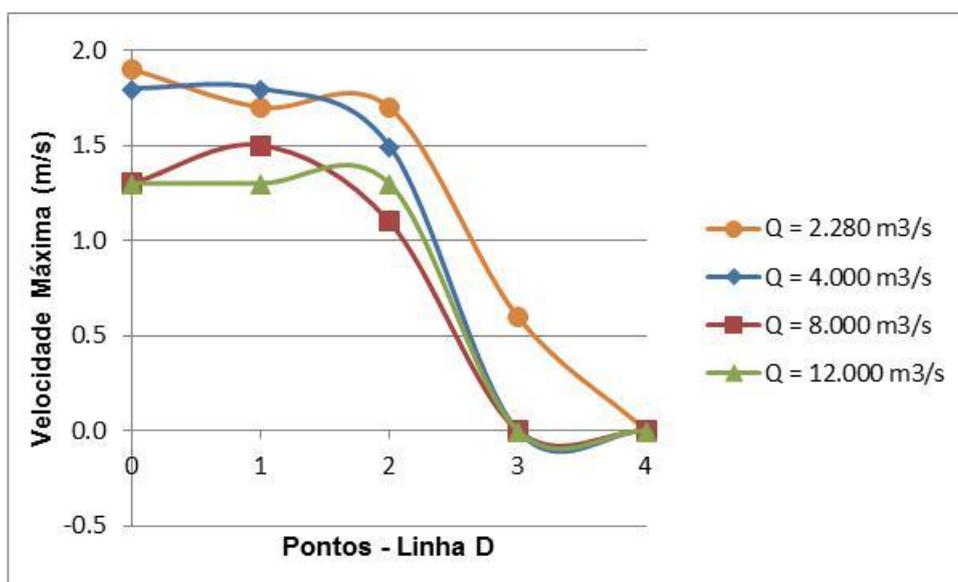


Figura 3 - 6 – Velocidades Máximas nos Pontos D0 a D4 da Alternativa Final (Quadro III, LACTEC CEHPAR (2012)).

De modo geral, observa-se que a amplitude das velocidades médias é relativamente baixa para todas as vazões ensaiadas, para os pontos D0 a D2, que se encontram no mesmo alinhamento transversal dos pontos B1 e B3, respectivamente. As velocidades médias apresentam valor máximo de 1,3 m/s e as velocidades máximas, de 1,9 m/s, para a mesma condição de vazão turbinada máxima, 2.280 m³/s, em operação isolada da casa de força complementar.

Para as demais condições de operação conjunta da casa de força com o vertedouro, a velocidade média do escoamento no canal de fuga é inferior a 1,1 m/s, enquanto que a velocidade máxima não é superior a 1,8 m/s.

Da observação do **Quadro 3-3**, para as vazões de 2.280 m³/s e 4.000 m³/s não ocorrem recirculações do escoamento nos pontos D0 a D2, mas apenas nos pontos D3 e D4. Para as vazões de 8.000 m³/s e 12.000 m³/s, ocorrem recirculações nos pontos D2 a D4.

Em função desses resultados, para a Alternativa Final, com dique inclinado em relação ao eixo do canal de fuga, à esquerda e a jusante da casa de força complementar, a entrada do STP deve ser posicionada junto ao ponto D0. Deslocá-la em direção tanto ao ponto D2 quanto ao ponto B1 poderia apresentar risco, em função, respectivamente, de recirculações do escoamento e da maior macro turbulência do escoamento proveniente das turbinas.

Questão adicional diz respeito ao ângulo do canal de entrada em relação ao alinhamento da margem, cujos valores usuais encontram-se entre 0 e 45 graus.

Valores próximos a 0 grau são adotados de forma conservadora para minimizar efeitos adversos de eventuais recirculações e vórtices criados pela entrada do escoamento de atração no escoamento do canal de fuga, que poderiam desorientar peixes. Valores próximos a 45 graus se estendem transversalmente ao canal de fuga por uma distância maior, o que pode permitir sua eventual identificação por peixes que não se deslocam junto à margem, o que aumentaria a eficiência da atração ao STP.

No caso específico de Belo Monte, considerando as posições relativas entre os eixos do dique transversal e do canal de fuga, adotou-se valor de 40 graus para o ângulo entre o eixo do canal de entrada e o do dique, que fornece ângulo da ordem de 15 graus entre os eixos do canal de entrada e do canal de fuga.

A posição e geometria propostas para o canal de entrada encontram-se na **Figura 3-7**.

Finalmente, considerando que as recirculações do escoamento observadas nos pontos D2 a D4, ao longo do dique da Alternativa Final, podem vir a constituir fator de desorientação para peixes que se deslocam junto ao dique e, assim, reduzir a eficiência da entrada do STP, recomenda-se a execução de ensaios adicionais no modelo reduzido tridimensional que venham a reduzir ou mesmo eliminar aquelas recirculações.

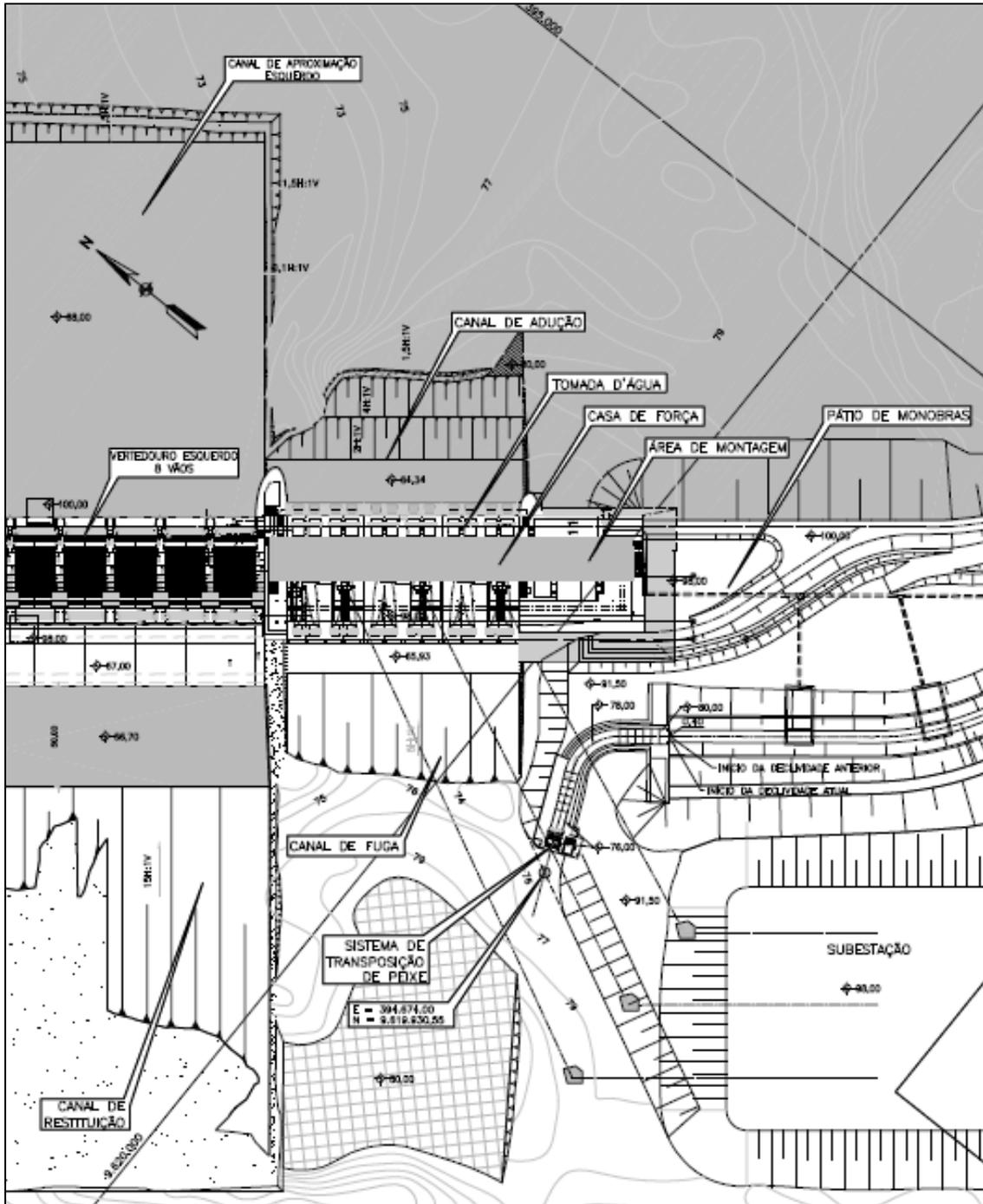


Figura 3 - 7 – Posição e Geometria propostas para o Canal de Entrada do STP.

4. REFERENCIAIS TEÓRICOS UTILIZADOS

Banys, R. & Leonardson, K.R. Fishways at dams. In: Davis, C.V.; Sorensen, K.E. (eds.) 1969. Handbook of Applied Hydraulics. Ed. McGraw-Hill, Section 23.

Clay C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. 2nd edition. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

FAO/DVWK. 2002. Fish passes: design, dimensions and monitoring. Rome: FAO

LACTEC CEHPAR, 2012. Projeto HL-174. Estudos em Modelo Hidráulico Reduzido da Usina Hidrelétrica Belo Monte, Sítio Pimental. Relatório N° 04, Estudo do Escoamento a Jusante da Casa de força Complementar para fins de Definição do Sistema de Transposição de Peixes. Curitiba, Novembro de 2012.

Larinier, M. 2002. Location of fishways. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 364(suppl.): 39-53.

LEME, 2012. UHE Belo Monte, Especificação Técnica - Sistema para Transposição de Peixes, Ensaio em Modelo Reduzido Tridimensional Geral. Belo Horizonte, Setembro de 2012.

TÍTULO DO DOCUMENTO