

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE REAL DE NADO DE PEIXES DENTRO DO TUNEL HIDRODINÂMICO

*Edna M. F. Viana¹; Mila C. Sampaio²; Déborah Luisa Lucas da Silva³; Hersília de A. e Santos⁴;
Marco Tulio C. Faria⁵; Carlos B. Martinez⁶*

Resumo – A determinação da capacidade natatória de peixes é realizada, em muitos casos, em tuneis hidrodinâmicos. No entanto, nos levantamentos foi observado que os peixes de fundo nadam na região próxima da parede do túnel e os peixes de coluna no centro da tubulação. Como a velocidade correlacionada com a capacidade natatória é a média do túnel, buscou-se levantar a real velocidade dos peixes dentro do túnel. Para isso, foi mapeado o perfil de velocidades em três seções da tubulação, na entrada, no centro e no final, utilizando um anemômetro laser Doppler (ALD). Nesse levantamento observou-se que a diferença entre a velocidade média e a real é desprezível, chegando a diferenças máximas de 6%. Sendo assim, a velocidade média dentro da tubulação pode ser considerada a velocidade de nado do peixe.

Palavras-Chave – capacidade natatória, túnel hidrodinâmico.

DETERMINATION OF REAL SPEED SWIMMING FISH INSIDE TUNEL HYDRODYNAMIC

Abstract – Determining the ability of fish swimming is accomplished, in many cases, in hydrodynamic tunnels. However, the survey noted that background region fish swim near the tunnel wall and the column fish, in the center of the pipe. As the speed correlated with swimming performance is the average of the tunnel, sought to raise the real speed of the fish inside the tunnel. For this, we mapped the velocity profile in three sections of pipe, at the entrance, in the center and at the end, using a laser Doppler anemometer (LDA). In this survey, it was observed that the difference between the actual and average speed is negligible, reaching maximum differences of 6%. Thus, the average speed inside the pipe can be considered the swimming speed of the fish

Keywords – fish swimming, hydrodynamic tunnels.

1. INTRODUÇÃO

A construção de mecanismos de transposição de peixes (MTP) tem buscado minimizar os impactos provocados pelos barramentos dos rios, tornando possível a passagem dos peixes pelo sistema. Estudos de verificação do comportamento hidráulico têm sido feitos para correlacionar com a capacidade de nado e a distância percorrida pela espécie foco do estudo (RODRIGUEZ, et. al., 2006). No entanto, para essa correlação pode ser realizada somente se a capacidade natatória do peixe for levantada. Isso tem sido realizado pelo mundo há muitos séculos, antes de 1660, o

¹ Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: ednamfv@ufmg.br).

² Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: milacsampaio@hotmail.com).

³ Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: dehhluisa@gmail.com).

⁴ Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: hersilias@yahoo.com.br).

⁵ Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: mtcdf@uol.com.br).

⁶ Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil, (e-mail: Martinez@cce.ufmg.br).

primeiro registro que se tem sobre um estudo da física natatória dos peixes pertence à Aristóteles. Nos seus trabalhos (História dos animais, Movimentos dos animais e Progressão dos animais) o filósofo discutiu o número de nadadeiras que peixes possuíam, comparando os propulsores dos animais aquáticos com os órgãos locomotores apresentados pelas aves e pelo homem. Além disso, Aristóteles estudou de forma aprofundada as brânquias, descrevendo as de diferentes peixes e explicando seu mecanismo de funcionamento (Alexander, 1983).

Em 1948 Fry e Hart, segundo Beamish (1978), criaram um sistema de confinamento do peixe circular, que consistia em rotacionar o canal a uma velocidade igual à desenvolvida pelo peixe, permanecendo esse último estático em relação a um referencial externo ao canal. Esse sistema foi posteriormente adaptado e empregado por muitos outros pesquisadores, entre eles Baindridge e Brown (1958).

Com o passar dos anos o levantamento de capacidade natatória de peixes de clima temperado, como o salmão, buscou correlacionar a temperatura da água, o comprimento e a permanência a essa velocidade (Beach, 1984). No Brasil, somente algumas espécies foram estudadas por Vicentini (2005) e Santos (2007).

Todos estes estudos foram realizados em túneis hidrodinâmicos. No entanto, sabe-se que dentro de um tubo tem-se um perfil de velocidades que pode variar consideravelmente, decorrente dos efeitos viscosos. A realização de testes de capacidade natatória de peixes, em túneis hidrodinâmicos, mostrou que peixes de fundo nadam próximos das paredes do tubo e peixes de coluna nadam na região central da tubulação.

Diante disso, esse trabalho buscou o levantamento do perfil de velocidades dentro do tubo em três posições, no início, no meio e no final da seção de testes. Para esse levantamento foi utilizado um anemômetro laser Doppler (ALD) que por ser um sistema não invasivo pode caracterizar o perfil sem causar interferências no mesmo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes foi utilizado um aparato de teste de capacidade natatória composto por uma seção de testes em acrílico (Figura 1), onde o peixe fica confinado, que possui 1,6 m de comprimento e 237 mm de diâmetro interno. Essa seção possui paredes transparentes (acrílico) para a visualização do comportamento do peixe durante os testes. Como o peixe pode permanecer no início do túnel, no meio ou no final do mesmo, essas foram as seções definidas para o levantamento do perfil de velocidades. As seções de levantamento do perfil de velocidade são a 5 cm da entrada do tubo, no centro de tubo e a cinco cm do final do tubo de acrílico.

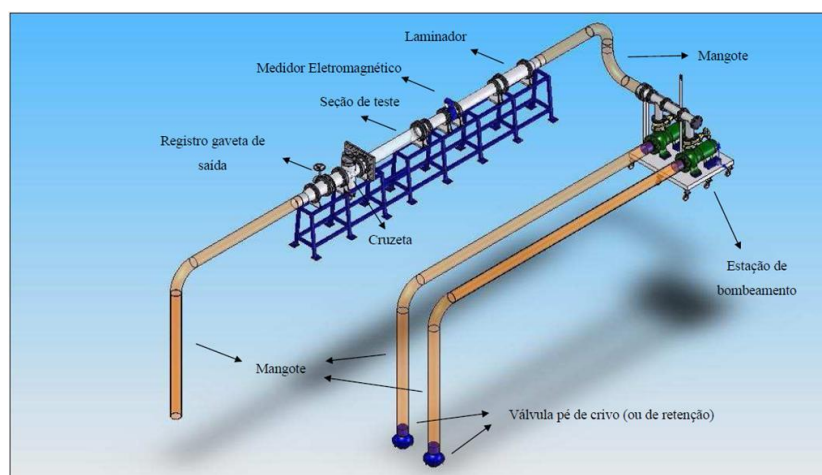


Figura 1 – Esquema do aparato de testes de capacidade natatória

O levantamento utilizando um Anemômetro Laser Doppler (ALD) (Figura 2), foi possível devido à parede transparente do túnel. Esse equipamento foi definido por ser não invasivo e com isso possibilitar o levantamento do perfil sem interferência do medidor. O ALD mede a velocidades de partículas inseridas no escoamento e promove uma saída da velocidade média e do desvio padrão dessa amostra. Como o tubo possui diâmetro médio de 237 mm, optou-se pela distância entre os pontos de medidas a cada 17 mm. Somente o primeiro ponto de medição foi colocado a 8 mm da parede. Assim, foram definidas o levantamento de 11 a 12 medidas a cada seção de testes.

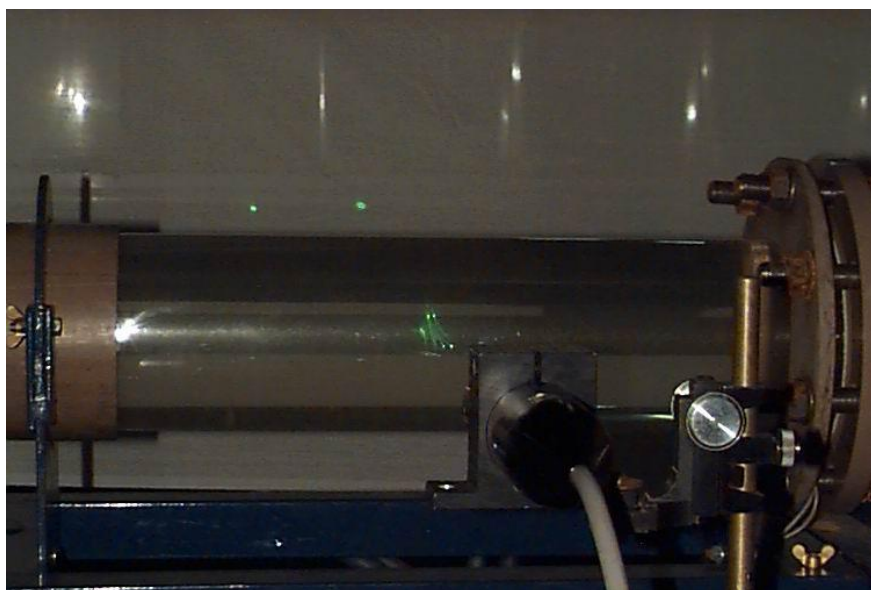


Figura 2 – Anemômetro Laser Doper (ALD) utilizado no experimento

Não foi possível realizar medidas em alguns pontos no trecho final do tubo devido a interferências nos feixes do laser incidente para a formação do volume de controle, onde as medidas são realizadas. No entanto, como os peixes permanecem no fundo (mandi) ou na região central (dourado), e essa região foi mapeada de maneira precisa optou-se por realizar o desenho do perfil demonstrando essa variação dentro do sistema.

Para o levantamento das vazões optou-se pela correlação com a capacidade de nado de duas espécies diferentes. Como efeito comparativo optou-se pela análise de uma espécie de couro que é o mandi amarelo (*Pimelodus maculatus*) que tem preferência de nadar próximo ao fundo ou parede, e uma espécie de coluna que é o dourado (*Salminus franciscanus*) que nada na região central do escoamento. Como a velocidade de nado do peixe é relacionada com seu comprimento total, definiu-se a vazão de teste correlacionando as velocidades médias de peixes de porte de 20, 25 e 30 cm de comprimento total, que correspondem a dimensões próximas as de primeira maturação das espécies alvos. Assim as vazões de testes são apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – vazões de testes correlacionadas com a velocidade de nado do mandi amarelo

| D_{tubo} (m) | A_{tubo} (m ²) | L peixe (m) | V peixe (m/s) | Q (m ³ /s) | Q (m ³ /h) |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,237 | 0,044 | 0,2 | 1,2 | 0,053 | 190,571 |
| 0,237 | 0,044 | 0,25 | 1,39 | 0,061 | 220,745 |
| 0,237 | 0,044 | 0,3 | 1,57 | 0,069 | 249,331 |

Tabela 2 – vazões de testes correlacionadas com a velocidade de nado do dourado

| D _{tubo} (m) | A _{tubo} (m ²) | L peixe (m) | V peixe (m/s) | Q (m ³ /s) | Q (m ³ /h) |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,237 | 0,044 | 0,2 | 1,2 | 0,053 | 190,571 |
| 0,237 | 0,044 | 0,25 | 1,25 | 0,055 | 198,512 |
| 0,237 | 0,044 | 0,3 | 1,31 | 0,058 | 208,040 |

Como se observa nas tabelas 1 e 2 as velocidades para o mandi e o dourado com 20 cm possui valor igual e, diante disso, foram feitos levantamento de perfil de velocidades para cinco vazões diferentes.

3. RESULTADOS

Após os levantamentos das velocidades nos pontos definidos dentro da tubulação, esse resultado foi processado e construiu-se tabelas com os resultados médios para cada vazão. Essa tabela foi utilizada para a construção do perfil de velocidades, representados nas figuras abaixo, onde L representa a distância do túnel hidrodinâmico, em mm, e V a velocidade do escoamento dentro do túnel hidrodinâmico, em m/s. A figura 3 mostra os perfis de velocidades para a vazão de 190,57 m³/h nas três seções de levantamento.

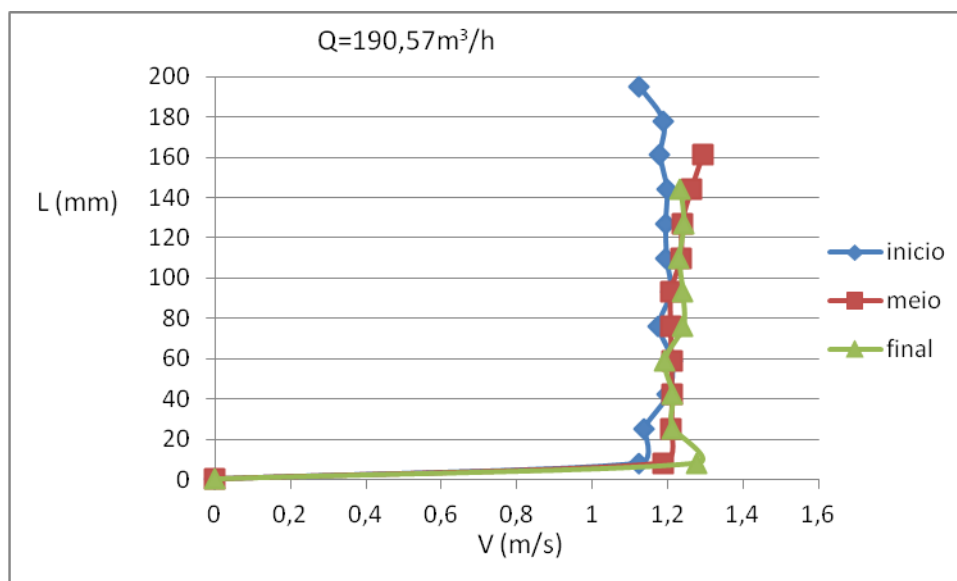


Figura 3 – Perfis de velocidades a 5 mm do início, no meio e a 5 mm do final do tubo para a vazão de 190,57 m³/h

Como pode ser observado pela figura 1, os perfis de velocidades têm comportamento bem próximo, sendo que a velocidade próxima da parede possui valor aproximado ao valor na região central que, nas três seções, possui magnitude em torno de 1,2 m/s. Este valor corresponde a velocidade levantada como crítica para as duas espécies de peixes com 20 cm de comprimento total, não sendo notadas diferenças. Em seguida foi realizado o levantamento do perfil de velocidade, nas três regiões, para a vazão de 198,51 m³/h. A figura 4 mostra o resultado desse mapeamento.

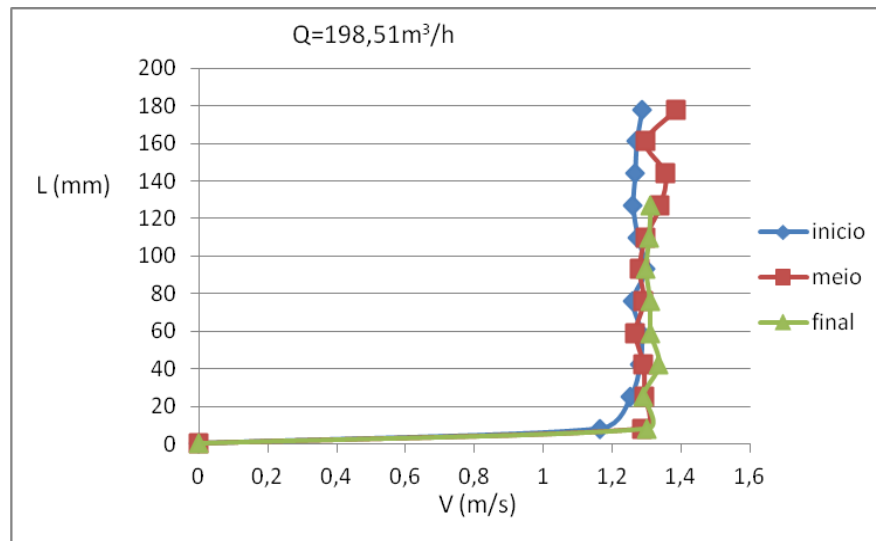


Figura 4 – Perfis de velocidades a 5 mm do início, no meio e a 5 mm do final do tubo para a vazão de 198,51 m³/h

Observa-se pela figura 2 que o comportamento é semelhante do perfil de velocidades nas três regiões, com magnitude em torno de 1,3 m/s. O perfil do início, do túnel hidrodinâmico, tem um comportamento mais parabólico, e os perfis do meio e final possuem um aspecto mais linear. O valor observado na maior parte dos perfis supera um pouco o valor de velocidade crítica considerado no levantamento de capacidade natatória do dourado de 25 cm, que seria de 1,25 m/s. No entanto, a diferença é de aproximadamente 4% sendo considerada aceitável.

A vazão de 208,04 m³/h foi a próxima a ser levantados os perfis (figura 5). Ela corresponde a velocidade média de 1,31 m/s referente à velocidade crítica do dourado com 30 cm.

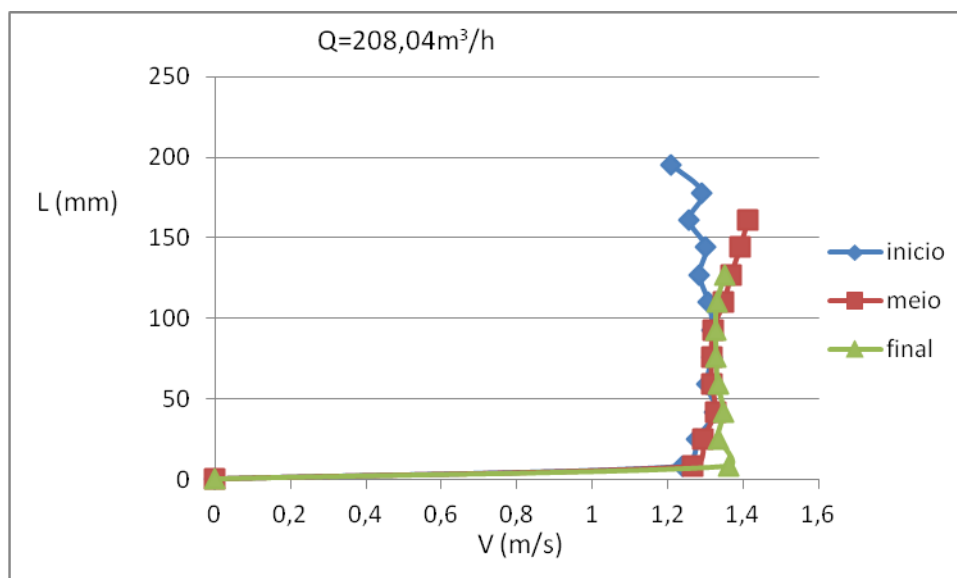


Figura 5 – Perfis de velocidades a 5 mm do início, no meio e a 5 mm do final do tubo para a vazão de 208,04 m³/h

Pela figura 3 observa-se que o comportamento dos perfis, no início e meio do tubo, possuem similaridade no trecho inicial de 100 mm. Em seguida há uma da permanência da magnitude da velocidade no início e um aumento do valor no meio. No trecho final do tubo o perfil possui uma velocidade inicial maior e permanece com valor em torno de 1,35 m/s no restante do trecho. Assim,

pode-se observar que a velocidade observada, nos três perfis, fica em torno de 1,3 m/s, com pontos variando entre 1,2 m/s e 1,38 m/s. Esse valor de 1,3 m/s fica muito próximo do levantado na capacidade natatória do mandi que corresponde a 1,31 m/s.

O mandi com 25 cm possui velocidade crítica de 1,39 m/s, que corresponde para esse túnel hidrodinâmico à vazão de 220,75 m³/h. Assim, essa foi a quinta vazão de testes que são mostrados na figura 6.

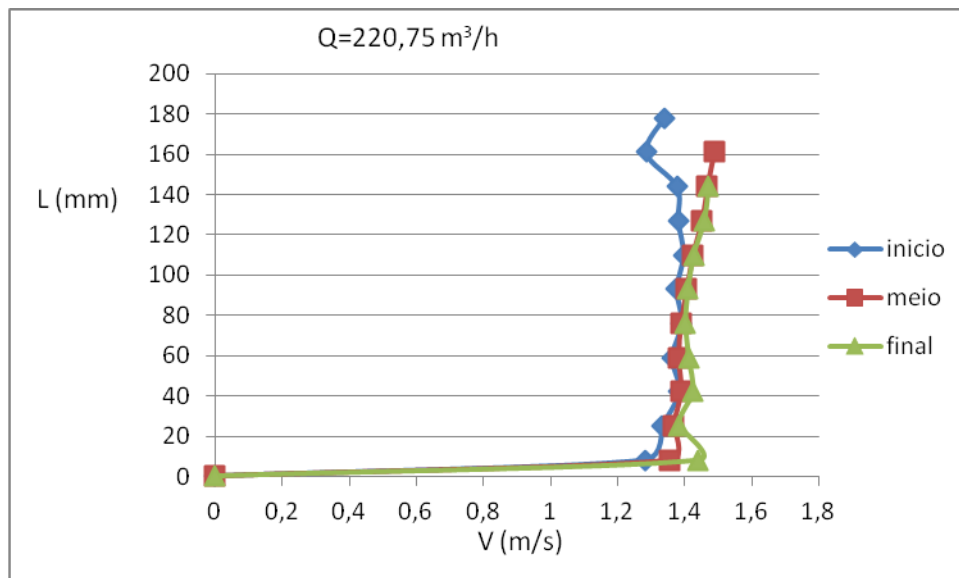


Figura 6 – Perfis de velocidades a 5 mm do início, no meio e a 5 mm do final do tubo para a vazão de 220,75 m³/h

Como pode ser observado pela figura 4, o comportamento do escoamento para essa vazão é muito similar ao observado na figura 3. No entanto, as velocidades estão compreendidas entre 1,3 m/s e 1,45 m/s. A maior parte dos pontos está em torno de 1,38 m/s, sendo muito próximo do valor da velocidade crítica do mandi amarelo com 25 cm de comprimento, que corresponde a 1,39 m/s.

A última vazão a serem levantados os perfis foi a de 249,33 m³/h, que corresponde à velocidade média, dentro do túnel hidrodinâmico, de 1,57 m/s, valor referente à capacidade natatória do mandi amarelo de 30 cm. Os resultados podem ser observados na figura 7.

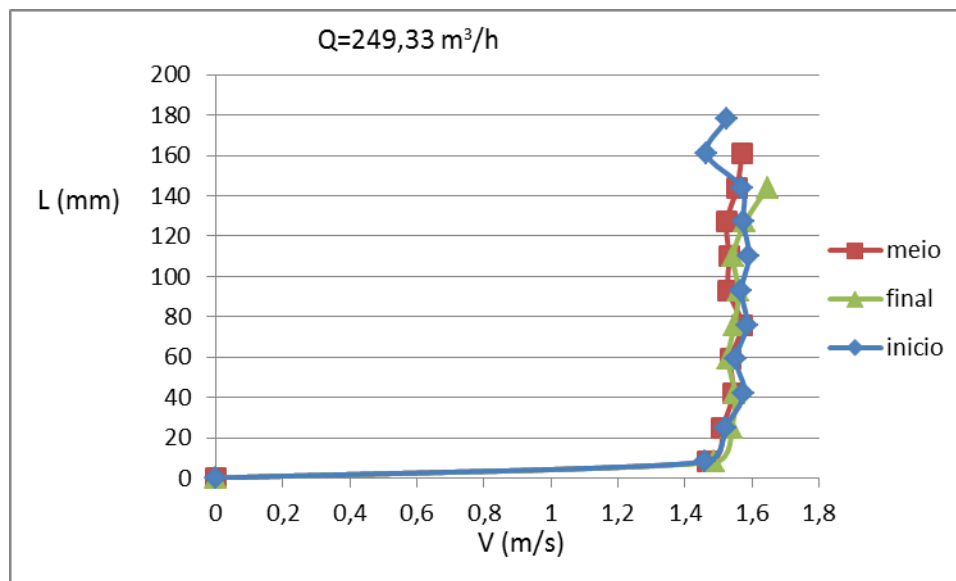


Figura 7 – Perfis de velocidades a 5 mm do início, no meio e a 5 mm do final do tubo para a vazão de 249,33 m³/h

Para essa vazão observa-se que o perfil de velocidades no início do túnel possui valores em torno de 1,35 m/s, e no meio e final do túnel o valor corresponde a 1,55 m/s. Todos esses valores são inferiores ao estipulado como velocidade média para essa vazão. A diferença na parte inicial é significativa, pois, está em aproximadamente 14%, no entanto, no meio e final esse valor é bem próximo. Pelos testes observou-se que os mandis têm preferência de se manter no início do tubo e na parte próxima da parede. Esse resultado pode explicar o motivo dessa preferência.

4. CONCLUSÕES

Pelos testes realizados observou-se que a velocidade média para o levantamento da capacidade natatória dos peixes possui correlação muito próxima. No entanto, para vazões mais elevadas, o perfil de velocidades no início do túnel possui uma defasagem com o meio e o final do túnel. Desta maneira, o fato do mandi se manter na região de início do túnel é explicado, pois, nessa região ele permanece desenvolvendo menor esforço. Outro fator observado durante os testes foi o fato de quando o indivíduo era levado para o meio ou final do túnel pela corrente, buscava retornar para essa região inicial mais rapidamente. Quando chegavam à região inicial permaneciam com comportamento mais tranquilo.

Esse trabalho mostra que se deve buscar o levantamento do perfil de velocidades dentro do túnel hidrodinâmico, principalmente para vazões maiores. Além disso, testes com vazões superiores devem ser realizadas para comprovar esse fenômeno.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à ANEEL, à CEMIG, à ELETROBRAS-FURNAS, a FAPEMIG ao CNPq e a VALE pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. McN. The history of fish mechanics In: WEBB, P. W. ; WEIHS, D. *Fish biomechanics*, 1. ed. Nova York: Praeger Publishers, 1983, cap. 1, p. 1 – 35.
- BEACH, M. H., *Fish pass design-criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food - Directorate of Fisheries Research, v.78, p.1-46, 1984.
- BEAMISH, F. W. H. *Swimming capacity*. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology* , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.
- RODRIGUEZ, T. T.; AGUDO, J. P.; MOSQUERA, L. P. & GONZÁLEZ, E. P. 2006. *Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities*. *Ecological Engineering* 27, p. 37-48.
- SANTOS, H.A., *A influencia da capacidade natatória de peixes neotropicais no projeto hidráulico de Mecanismo de Transposição*, 2007. 201 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- VICENTINI, G. C., *Levantamento da Velocidade Prolongada de Peixes – Um Estudo de Caso com o Mandi (*Pimelodus Maculatus*)*, 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.