

Medições de vazões realizadas na bacia do rio Madeira nos meses de fevereiro e março de 2018

Este documento apresenta as medições realizadas pela CPRM, Residência de Porto Velho - REPO, nos meses de fevereiro e março de 2018, nas estações de Porto Velho (15400000) e Abunã (15320002), ambas no rio Madeira, com objetivo de monitorar os eventos de cheias na região, bem como avaliar eventuais mudanças de tendência da relação cota-vazão.

Para este trabalho foi definida uma equipe, formada por um Pesquisador em Geociências, um Técnico em Geociências e um Auxiliar de Campo. A operação de campo foi realizada em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA), dentro do projeto da Rede Hidrometeorológica Nacional (RNH).

A CPRM realizou medições semanalmente, a fim de atender a demanda da Sala de Crise, montada especialmente para acompanhar a evolução da cheia do rio Madeira. Para as medições foram utilizados dois equipamentos de grande tecnologia, ambos utilizando o método Acústico Doppler (RiverRay 600kHz e o ADCP Rio Grande 300kHz), associados ao Ecobatímetro e GPS de precisão. Por possuírem frequências diferentes, uma análise comparativa da performance destes aparelhos foi realizada. Estas análises foram feitas utilizando o Winriver II e Qrev, *softwares* específicos para tal finalidade. O rio Madeira apresenta algumas peculiaridades, e este tipo de estudo permite interpretar melhor os resultados obtidos, de modo a torná-los mais representativos para o fim a que se destina. Ao mesmo tempo as medições permitem, também, a atualização da curva-chave, importante ferramenta para o acompanhamento de possíveis alterações na dinâmica fluvial do rio.

Salienta-se que a estação Abunã (15320002) sofre efeito de remanso da usina de JIRAU, devendo-se atentar para análises mais minuciosas a respeito do deferimento da alteração da curva-chave.

Por fim, trabalhar na bacia do rio Madeira apresenta-se como um grande desafio, por ser uma bacia de grande dimensão, com rios advindos da Cordilheira dos Andes, apresentando grande declividade e arraste de sedimentos, sendo que grande parte da bacia apresenta carência de informações hidrológicas por não estar dentro do território brasileiro. É um rio que apresenta características especiais, tais como grande descarga de sólidos em suspensão, fundo móvel e efeito da operação da usina na declividade da linha d'água, o que resulta em grandes desafios na obtenção e interpretação dos dados.

Porto Velho, 06 de abril de 2018.

Equipe executora:

Joana Angélica Cavalcanti Pinheiro (Pesquisadora em Geociências)
Francisco de Assis dos Reis Barbosa (Pesquisador em Geociências)
Herculys Pessoa e Castro (Pesquisador em Geociências)
Iago Silva Barbosa (Técnico em Geociências)
Edcarlos Bezerra (Auxiliar de campo)

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MADEIRA

Figura 1 - Estações operadas pela CPRM na bacia do rio Madeira a montante do município de Porto Velho.

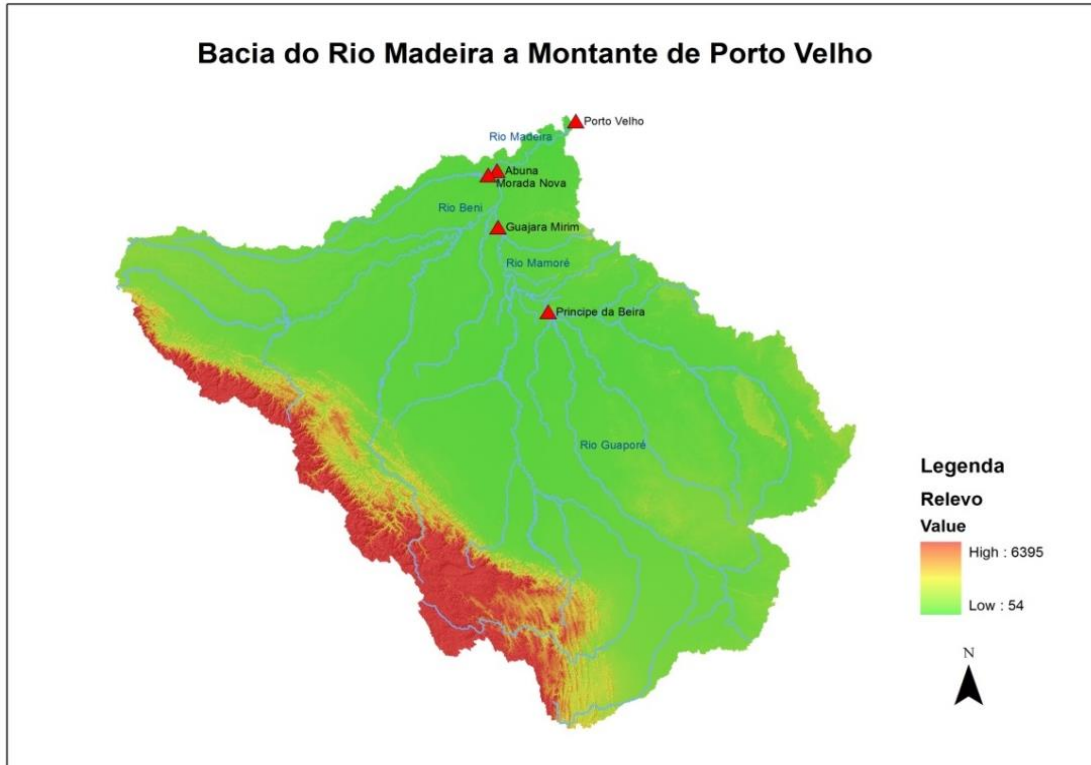
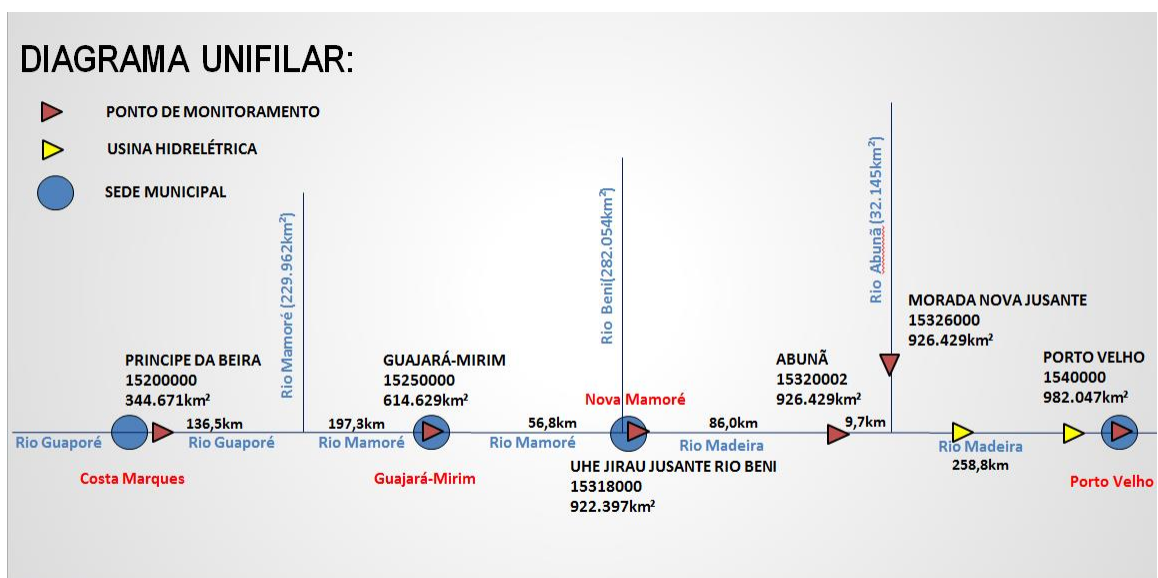


Figura 2 – Diagrama unifilar da bacia do rio Madeira.



MEDIÇÃO DE VAZÃO – RIO MADEIRA (Acompanhamento de Cheias)

Durante todo o mês de março/2018 a equipe de Hidrologia da REPO realizou medições de vazão em estações pertencentes a bacia hidrográfica do rio Madeira, a saber: Estação Porto Velho (15400000); Abunã (15320002) e Guajará-Mirim (15250000). A estação UHE JIRAU – Jusante do rio Beni - JRB (15318000), apesar de não pertencer a Rede Hidrometeorológica Nacional, passou a ser medida pela Equipe da CPRM-REPO, devido a sua localização estratégica. A equipe de campo era formada por um Técnico em Geociências e um Auxiliar de Campo.

Tabela 1 – Estações pertencentes a bacia do rio Madeira onde ocorreram as medições de vazão.

Código	Nome	Rio	AD (km ²)	Lat	Log	Responsável	Operador
15318000	UHE JIRAU JUSANTE RIO BENI	Madeira	834000	-10.3569	-65.3614	ESBR	ESBR
15320002	ABUNÃ	Madeira	921000	-9.7053	-65.3667	ANA	CPRM
15400000	PORTO VELHO	Madeira	976000	-8.7483	-63.9169	ANA	CPRM
15250000	GUAJARÁ-MIRIM *	Mamoré	609000	-10.7925	-653477	ANA	CPRM

* Curva-chave elaborada pela REPO aprovada pela ANA

O objetivo principal da realização de medições de vazão no rio Madeira (medições extras) foi atender a demanda da Sala de Crise, montada especialmente para acompanhar a evolução da cheia no citado rio.

Importante destacar que as medições apresentaram resultados satisfatórios. Considerando as condições hidráulicas, bem como a descarga de sedimentos em suspensão, característica do rio Madeira, era de se esperar algumas dificuldades. Para este trabalho foram utilizados dois tipos de medidores acústicos, ADCP 300kHz e RiverRay 600kHz, ambos acoplados ao GPS de precisão e ao Ecobatímetro.

CURVAS-CHAVES DAS ESTAÇÕES MONITORADAS

Tabela 2 - Curvas-chaves das estações de Porto Velho (15400000) e Abunã (15320002).

Nome	Tipo de curva	Equação			Intervalo de cotas (cm)		Validade
		a	h0	n	Min.	Max.	
Porto Velho	Equação	219.2479	-2.58	1.732	150	1393	15/03/2015 - 28/03/2018
	Equação	1454.6674	5.56	1.395	1393	1977	15/03/2015 - 28/03/2018
Abunã	Equação	155.0886	3.28	1.82	700	2000	01/01/2014 - 31/12/2018
	Equação	435.534	9.97	1.775	2000	2600	01/01/2014 - 31/12/2018
Guajara-Mirim	Equação	827.8822	4.41	1.563	525	1426	01/01/2016 - 31/12/2018

ESCOLHA DA REFERÊNCIA DE FUNDO

ESTAÇÃO DE PORTO VELHO (15400000)

Figura 3 - Modo BT DEPHT.

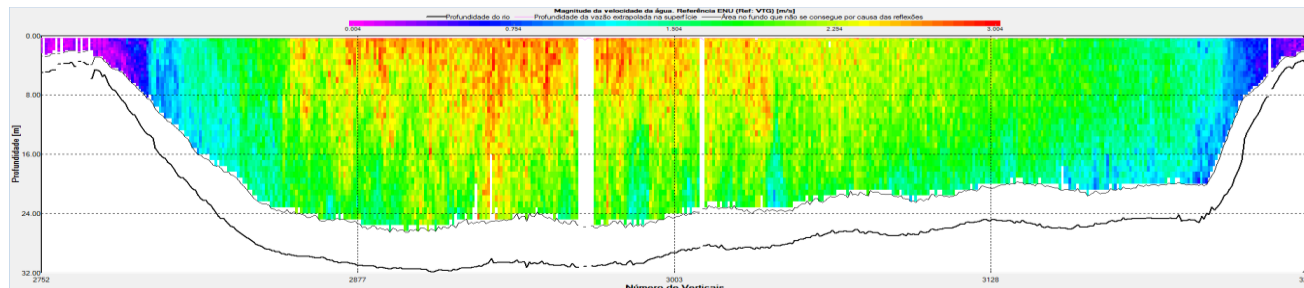


Figura 4 - Modo DEPHT SOUNDER.

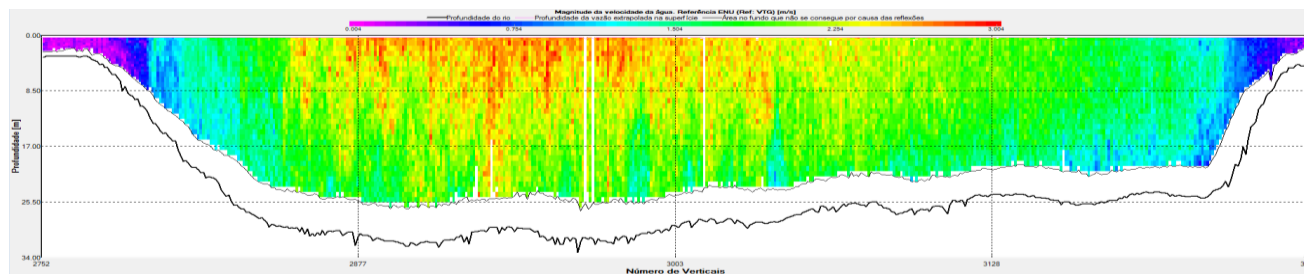


Figura 5 – Modo VERTICAL BEAM.

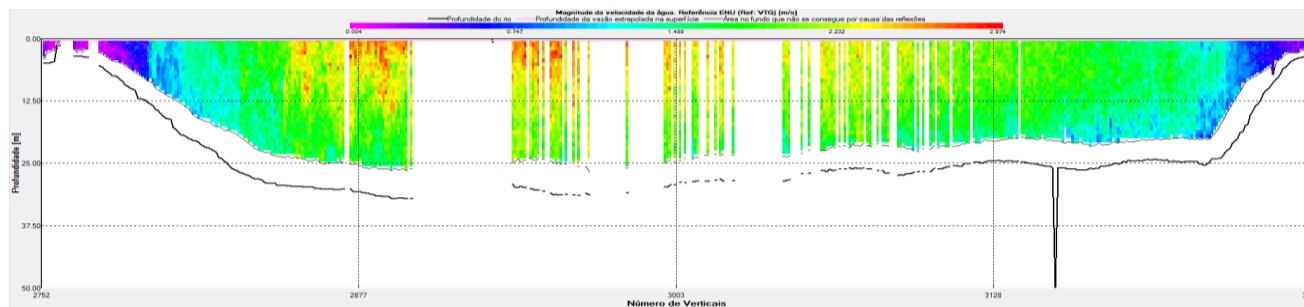


Figura 6 – Modo COMPOSITE (VB).

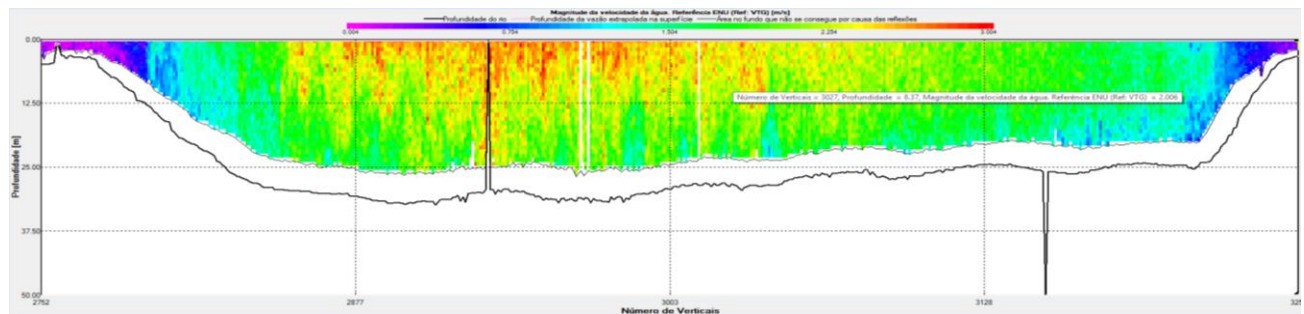
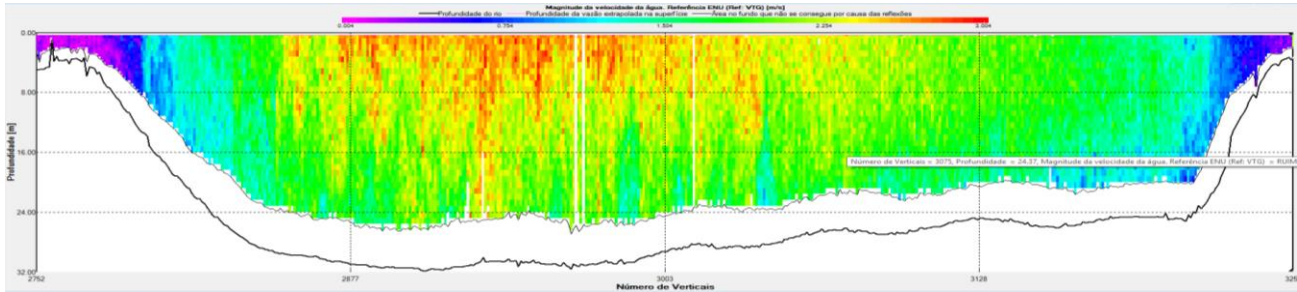


Figura 7 – Modo COMPOSITE (BT).



De forma geral, as melhores referências de fundo foram Depth Sounder e Composite (BT) (Figuras 4 e 7, respectivamente). Para fins de padronização, foi escolhido o Composite (BT) para as análises por apresentar opções de determinação do fundo quando o Ecobatímetro apresentava falhas. Entretanto, no caso específico da utilização do ADCP 300 kHz, foi utilizado o Depth Sounder por apresentar valores mais coerentes de área (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Discriminação da vazão com referência de fundo Depth Sounder com dados obtidos pelo ADCP 300 kHz.

Data	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
			Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
23/03/2018	16,35	BT	39.969	3.525	32.548	3.678	47	172	841	22.291	1,75
26/03/2018	16,51	BT	40.485	3.552	32.919	3.890	50	74	847	22.519	1,78
Diferença			516	27	371	213	3	-98	6	228	0,03

Data	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
			Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
23/03/2018	16,35	VTG	40.158	3.543	32.705	3.689	46	175	844	22.358	1,83
26/03/2018	16,51	VTG	40.422	3.549	32.878	3.882	42	71	849	22.551	1,85
Diferença			264	6	173	193	-4	-104	5	193	0,02

Referência de fundo: Depth Sounder; Equipamento: ADCP 300kHz + Ecobatímetro.

Tabela 4 – Discriminação da vazão com referência de fundo Composite (BT) com dados obtidos pelo ADCP 300 kHz.

Data	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
			Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
23/03/2018	16,35	BT	40.064	3.522	32.553	3.781	54	155	841	22.369	1,79
26/03/2018	16,51	BT	40.275	3.555	32.933	3.673	55	59	846	22.380	1,80
Diferença			211	33	380	-108	1	-96	5	12	0,01

Data	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
			Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
23/03/2018	16,35	VTG	40.252	3.539	32.710	3.791	53	158	844	22.436	1,79
26/03/2018	16,51	VTG	40.208	3.550	32.883	3.669	48	58	848	22.422	1,79
Diferença			-44	11	173	-122	-5	-100	4	-13	0,00

Referência de fundo: Composite (BT); Equipamento: ADCP 300 + Ecobatímetro.

Pela análise da Tabela 5, nota-se que o equipamento River Ray e o ADCP medem aproximadamente a mesma vazão (em torno de 82%). O que diferem significativamente é nas estimativas. O River Ray estima mais a vazão de fundo, enquanto o ADCP estima mais a superfície, assim como as vazões das margens. A diferença entre BT e VTG em relação às proporções medidas e estimadas da vazão é mínima.

Tabela 5 – Vazão medida na estação de Porto Velho, nos meses de fevereiro e março de 2018, com referência **BT**.

Data	Equip. Utilizado	Ref. Fundo	Cota (m)	Ref.	Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
05/02/2018	River Ray 600	Composite (BT)	14,69	BT ©	32.939	1.173	26.560	5.183	12	10	841	20.649	1,60
05/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,13	BT ©	37.411	433	30.651	6.297	25	6	839	21.738	1,72
07/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,10	BT ©	37.016	433	30.210	6.352	16	6	834	21.711	1,71
12/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	15,84	BT ©	35.545	406	29.623	5.407	86	23	843	21.731	1,64
14/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,00	BT ©	36.692	423	30.425	5.796	40	7	839	21.650	1,69
19/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,01	BT ©	36.523	419	30.428	5.660	9	6	842	21.766	1,68
22/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,27	BT ©	37.254	424	31.030	5.769	18	13	842	21.983	1,69
23/03/2018	ADCP 300 + ECO	Depth Sounder	16,35	BT ©	39.969	3.525	32.548	3.678	47	172	841	22.291	1,79
26/03/2018	ADCP 300 + ECO	Depth Sounder	16,58	BT ©	40.485	3.552	32.910	3.890	50	76	847	22.519	1,80
26/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,58	BT ©	39.168	449	32.486	6.225	3	5	842	22.106	1,77
% do total (River Ray)						1,42	82,52	15,96	0,07	0,03			
% do total (ADCP)						8,8	81,36	9,41	0,12	0,31			

Tabela 6 – Vazão medida na estação de Porto Velho, nos meses de fevereiro e março de 2018, com referência **VTG**.

Data	Equip. Utilizado	Ref. Fundo	Cota (m)	Ref.	Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
05/02/2018	River Ray 600	Composite (BT)	14,69	VTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,13	VTG	37.393,00	432	30.662,00	6.272,00	22,1	4,99	840,4	21.791,70	1,72
07/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,1	VTG	36.925,00	431	30.166,00	6.308,00	14,5	5,22	838,8	21.838,80	1,69
12/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	15,84	VTG	35.854,00	409	29.901,00	5.440,00	83,1	20,5	846,2	21.817,70	1,64
14/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16	VTG	37.059,00	426	30.723,00	5.864,00	39	7,27	839,7	21.697,20	1,71
19/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,01	VTG	36.674,00	420	30.563,00	5.676,00	8,68	6,92	843,5	21.774,80	1,68
22/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,27	VTG	37.561,00	427	31.304,00	5.803,00	15,7	11,5	843,3	22.034,90	1,7
23/03/2018	ADCP 300 + ECO	Depth Sounder	16,35	VTG	40.158,00	3.543,00	32.705,00	3.689,00	46,3	175	843,6	22.358,00	1,8
26/03/2018	ADCP 300 + ECO	Depth Sounder	16,58	VTG	40.422,00	3.549,00	32.878,00	3.882,00	42,1	71,2	848,8	22.551,30	1,79
26/03/2018	River Ray 600	Composite (BT)	16,58	VTG	39.289,00	451	32.634,00	6.197,00	2,23	5	843,1	22.090,30	1,78
% do total (River Ray)						1,15	82,82	15,94	0,07	0,02			
% do total (ADCP)						8,8	81,39	9,4	0,11	0,31			

COMPARAÇÃO GGA, VTG E BT COM CORREÇÃO

Tabela 7 – Comparação dos dados obtidos de vazão, de acordo com a referência, na curva-chave atual.

Data	Cota (m)	Vazão Medida (m³/s)			Vazão Calculada (m³/s)	BT com correção			VTG			GGA			Equipamento
		BT com correção	VTG	GGA		Desvio (%)	Desvio Abs. (%)	Desvio Méd. (%)	Desvio (%)	Desvio Abs. (%)	Desvio Méd. (%)	Desvio (%)	Desvio Abs. (%)	Desvio Méd. (%)	
26/03/2018	16,51	39.168	39.284	39.319	41.363	5,60	5,60	4,33	5,29	5,29	4,02	5,20	5,20	3,98	River Ray 600
26/03/2018	16,51	40.275	40.208	40.200	41.363	2,70	2,70		2,87	2,87		2,89	2,89		ADCP 300
19/03/2018	16,01	36.523	36.674	36.643	38.409	5,16	5,16		4,73	4,73		4,82	4,82		River Ray 600
23/03/2018	16,35	40.064	40.252	40.260	40.163	0,25	0,25		-0,22	0,22		-0,24	0,24		ADCP 300
22/03/2018	16,27	37.254	37.561	37.562	39.748	6,70	6,70		5,82	5,82		5,82	5,82		River Ray 600
14/03/2018	16,00	36.692	37.058	36.973	38.358	4,54	4,54		3,51	3,51		3,74	3,74		River Ray 600
12/03/2018	15,84	35.545	35.853	35.904	37.540	5,61	5,61		4,71	4,71		4,56	4,56		River Ray 600
07/03/2018	16,10	37.016	36.924	37.003	38.871	5,01	5,01		5,27	5,27		5,05	5,05		River Ray 600
05/03/2018	16,13	37.411	37.392	37.483	39.025	4,32	4,32		4,37	4,37		4,12	4,12		River Ray 600
05/02/2018	14,69	32.939			31.814	-3,41	3,41		-3,41	3,41		-3,41	3,41		River Ray 600

Figura 8 – Curva-chave da estação de Porto Velho com todas as medições.

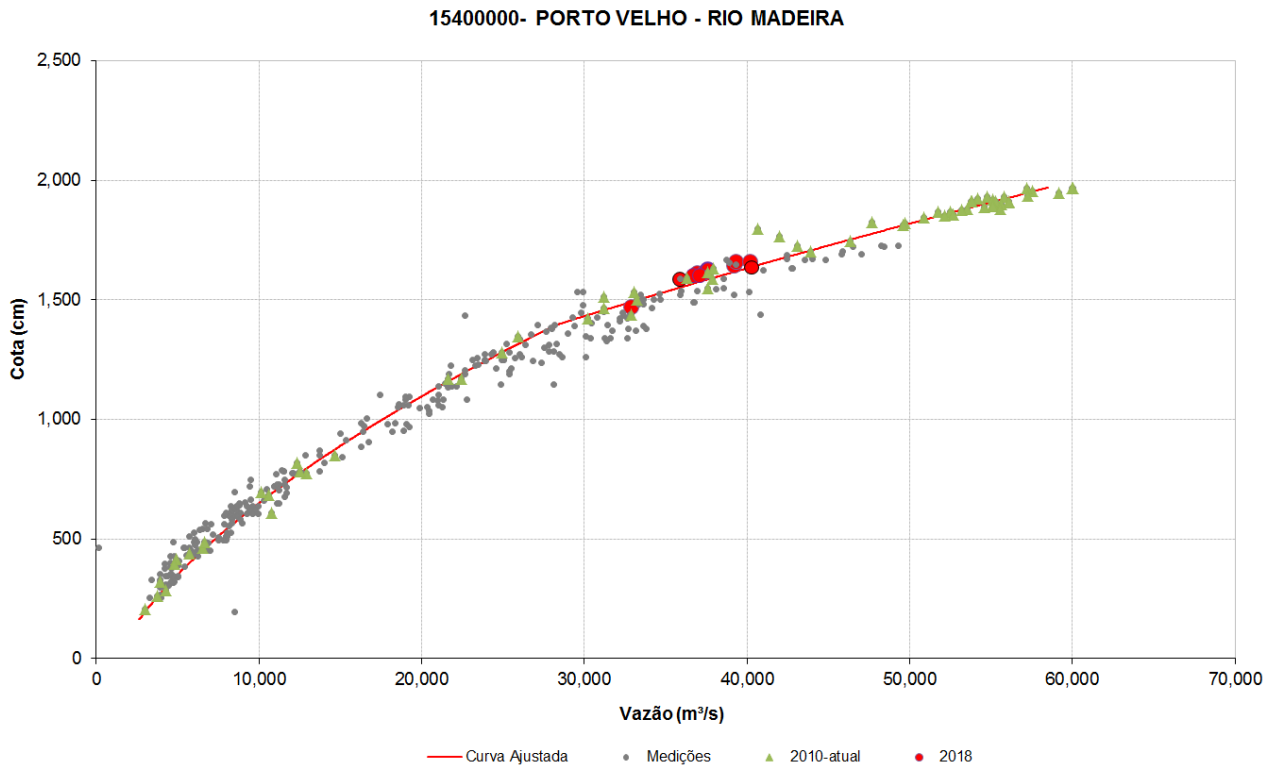


Figura 9 – Curva-chave da estação de Porto Velho com todas as medições, com destaque para os dados obtidos em 2018.

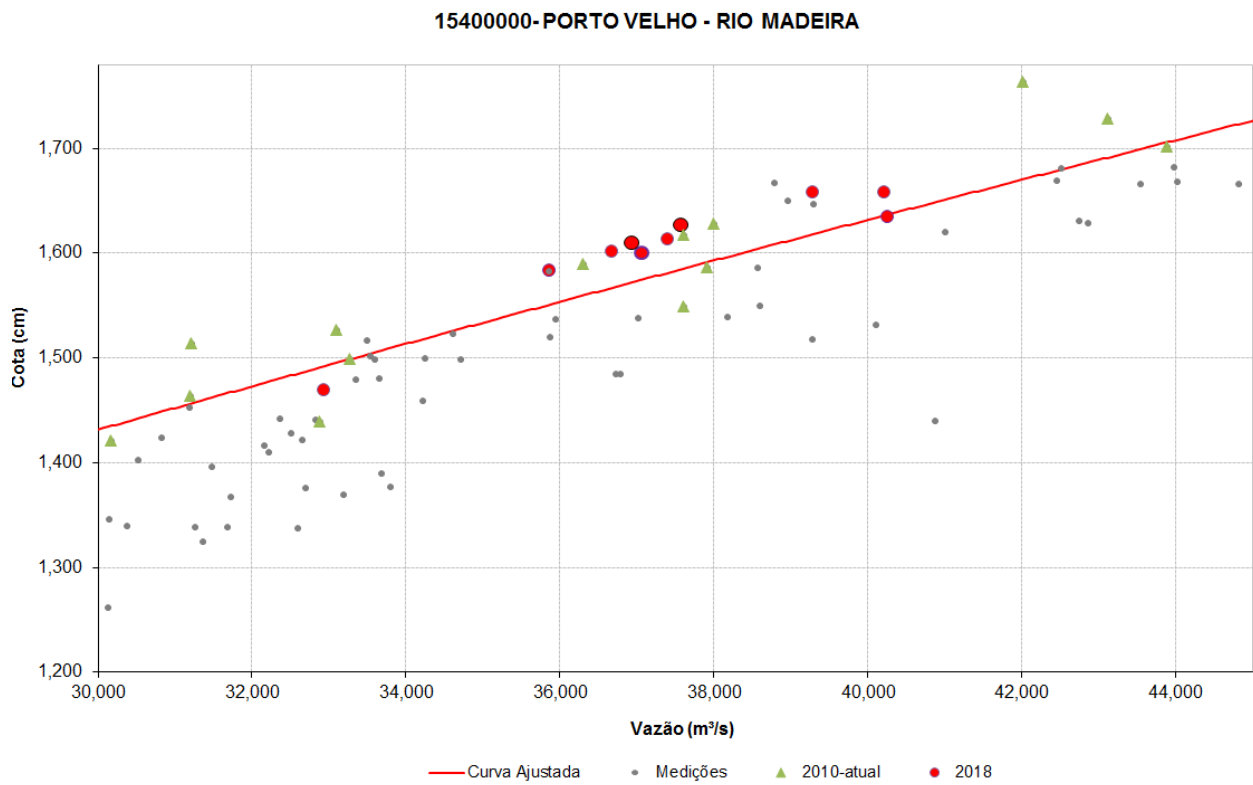
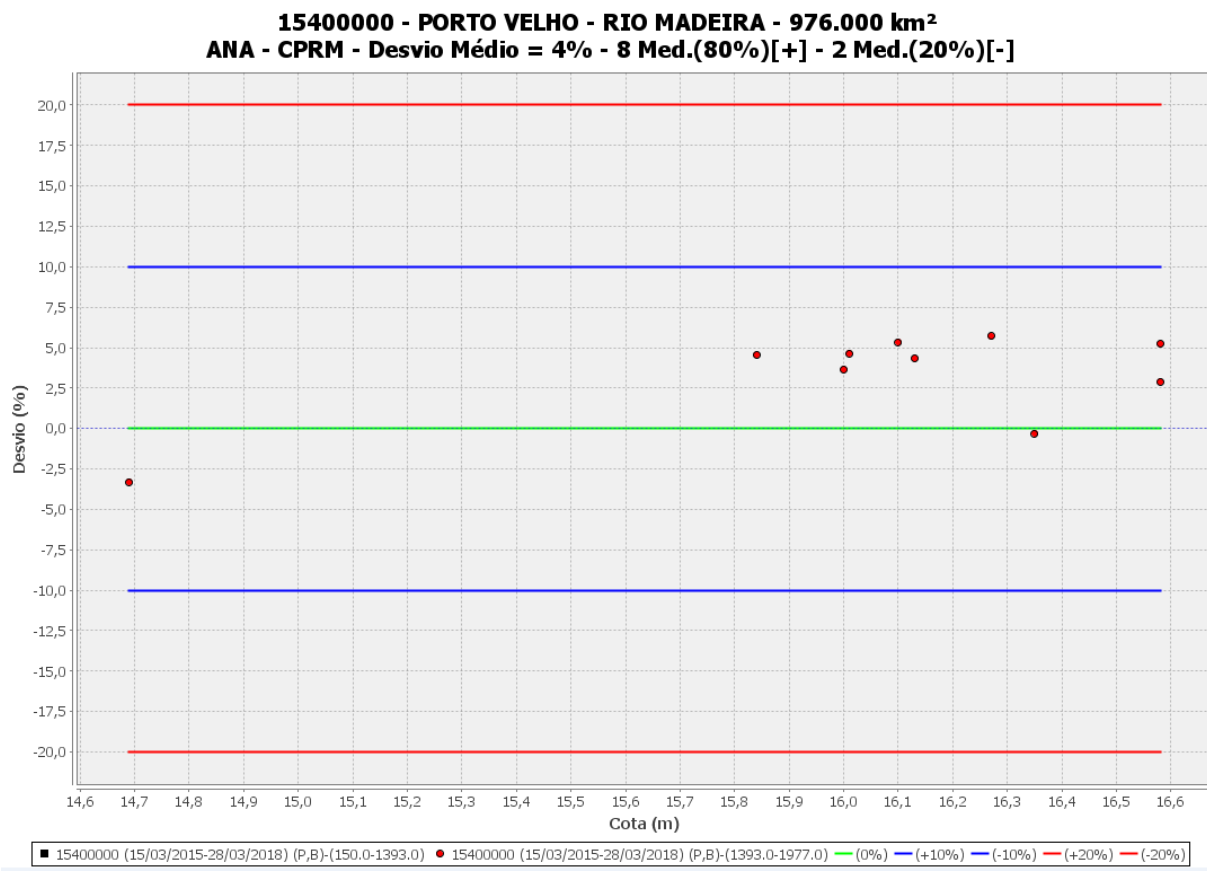


Figura 10 – Desvio em relação à cota dos dados obtidos nos meses de fevereiro e março de 2018, de acordo com a curva-chave atual, gerado pelo SIADH.



As medições realizadas em 2018 apresentaram erro absoluto médio inferior a 5%, embora se perceba uma predominância de desvios positivos, ou seja, acima da curva (Figuras 8 a 10).

ESCOLHA DA REFERÊNCIA DE FUNDO

ESTAÇÃO DE ABUNÃ (15320002)

As medições da estação de Abunã apresentaram perdas de verticais e do fundo, mesmo acoplando-se o Ecobatímetro e utilizando o ADCP 300 kHz. Inclusive, ressalta-se a dificuldade de obtenção do fundo, pois o Ecobatímetro apresentou muitas falhas, sendo muitas delas contínuas. Portanto, a escolha da referência de fundo foi realizada por medição, a fim de obter a melhor referência para cada uma delas. As Figura 11 e 12 ressaltam as falhas que ocorreram em algumas medições e a influência da escolha da referência de fundo.

Figura 11 – Modo Composite (BT).

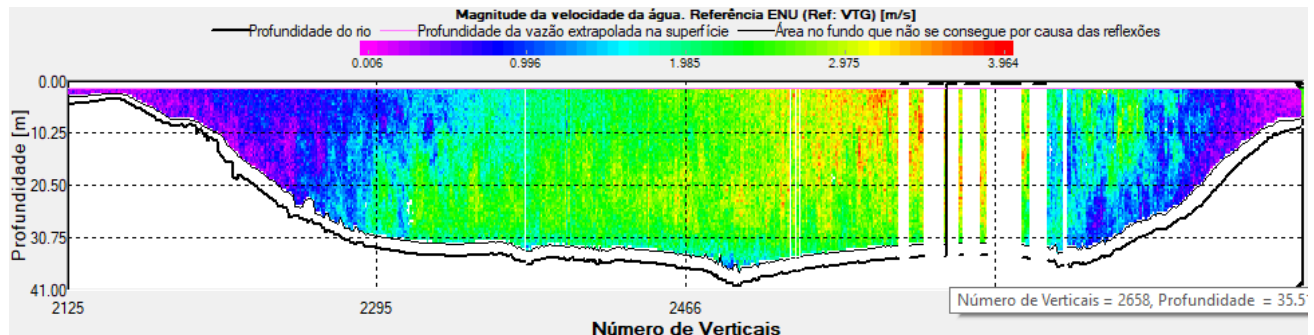
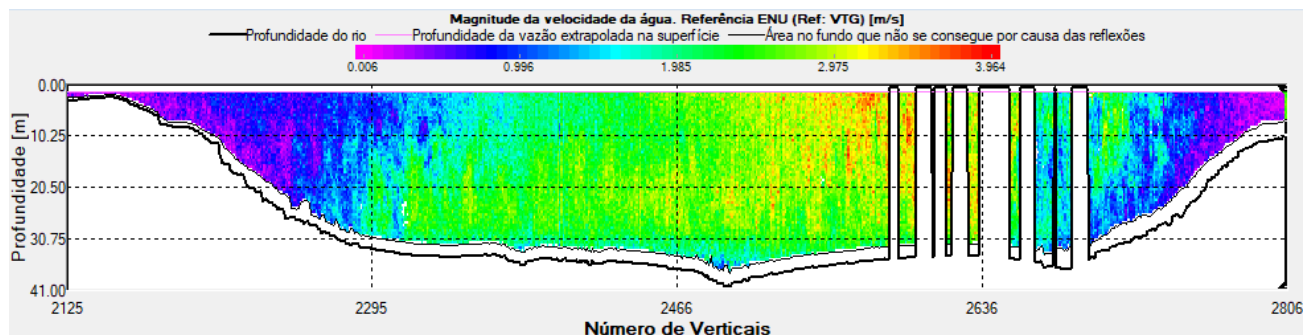


Figura 12 – Modo DEPTH SOUNDER.



O percentual medido pelos equipamentos foi semelhante, em torno de 84% (Tabela 8 e 9), independente da referência (VTG/GGA). O BT não apresentou boas medições nessa estação, independente do equipamento.

Os desvios em relação a curva-chave atual apresentaram erro absoluto médio inferior a 3% (Tabela 10), entretanto, 80% das medições ficaram abaixo da curva (Figura 13, 14 e 15).

Tabela 8 – Dados de vazão da estação de Abunã, no mês de março de 2018, com referência VTG.

Data	Equip. Utilizado	Ref. Fundo	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
					Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura (m)	Área Total (m ²)	Veloc. Fluxo (m/s)
09/03/2018	River Ray 600	Composite (VB)	21,01	VTG	30.797	330	25.699	4.754	-6	19	617	17.162	1,79
13/03/2018	River Ray 600	Composite (VB)	21,46	VTG	33.215	424	27.851	4.901	12	27	618	17.695	1,88
16/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,46	VTG	34.608	1.444	31.078	2.063	17	6	611	18.114	1,91
21/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,69	VTG	36.137	2.634	30.094	3.308	50	52	616	18.325	1,97
28/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,98	VTG	37.358	2.611	31.455	3.248	9	36	619	18.860	1,98
% do total (River Ray)						1,18	83,66	15,08	0,01	0,07			
% do total (ADCP)						6,19	85,68	7,97	0,07	0,09			

Tabela 9 – Dados de vazão da estação de Abunã, nos meses de fevereiro e março de 2018, com referência GGA.

Data	Equip. Utilizado	Ref. Fundo	Cota (m)	Ref.	Valores médios								
					Q Total	Q Superfície	Q Medida	Q Fundo	Q Esquerda	Q Direita	Largura	Área Total	Veloc. Fluxo
09/03/2018	River Ray 600	Composite (VB)	21,01	GGA	30.827	331	25.729	4.752	-5	20	617	17.182	1,79
13/03/2018	River Ray 600	Composite (VB)	21,46	GGA	33.215	424	27.851	4.901	12	27	618	17.695	1,88
16/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,46	GGA	34.368	1.434	30.854	2.057	18	6	609	18.040	1,91
21/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,69	GGA	36.166	2.634	30.120	3.309	50	53	616	18.336	1,97
28/03/2018	ADCP 300 + ECO	Composite (BT)	21,98	GGA	37.357	2.610	31.453	3.248	9	36	619	18.848	1,98
% do total (River Ray)						1,18	83,66	15,07	0,01	0,07			
% do total (ADCP)						6,19	85,67	7,98	0,07	0,09			

Tabela 10 - Comparação dos dados obtidos de vazão, de acordo com a referência, na curva-chave atual.

Data	Cota (cm)	Vazão Medida (m ³ /s)			Vazão Calculada (m ³ /s)	VTG			GGA			Equipamento
		BT com correção	VTG	GGA		Desvio (%)	Desvio Abs. (%)	Desvio Méd. (%)	Desvio (%)	Desvio Abs. (%)	Desvio Méd. (%)	
13/03/2018	21,46	-	33.563	33.215	33.196	-1,09	1,09	-0,06	0,06	River Ray 600		
16/03/2018	21,46	-	34.608	34.368	33.196	-4,08	4,08	-3,41	3,41	ADCP 300 + ECO		
21/03/2018	21,69	-	36.137	36.166	34.385	-4,85	4,85	-4,92	4,92	ADCP 300 + ECO		
28/03/2018	21,98	-	37.358	37.357	35.910	-3,88	3,88	-3,87	3,87	ADCP 300 + ECO		

Figura 13 – Curva-chave da estação de Abunã com todas as medições.

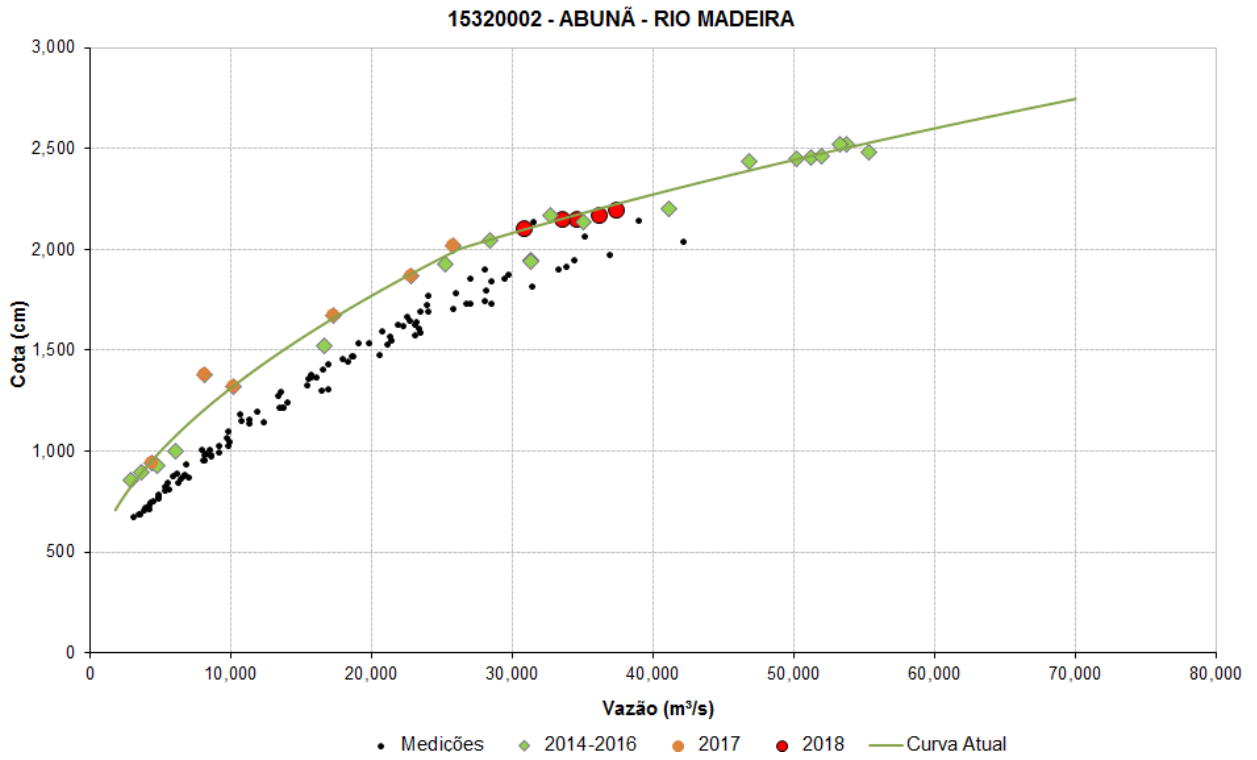


Figura 14 – Curva-chave da estação de Abunã com todas as medições, com destaque para os dados obtidos em 2018.

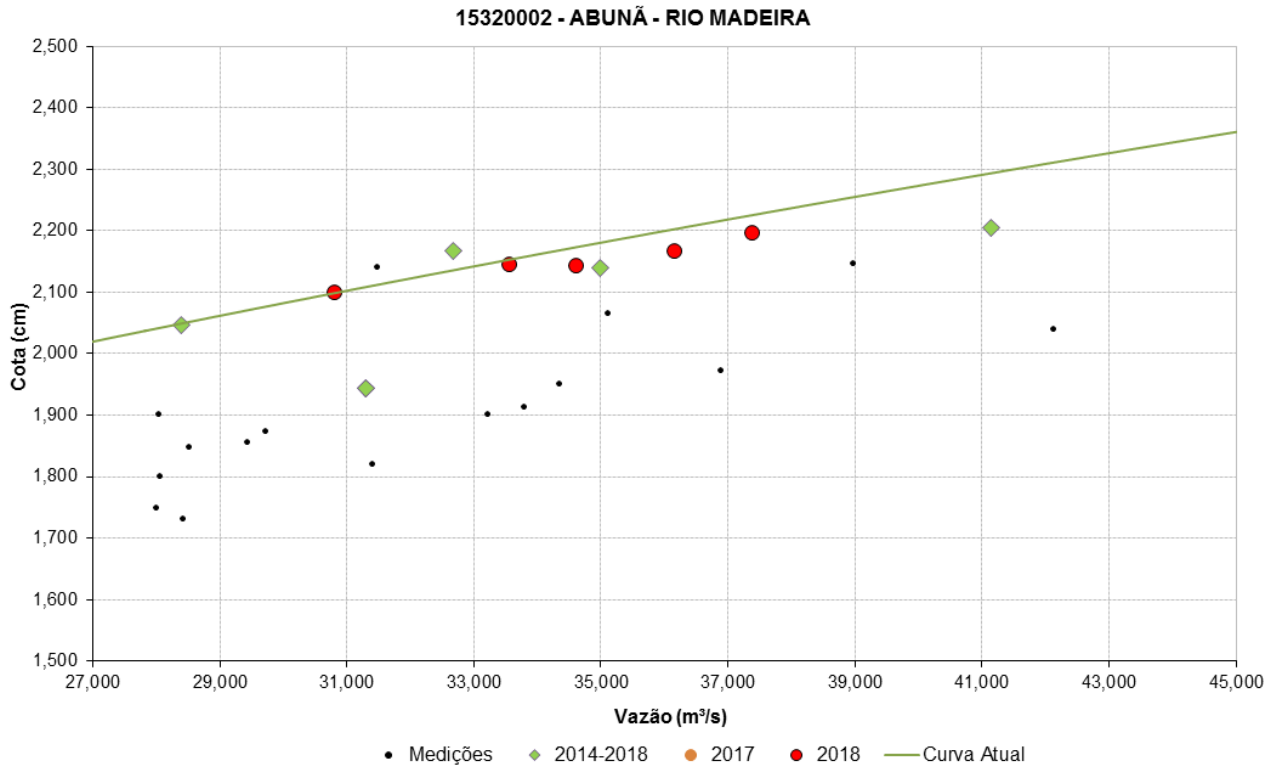
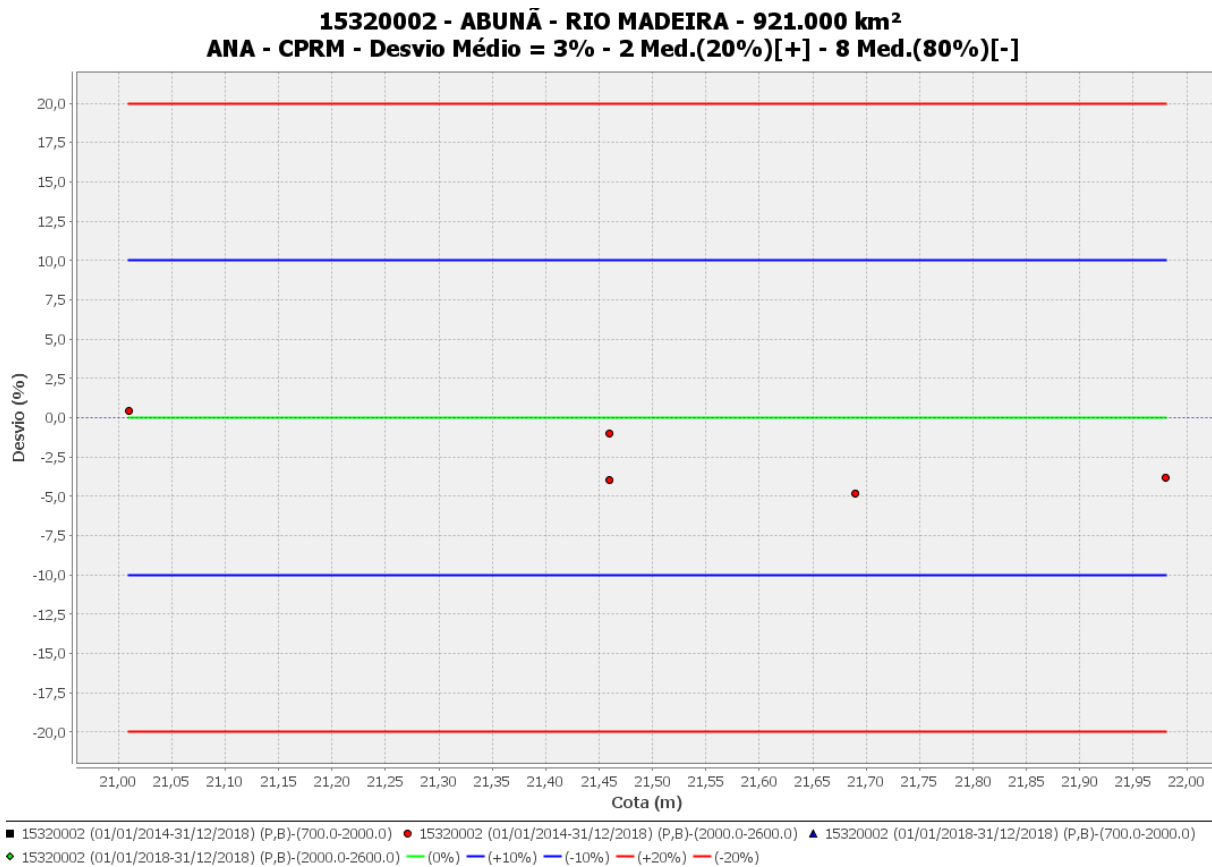


Figura 15 – Desvio em relação à cota dos dados obtidos no mês de março de 2018, de acordo com a curva-chave atual, gerado pelo SIADH.



ESTAÇÃO UHE JIRAU JUSANTE RIO BENI (15318000)

Estação: JRB - Jusante Rio Beni

Dia: 21/03/2018

Horário: 09:30 às 10:30

Cota: 17,24m

Na seção de medição

Vazão: BT com correção fundo móvel: SEM LOOP m³/s

VTG: 35947,387 m³/s

GGA: 35890,146 m³/s

Utilizado suporte lateral, ADCP Rio Grande 300 kHz, com GPS AtlasLink e ecobatímetro Ecotrack CV-100

Barco Construserv com motor 60HP

ESTAÇÃO DE GUAJARÁ MIRIM (15250000)

Na estação de Guajará Mirim, foram realizadas duas campanhas de medição:

1) Estação: 15250000 - Guajará - Mirim

Dia: 08/03/2018

Horário: 14:00 às 16:00

Cota: 11,02m

Na seção de medição

Vazão: BT com correção fundo móvel: 15206,711 m³/s

VTG: 15359,648 m³/s

GGA: 15392,727 m³/s

Utilizado suporte flutuante, modelo trimarã, com GPS AtlasLink e ecobatímetro Ecotrack CV-1000

Barco 6,50m com motor 40HP

2) Estação: 15250000 - Guajará - Mirim

Dia: 15/03/2018

Horário: 16:00 às 17:00

Cota: 11,05m

Na seção de medição

Vazão: BT com correção fundo móvel: 15793,030 m³/s*

VTG: 15229,740 m³/s

GGA: 15884,898 m³/s

Utilizado suporte lateral, ADCP Rio Grande 600 kHz, com GPS AtlasLink e ecobatímetro Ecotrack CV-100

Barco 6,50m com motor 40HP. Rio muito turbulento

De acordo com a curva-chave atual, o erro absoluto médio foi de 2,46%.

Figura 16 – Curva-chave da estação de Guajará Mirim com todas as medições.

