



FUNDAÇÃO  
**renova**

**PARECER TÉCNICO SOBRE O PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DE  
COLETA DOS DADOS E ANÁLISES DE CONDUTIVIDADE NO ÂMBITO  
DO PMQQS – VALIDADOR 3 (V3)**

**OUTUBRO/2020**



**PARECER TÉCNICO SOBRE O  
PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DE  
COLETA DOS DADOS E ANÁLISES DE  
CONDUTIVIDADE NO ÂMBITO DO  
PMQQS – VALIDADOR 3 (V3)**

**Belo Horizonte / 2020**

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. VISITA TÉCNICA AO LABORATÓRIO .....</b>	<b>10</b>
<b>4. TESTES EM CAMPO .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Resultados.....</b>	<b>12</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>16</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Este Parecer Técnico tem como objetivo apresentar ao Grupo Técnico de Acompanhamento do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos (GTA-PMQQS) os resultados do processo de investigação da coleta e análise de dados do parâmetro condutividade elétrica na matriz água superficial, por meio do monitoramento manual (medição *in situ* e em laboratório) do PMQQS.

Os resultados de condutividade elétrica vêm sendo apresentados nos relatórios de QA/QC e, após serem submetidos ao critério do Validador 03 (V3), apresentam grande percentual de invalidações. Este validador observa a convergência dos dados mensurados *in situ* e no laboratório, estabelecendo uma faixa aceitável de variação entre as medições, sendo definido pela equação:  $0,85 \leq (CE \text{ in situ}/CE \text{ laboratório}) \leq 1,15$ . Caso a equação não seja atendida, a condutividade elétrica de laboratório é descartada.

O alto percentual de invalidações da condutividade elétrica chamou a atenção do GTA-PMQQS, que afirmou por meio das Notas Técnicas nº30, nº 60, nº 68 e nº71 que estavam ocorrendo problemas nos procedimentos utilizados para mensurar este parâmetro, solicitando informações acerca de qual etapa estavam ocorrendo as falhas nos procedimentos e as ações corretivas adotadas pela Fundação.

Diante disto, com o objetivo de investigar quais fatores poderiam contribuir para o alto percentual de invalidações do V3 na água, foram realizadas avaliações divididas nas seguintes etapas: (i) análise dos dados gerais do banco de dados<sup>1</sup>; (ii) vistoria técnica ao laboratório para verificação dos procedimentos internos e análises deste parâmetro; e (iii) testes em campo e em laboratório, com medições com sonda multiparamétrica e condutímetro de bancada.

## 2. ANÁLISE DOS DADOS

Em atenção à NT nº 60 – GTA-PMQQS, a Fundação Renova emitiu em 10 de agosto de 2020 o ofício FR.2020.1156 que aborda, dentre outros, a análise dos dados de condutividade elétrica. Embora já apresentada no referido ofício, as análises serão novamente aqui

---

<sup>1</sup> A análise se concentrou nos dados da zona costeira e estuarina, uma vez que são os ambientes com maiores resultados invalidados.

apresentadas com atualização, no intuito de consolidar todas as etapas de investigação em um único documento.

A partir do relatório mensal QA/QC de janeiro/2020, a avaliação dos resultados invalidados de condutividade elétrica (Validador 3) da água foi dividida por equipe de campo, na tentativa de se identificar possíveis problemas ocorridos nas coletas e permitindo a visualização dos dados por diferenciação dos ambientes aquáticos. As coletas são realizadas por 4 equipes diferentes, sendo estas: Rios (trechos 1 e 2), Rios (trechos 3 e 4), Zona costeira, estuários e lagoas (as duas últimas são feitas pela mesma equipe). Considerando essa divisão por equipes, um levantamento dos dados consolidados desde o início do monitoramento, em agosto/2017 até as coletas ocorridas em setembro/2020 apontou que, a maior parte das invalidações, ocorreu em ambientes com água salgada/salobra (**Tabela 1**<sup>2</sup>).

**Tabela 1-** Resultados do Validador 3 do período de agosto/2017 a setembro/2020.

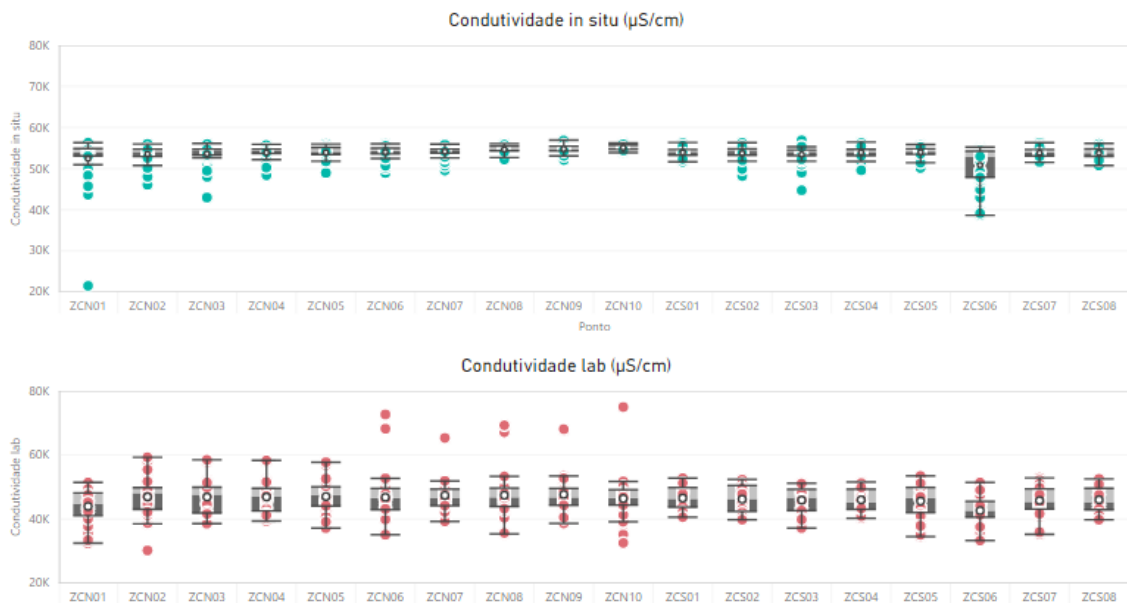
<b>Equipe</b>	<b>Quantidade de dados</b>	<b>Resultados invalidados</b>	<b>Percentual de resultados invalidados</b>
Rios trechos 1 e 2	938	414	44,14%
Rios trechos 3 e 4	516	231	44,77%
Lagoas	924	284	30,74%
Estuários	763	405	53,08%
Zona costeira e estuários	1221	719	58,89%
<b>TOTAL</b>	<b>4362</b>	<b>2053</b>	<b>47,07%</b>

Por essa divisão é possível identificar que os percentuais de invalidação foram elevados em todos os ambientes, mas especialmente nos ambientes estuarinos e na zona costeira (Tabela 1). Partindo da premissa que os equipamentos utilizados para medição em campo são rotineiramente verificados e testados pelas equipes e, que em laboratório as calibrações são realizadas periodicamente, na tentativa de encontrar subsídios para explicar este elevado percentual de invalidação nos ambientes com água salgada/salobra, foram elaborados gráficos de análise dos dados (distribuição, frequência e correlação) separados entre estuários e zona

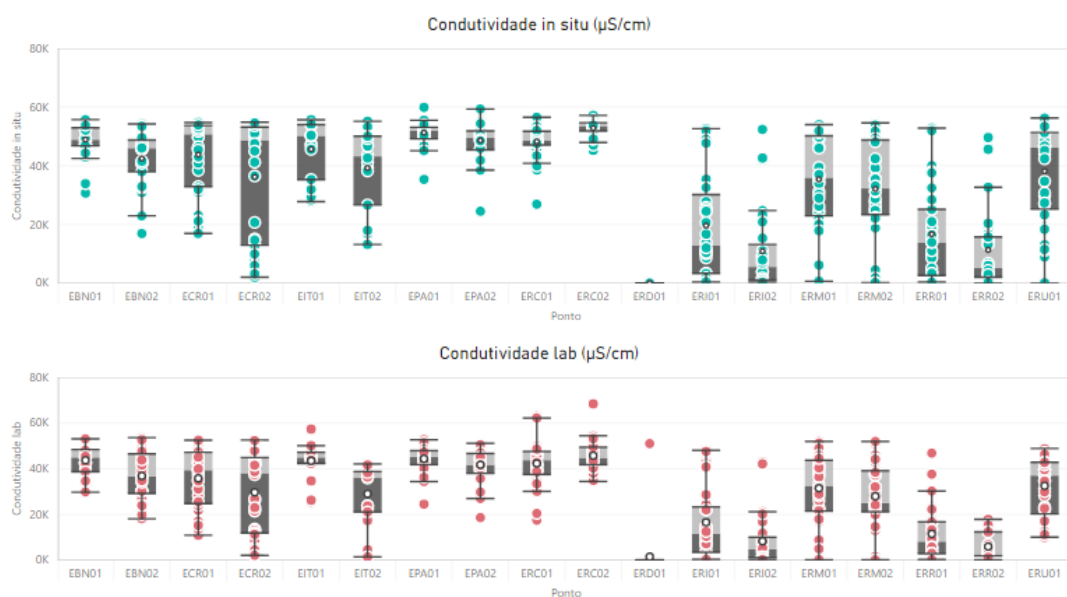
<sup>2</sup> Esta tabela foi atualizada em relação à apresentada no ofício FR.2020.1156, pois embora não fique clara a aplicabilidade para o V3, a NT nº 71 – GTA-PMQQS orienta que os cálculos de invalidação deveriam ser revistos “[...] observando que os dados totais utilizados/validados são os de laboratório, e os in situ auxiliam na verificação [...]”, portanto a quantidade de dados apresentada na tabela são referentes às análises de laboratório.

costeira, avaliando-se separadamente os resultados *in situ* e de laboratório para o parâmetro condutividade elétrica.

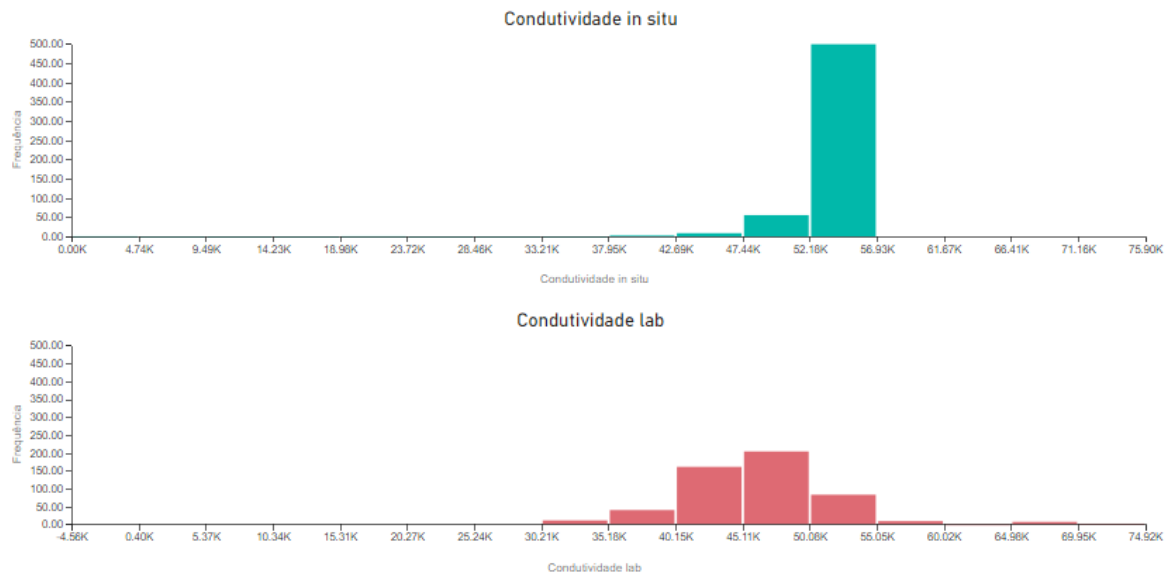
Nesta primeira avaliação não foi observado um padrão temporal nos dados invalidados de condutividade elétrica desde o início do monitoramento. As análises gráficas estão na Figura 1 e Figura 2 para distribuição, Figura 3 e Figura 4 para frequência e Figura 5 e Figura 6 para correlação. O período considerado para esta análise compreende do mês de janeiro/19 (início da utilização da sonda ProDSS da YSI em campo) até setembro/20.



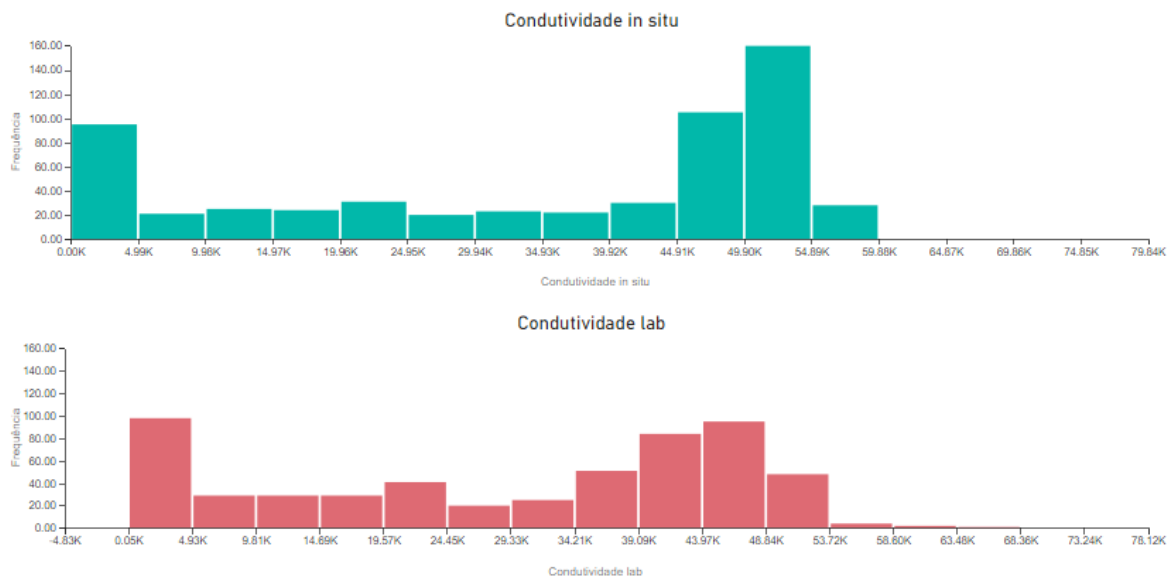
**Figura 1:** Gráfico de distribuição da condutividade *in situ* (verde) e de laboratório (vermelho) nos pontos da zona costeira no período de jan/19 a set/20.



**Figura 2:** Gráfico de distribuição da condutividade *in situ* (verde) e de laboratório (vermelho) nos pontos estuarinos no período de jan/19 a set/20.



**Figura 3:** Gráfico de frequência da condutividade *in situ* (verde) e de laboratório (vermelho) nos pontos da zona costeira no período de jan/19 a set/20.



**Figura 4:** Gráfico de frequência da condutividade *in situ* (verde) e de laboratório (vermelho) nos pontos estuarinos no período de jan/19 a set/20.

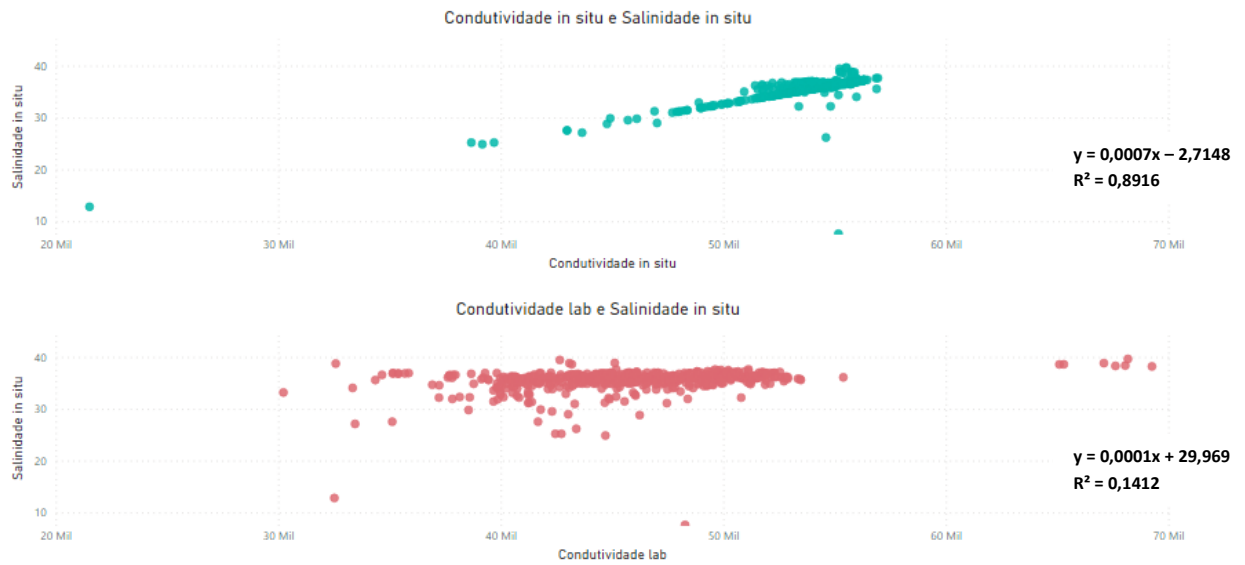
Os gráficos de distribuição para o ambiente marinho demonstram que as leituras de laboratório apresentaram diferenças maiores de amplitude se comparando com as leituras *in situ* (Figura 1). Para os estuários, que se apresentam como ambiente dulcícola, salinos ou

salobros, a depender da influência das águas marinhas sobre esse ambiente, tanto as leituras *in situ* como de laboratório são observados grande amplitudes em seus valores (Figura 2).

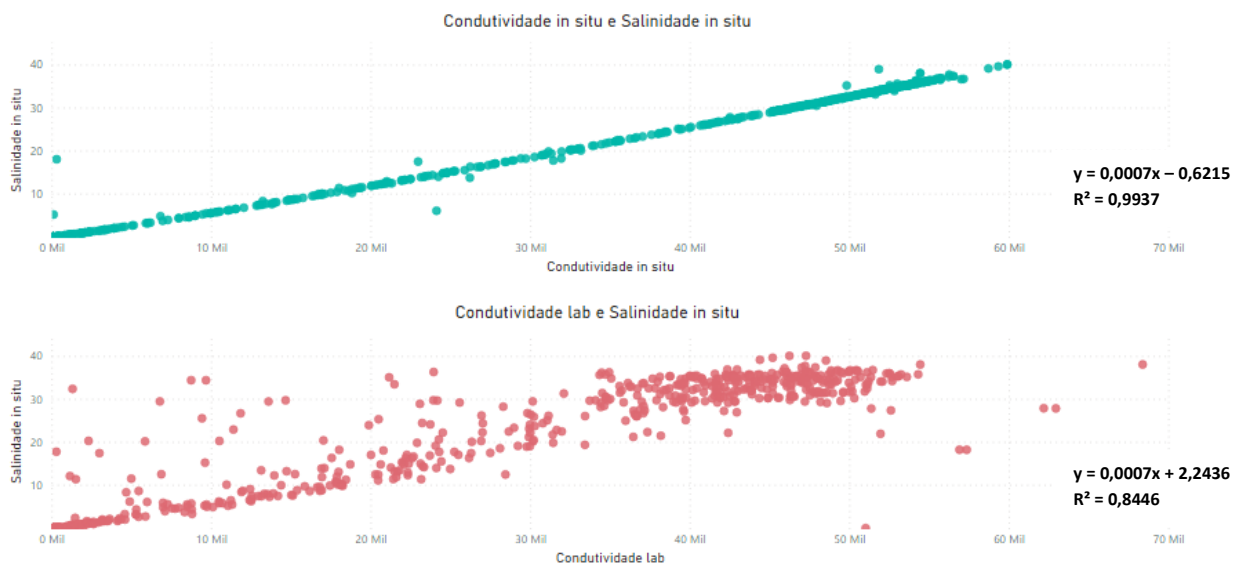
Para os gráficos de frequência (Figuras 3 e 4) se observa que os resultados *in situ* se concentram prioritariamente na faixa entre 52.000 e 55.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que é de fato esperado para ambientes essencialmente salinos. Enquanto para os resultados das medições em laboratório, para os pontos marinhos se distribuem na faixa de 30.000 a 70.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mostrando o quanto tais resultados se diferem dos medidos *in situ*. Essa variação entre as medições de laboratório e *in situ* indicam o quanto a amostra se modifica da coleta, transporte até o momento da análise. Modificação essa já esperada, uma vez que a condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons (cátions e ânions deionizados). Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon (CPRM, 2007).

Durante o transporte, mesmo se mantendo a amostra resfriada, podem ocorrer alterações das condições redox. O sistema fechado existente na amostra pode induzir a redução de compostos, uma vez que os microorganismos continuarão ativos em amostras não acidificadas, como é o caso do parâmetro condutividade elétrica mensurado em laboratório. A redução de Ferro consome íons  $\text{H}^+$  e alteram diretamente o pH, deixando-o mais básico (Winkler et al., 2018). Por outro lado, a redução de sulfato produz bicarbonato, uma fonte de alcalinidade da água, e este é um íon muito abundante em águas de regiões costeiras. Dessa forma o aumento de pH induzirá a polimerização de diversos elementos, conduzindo sua precipitação e consequentemente alteração da condutividade elétrica da amostra de água (Nollet, 2007).

Quando se fala de medição da condutividade elétrica de uma amostra, estamos na realidade quantificando uma grande quantidade de compostos nela contidos (uns positivos, outros negativos) e que, em solução, permitem a passagem da eletricidade. Nesse sentido a condutividade elétrica é fortemente correlacionada também ao parâmetro salinidade. Sendo assim, foram elaborados também gráficos de correlação entre estes parâmetros (Figura 5 e Figura 6). A salinidade não é medida em laboratório, então a salinidade *in situ* foi usada para todas as correlações.



**Figura 5:** Gráfico de correlação entre condutividade *in situ* e salinidade *in situ* (verde), e condutividade de laboratório e salinidade *in situ* (vermelho) nos pontos da zona costeira, no período de jan/19 a set/20.



**Figura 6:** Gráfico de correlação entre condutividade *in situ* e salinidade *in situ* (verde), e condutividade de laboratório e salinidade *in situ* (vermelho) nos pontos estuarinos, no período de jan/19 a set/20.

Para a correlação desses parâmetros com os dados da zona costeira, se observou uma alta correlação ( $R^2=0,89$ ) entre a condutividade elétrica *in situ* e salinidade *in situ* (Figura 5). Para a correlação neste mesmo ambiente, considerando os dados de laboratório para a

condutividade elétrica, uma baixa correlação foi encontrada ( $R^2=0,14$ ). O mesmo foi realizado para o ambiente estuarino alcançando correlação de 0,99 ( $R^2=0,99$ ) para os dados das medições *in situ*, e de 0,84 ( $R^2=0,84$ ) para a correlação dos dados de condutividade elétrica em laboratório versus salinidade *in situ* (Figura 6). Este fato demonstra o quanto a amostra pode ser alterada por este parâmetro do momento da coleta até a medição em laboratório. As amostras seguem todas as recomendações de controle de qualidade nesse processo, mas para o parâmetro condutividade elétrica se observa que alterações ocorrem causando essa grande variação entre os resultados medidos *in situ* e em laboratório.

As medições *in situ* são feitas diretamente no corpo hídrico e a amostra que é enviada ao laboratório é coletada com a garrafa de *Van Dorn*, portanto trata-se de amostras diferentes e isto pode interferir diretamente nos resultados. Em estuários, especialmente os mais rasos, essa diferença pode ser ainda mais significativa considerando a cunha salina que pode estar adentrando o estuário, ou seja, sutis diferenças na profundidade e/ou no momento entre a medição *in situ* e a coleta com garrafa, podem representar massas d'águas completamente distintas. Sendo assim, a Fundação realizou testes em campo para verificar as eventuais diferenças entre a medição diretamente no corpo hídrico e a alíquota que é enviada ao laboratório. Os detalhes destes testes são apresentados no item “**4. Testes em Campo**”.

### 3. VISITA TÉCNICA AO LABORATÓRIO

Dando continuidade ao processo de investigação sobre os resultados do Validador 3 (V3), no dia 28/08/2020, a Fundação realizou visita técnica ao laboratório ALS com intuito de acompanhar as análises do parâmetro condutividade elétrica. Como parte dos testes, em laboratório foram feitas leituras com sonda de mesma marca e modelo utilizada em campo (YSI, modelo ProDSS<sup>3</sup>), além da leitura com equipamento de bancada tradicional que faz parte da rotina do laboratório (MS TecnoPON, modelo MCA-150<sup>4</sup>). Além de acompanhar as medições com os dois equipamentos, a Fundação, junto com a equipe técnica do laboratório, pôde confirmar que os ajustes e verificações dos dois equipamentos foram feitas de acordo com o esperado, utilizando-se padrões de condutividade adequados e dentro dos prazos de validade.

---

<sup>3</sup> Informações técnicas em: <https://www.ysi.com/ProDSS>

<sup>4</sup> Informações técnicas em: <https://www.tecnoPON.com.br/medidor-de-condutividade-bancada-mca-150/>

Ambos equipamentos possuem faixa de leituras de condutividade elétrica compatíveis com águas salinas e fazem compensação automática da temperatura a 25 °C. Contudo, os equipamentos utilizados nos testes em laboratório funcionam de forma diferente em relação a leitura e estabilização. O condutivímetro de bancada, ao contrário da sonda, estabiliza e trava a leitura da condutividade, o que naturalmente gera diferenças de medição entre os dois equipamentos, uma vez que a sonda realiza a leitura imediata. Cada equipamento possui faixa de erros de leitura descrita pelos próprios fabricantes, que quando somados contribuem para a diferença de leitura entre equipamentos. Para a YSI, de acordo com o fabricante, o erro de leitura de condutividade na faixa entre 0 e 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  é de 0,5%; já para o equipamento de bancada, a exatidão é de 2% fundo de escala e a incerteza é de “melhor que 1% Fundo de escala”.

#### **4. TESTES EM CAMPO**

Conforme ressaltado no item 2, a alíquota de água que vai para análise laboratorial não é a mesma em que é feita a medição *in situ*. Visando entender essa eventual diferença, a Fundação procedeu com testes de leituras em condições variadas em campo nas campanhas de agosto e setembro/20.

Os testes foram conduzidos em todos os pontos da zona costeira (mar e estuário), com diferentes condições de medição de condutividade, a saber: (i) *in situ* direto no corpo d’água – leitura padrão (dado oficial *in situ*); (ii) da água retirada da garrafa de *van dorn* (*medição em campo*), ou seja, da mesma amostra que enche os frascos a serem enviados ao laboratório (leituras feitas para P15 e P50); (iii) desta mesma alíquota retirada da garrafa após 10 minutos de resfriamento no gelo (leituras feitas para P15), e (iv) da alíquota retirada da garrafa após 10 minutos exposta à temperatura ambiente (para P50). Além da condutividade elétrica, foram também registradas as temperaturas das amostras. Os testes de campo visavam entender o quão estável é o comportamento da condutividade elétrica e as possíveis variações relacionadas à temperatura, já que estas variáveis podem estar associadas, e a amostra sofre resfriamento e ambientação no laboratório antes de sua medição.

Complementarmente aos testes de campo, em laboratório foram feitas medições da mesma amostra com dois equipamentos diferentes, a sonda multiparamétrica (YSI, modelo

ProDSS<sup>5</sup>) e o condutivímetro de bancada (MS TecnoPON, modelo MCA-150<sup>6</sup>), conforme detalhado no item 3 deste documento.

## 4.1 Resultados

Para os resultados dos testes de campo, realizados nos meses de agosto e setembro/2020, foi aplicado o Validador 3 nas diferentes leituras realizadas (descrito no item 4).

Para os testes de campo, aplicando o V3 entre a leitura feita *in situ* e a leitura após 10 minutos (amostra resfriada para P15 e exposta à temperatura ambiente para P50), obtém-se 15,97% de dados invalidados (23 de 144 leituras, 14 no teste de agosto e 9 no teste de setembro). Destes, apenas 2 resultados foram com a amostra de P50, constatando que o resfriamento, ou a variação mais significativa de temperatura da amostra pode alterar o resultado de condutividade. Neste sentido, quando se avalia a variação de temperatura após 10 minutos, nos testes de agosto a temperatura média das amostras resfriadas caiu 32,6% e nos testes de setembro, 28,7%. Já as amostras deixadas à temperatura ambiente variaram menos, apenas 1,8% nos testes de agosto e 1,9% nos testes de setembro. Fato este que demonstra a variação na condutividade elétrica causada pela variação na temperatura das amostras. A *Tabela 2* resume as variações de temperatura e condutividade em relação à medição *in situ*, para as amostras de P15 e P50 nos dois meses de testes de campo.

**Tabela 2:** Variações médias de temperatura e condutividade nos testes de campo

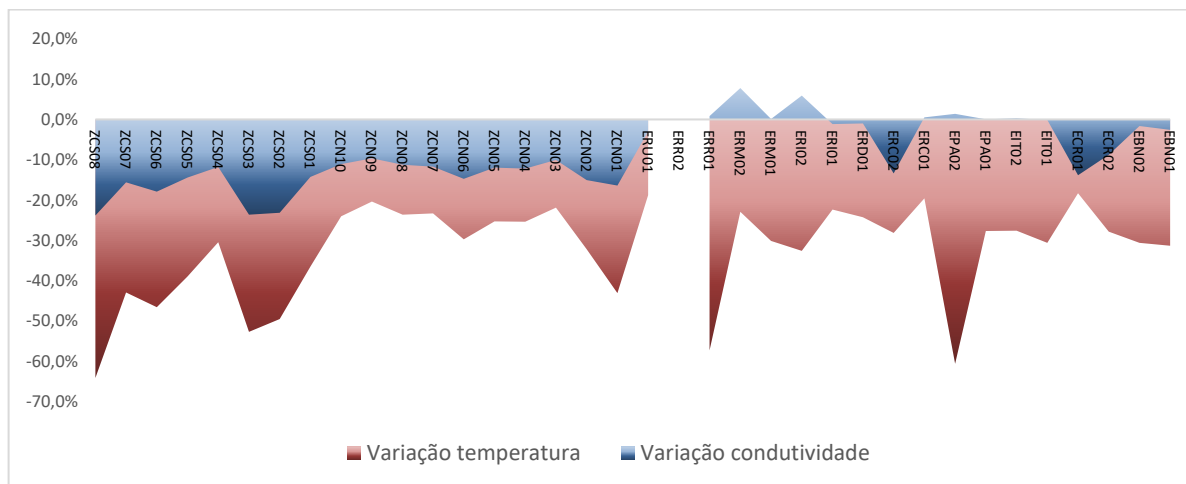
Mês teste	Amostra	Variação média temperatura	Variação média condutividade
Agosto	P15 (resfriada)	-32,6%	-8,5%
	P50 (exposta ao tempo)	1,8%	-2,7%
Setembro	P15 (resfriada)	-28,7%	-7,9%
	P50 (exposta ao tempo)	1,9%	0,1%

Considerando que a condutividade elétrica é uma propriedade que depende expressivamente da temperatura, pressão atmosférica e salinidade (CETESB, 2011; UNESCO/IOC, 2010), na tentativa de visualizar o comportamento da condutividade baseada na variação de temperatura, foram elaborados gráficos (Figura 7 e Figura 8) referentes às amostras resfriadas para os dois meses de testes, que ilustram o comportamento destas duas

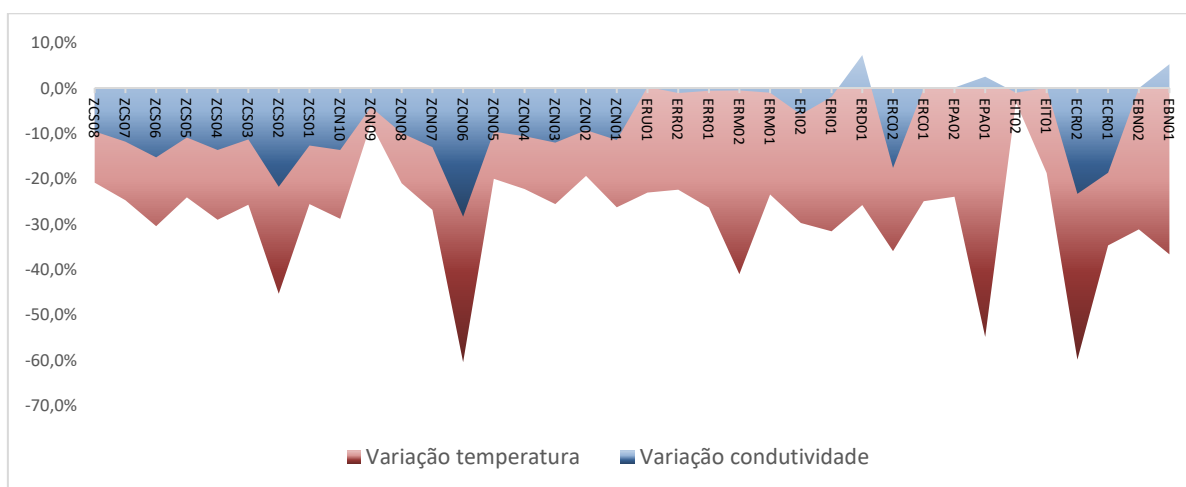
<sup>5</sup> Informações técnicas em: <https://www.ysi.com/ProDSS>

<sup>6</sup> Informações técnicas em: <https://www.tecnoPON.com.br/medidor-de-condutividade-bancada-mca-150/>

variáveis em cada ponto de coleta. No gráfico de agosto, o resultado do ponto ERR02 foi removido, pois sua leitura *in situ* de P15 foi de  $14 \mu\text{S}/\text{cm}^7$ , prejudicaria a visualização geral das informações dos demais pontos.



**Figura 7:** Variação da condutividade em função da variação de temperatura - teste de campo de agosto/2020.



**Figura 8:** Variação da condutividade em função da variação de temperatura - teste de campo de setembro/2020.

Para os pontos da zona costeira, os perfis de variação de condutividade são semelhantes aos perfis de variação da temperatura. Já para os estuários, esta similaridade de perfil gráfico não é observada. Pelas suas características ambientais, os estuários apresentam menores faixas de leituras de condutividade. Na média dos testes em P15, os pontos marinhos registraram

<sup>7</sup> Este valor foi confirmado com o dado salvo na sonda no momento da coleta, mas pelas características ambientais do ponto, é provável que esteja errado (leitura em P50 no mesmo ponto foi de  $1.868 \mu\text{S}/\text{cm}$ )

52.545  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em agosto e 53.987  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em setembro, e os estuários registraram 22.661  $\mu\text{S}/\text{cm}$ <sup>8</sup> e 37.015  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em agosto e setembro, respectivamente. Além disso, os testes demonstraram que a variação média da leitura de condutividade, entre *in situ* e amostra resfriada, foi menor nos estuários, conforme ilustrado na Tabela 3.

**Tabela 3:** Variações médias de temperatura e condutividade, em P15 e por ambiente, nos testes de campo.

Mês teste	Amostra	Variação média temperatura	Variação média condutividade
Agosto	P15 mar	-35,1%	-14,9%
	P15 estuário	-30,1%	-1,7%
Setembro	P15 mar	-26,9%	-12,7%
	P15 estuário	-30,4%	-3,1%

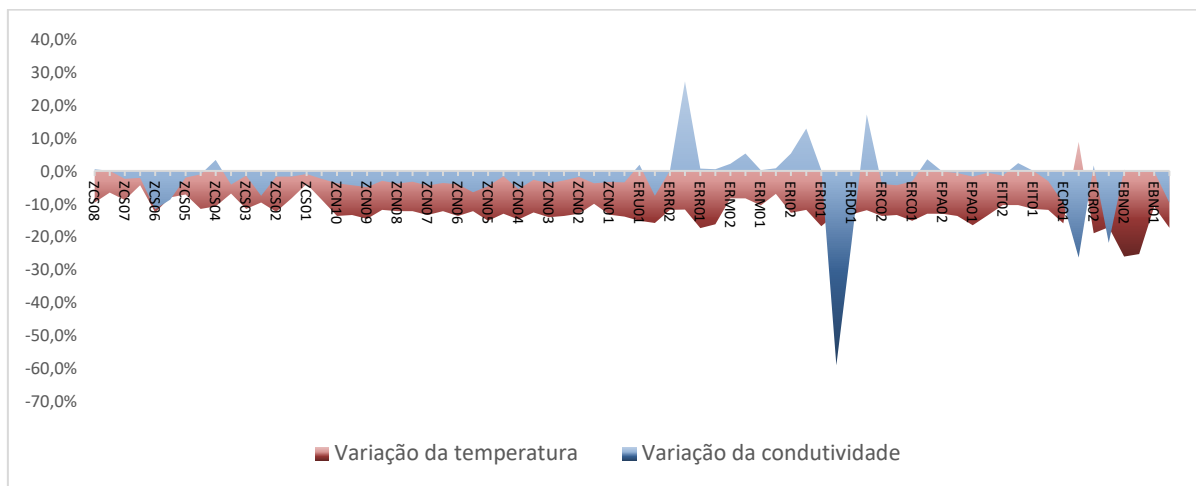
Ainda quanto à aplicação do V3, foi possível também avaliar a proporção de invalidações entre as medições *in situ* e as duas medições feitas em laboratório. Conforme descrito anteriormente, em laboratório o teste foi feito com leituras da mesma amostra com o equipamento convencional do laboratório (condutímetro de bancada) e com uma sonda multiparamétrica de mesma marca e modelo das utilizadas em campo. Os resultados são apresentados na Tabela 4. Para o mês de setembro, a medição com a sonda multiparamétrica não foi realizada nos testes de laboratório para os pontos: ERM01, ERM02, EPA01 e EPA02. Para o EPA02 foi feita a medição apenas da amostra de P15. Portanto, o total de análises em agosto foi de 72 e em setembro 65.

**Tabela 4:** Resultados da aplicação do Validador 3 (V3) entre as diferentes medições dos testes.

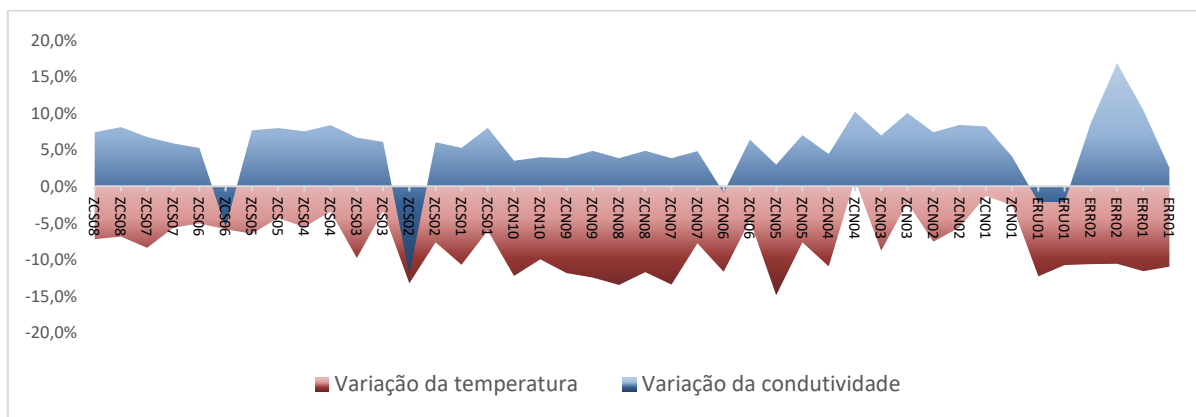
Mês teste	V3 – <i>in situ</i> / sonda do laboratório	V3 – <i>in situ</i> / condutímetro de bancada	V3 – sonda do laboratório / condutímetro de bancada
Agosto	6 resultados invalidados (8,33%)	44 resultados invalidados (61,11%)	18 resultados invalidados (25%)
Setembro	4 resultados invalidados (6,15%)	19 resultados invalidados (26,39%)	31 resultados invalidados (43,05%)

<sup>8</sup> Média sem o valor de ERR02

Os resultados de V3 indicam uma maior quantidade de invalidações quando se aplica a fórmula nos resultados que utilizam os dados do condutímetro de bancada. Porém, é interessante observar que o comportamento da variação de condutividade em relação à variação de temperatura, são distintos nos meses de agosto e setembro, mesmo quando se compara os resultados de equipamento similar (sonda em campo x sonda no laboratório).



**Figura 9:** Variação da condutividade em função da variação de temperatura – resultados das medições *in situ* e da sonda em laboratório - agosto/2020.



**Figura 10:** Variação da condutividade em função da variação de temperatura – resultados das medições *in situ* e da sonda em laboratório - setembro/2020.

Os gráficos da Figura 9 e Figura 10 demonstram que mesmo quando se utiliza equipamento de mesma marca e modelo para as medições em condições ambientais distintas, o comportamento da variável condutividade se observa variação nos resultados.

Ademais, quando se analisa as temperaturas da amostra registradas pelos equipamentos de laboratório (exatamente a mesma condição ambiental), visto que as medições com sonda e

condutivímetro de bancada foram feitas concomitantemente, observa-se médias distintas, evidenciando as diferenças intrínsecas aos equipamentos. A sonda YSI utilizada em laboratório, registrou média de temperatura das amostras, nos testes de agosto de 20,93°C e o condutivímetro de bancada registrou médias de 21,70°C. Em ambos equipamentos o desvio padrão de temperatura foi de 0,51°C. Nos testes de setembro a diferença de temperatura média entre equipamentos foi menor, sendo 22,28°C registrados com a sonda e 22,43°C<sup>9</sup> para os resultados do condutivímetro, porém o desvio padrão foi maior (0,52°C da sonda e 2,61°C do equipamento de bancada).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, avaliando todas as informações desse documento, conclui-se que o processo de medição do parâmetro condutividade elétrica está em conformidade com as normas e procedimentos de referência, não sendo verificadas falhas durante a sua execução. Ainda assim, são verificadas diferenças nos resultados aferidos em campo e no laboratório, evidenciadas pelo elevado percentual de dados invalidados pelo V3, que são inerentes do processo, considerando que esse parâmetro é fortemente influenciado por variações de temperatura, salinidade, pressão atmosférica e outros processos físicos e químicos que podem ocorrer com as amostras ao longo do tempo, até mesmo durante seu resfriamento no transporte. Fatores como a marca/modelo dos equipamentos podem gerar leituras distintas, como observado nos resultados, para uma mesma amostra e também devem ser considerados na avaliação. Portanto, é possível observar na avaliação conjunta do banco de dados e os testes realizados, que este Validador 3 não é adequado para um efetivo controle e garantia da qualidade para este parâmetro para o ambiente em monitoramento.

Neste sentido, a Fundação Renova reforça que continuará a acompanhar com total critério as medições *in situ* e os resultados de laboratório para o parâmetro condutividade elétrica. Porém, cabe ressaltar que a aplicação do Validador 3 no conjunto de dados continuará gerando percentuais elevados de dados “inválidos” e, o resultado da medição *in situ* deve ser priorizado.

---

<sup>9</sup> Excluindo os pontos ERM01, ERM02, EPA01 e P50 de EPA02.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CETESB, 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, Brasília, DF.

CPRM, 2007. Manual de Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Nollet, L.M.L., 2007. Handbook of Water Analysis, 2nd ed. CRC Press.

UNESCO/IOC, 2010. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56 [includes corrections up to 31st October 2015].

Winkler, P., Kaiser, K., Thompson, A., Kalbitz, K., Fiedler, S., Jahn, R., 2018. Contrasting evolution of iron phase composition in soils exposed to redox fluctuations. *Geochim. Cosmochim. Acta* 235, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.05.019>