

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE TEMPERATURA DE BAIXO CUSTO APLICADO AO CONTROLE DA QUALIDADE DE VACINAS**

Roniel Ferreira Cruz (1), roniel.ferreira@live.com; Camila Santos Correa (1), camilacorreacs.cs@gmail.com; Caroline Tavares Silva (2), lineetavaresss@gmail.com; Wilton Lacerda Silva (3), wiltonlacerda@gmail.com

*Instituto Federal da Bahia – Campus Vitória da Conquista*

**Resumo:** A vacinação é uma ação rotineira nos serviços de atenção primária à saúde, representando um dos procedimentos de melhor relação custo e eficiência no setor. Nesse contexto, são necessários instrumentos que garantam a qualidade dos medicamentos diminuindo perdas ocasionadas, por exemplo, pela sua alta sensibilidade a variações de temperatura. De fato, a maior dificuldade nos processos de armazenamento e transporte de vacinas é o monitoramento da temperatura, que ao ser omitido pode, conseqüentemente, ocasionar no descarte do medicamento. No presente trabalho será proposto a utilização de um sensor de temperatura, de baixo custo, com fim de atender com precisão a faixa de temperatura considerada ideal pelos órgãos de saúde para as vacinas. Será apresentado também uma análise comparativa entre métodos utilizados para o condicionamento da resposta do sensor procurando assim a melhor relação de eficiência, resolução e sensibilidade para o instrumento de medição.

**Palavras-chave:** Vacinação, monitoramento, temperatura, sensor, instrumento.

### **1 INTRODUÇÃO**

Ambientes hospitalares necessitam de monitoramento constante, por se tratarem de espaços críticos, onde pequenos problemas podem resultar em perdas de vidas humanas. Existem diversas regulamentações que normatizam as condições nas quais tais ambientes devem estar para serem considerados aptos. A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), órgão responsável pela fiscalização de unidades hospitalares, aponta em seu Manual de Tecnovigilância de 2010 as possíveis falhas de acompanhamento e situações adversas que podem ocorrer em um ambiente hospitalar, considerando desde a falta do correto acompanhamento da temperatura e umidade de certos setores, bem como o armazenamento de vacinas e medicamentos em condições aceitáveis.

O Programa Nacional de Imunização (PNI) brasileiro é considerado um dos mais completos dentre os países em desenvolvimento e tem alcançado êxito por meio de altas coberturas vacinais, tendo sido pioneiro na introdução de algumas vacinas e demonstrado alta capacidade técnica nas questões de logística para imunização. Contudo, apesar dos bons resultados do PNI, estudos apontam deficiências em salas de vacina, no Brasil, principalmente

relacionadas à conservação dos imunobiológicos. “Essas deficiências podem provocar aumento considerável nos custos do PNI devido a perdas desnecessárias de vacinas por erros de manutenção da cadeia de frio, além de comprometer a efetividade do programa.” (OLIVEIRA *et al*, 2010).

Apesar dos grandes resultados alcançados pelo PNI, é preciso destacar que não basta atingir altas taxas de coberturas, deve-se também garantir que as vacinas aplicadas estejam com suas propriedades imunizantes preservadas. Para isso, é necessário uma série de cuidados com a conservação das mesmas. Um estudo realizado sobre esse tema na cidade de Recife verificou, por exemplo, que não havia na maioria dos casos o monitoramento da temperatura após o preparo da caixa térmica, “especialmente pela falta de equipamento destinado a esta finalidade” (MELO; OLIVEIRA; ANDRADE, 2010). De fato, algumas composições são sensíveis a alterações de temperatura, podendo ocasionar adversos problemas à saúde dos pacientes. Logo, a ANVISA (2010) determina que “fármacos como vacinas necessitam de uma caixa de transporte específica para manter a temperatura na faixa de 2° C a 8° C”.

Sendo assim, para aferir temperaturas são necessários instrumentos com bom grau de precisão. Equipamentos que mensuram temperatura se tornaram essenciais para a caracterização e determinação de parâmetros físicos, químicos, biológicos, etc. Baseado nesse contexto, será desenvolvido nesse trabalho um instrumento que consiga medir a temperatura de vacinas e proporcionar maior controle, evitando perdas e aumentando a eficiência do setor.

## **2 METODOLOGIA**

Com o objetivo de se criar um instrumento capaz de medir com precisão e baixo custo, a temperatura de vacinas dentro da faixa de operação ideal determinada pelas normas brasileiras será condicionada à variação resistiva de um termistor NTC de forma a ser possível utilizá-lo como sensor de temperatura. Para isso, serão testadas três diferentes formas de condicionamento do sinal do sensor: por divisor de tensão, em ponte de Wheatstone e com um amplificador de instrumentação. No final, será realizada uma comparação de eficiência, resolução e sensibilidade dos instrumentos obtidos.

Será utilizado um Arduino UNO como processador do sinal condicionado. Nesse caso, é necessário se atentar que, como todo

microcontrolador, o mesmo lê apenas sinais de tensão, tornando-se necessária a conversão da variação resistiva em uma variação de tensão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

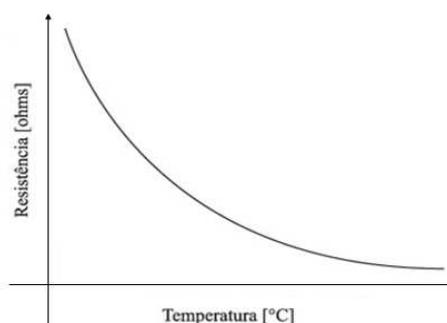
#### 3.1 Comportamento do Termistor - NTC

Um termistor é um tipo de resistor cujo seu valor da resistência elétrica modifica-se com a temperatura. A resistência desses sensores pode variar tanto de forma proporcional ou inversa ao aumento de temperatura que são expostos. Por essa característica é feita uma classificação dos termistores, sendo NTC (*negative temperature coeficiente*) e PTC (*positive temperature coeficiente*). O NTC é mais utilizado do que o PTC, devido a maior facilidade de ser manufaturado. O diferencial do NTC é ser muito mais sensível a variações de temperatura, comparado com outros sensores de resistência variável com a temperatura, como os RTDs e os termopares. Porém, o fato de ser mais sensível faz com que se comporte de forma não linear, de forma a sua curva possuir um comportamento exponencial.

Segundo Balbinot e Brusamarello (2000) os termistores possuem uma “sensibilidade elevada, cerca de 3% a 5% por °C, sendo que sua faixa de tolerância é geralmente de 5 a 20%”. Estes componentes possuem uma aproximação aproximadamente linear com o logaritmo da resistência com o inverso da temperatura absoluta, então se pode encontrar sua equação característica:

$$R = R_0 e^{-\beta(1/T_0 - 1/T)} \quad (1)$$

Onde, R é a resistência na temperatura T,  $R_0$  é a resistência na temperatura  $T_0$  e  $\beta$  é a constante do material (3000 a 5000 K).



**Figura 1:** Curva de resposta de um termistor NTC.

### 3.2 Divisor de Tensão

Inicialmente, foi calculado os valores de resistência para a faixa de operação do termômetro (range) através da equação característica do termistor (Eq. 1). Empregou-se um termistor de  $1k\Omega$  que possui  $R_0 = 1011\Omega$  e  $\beta = 3730K$ , nessas condições:

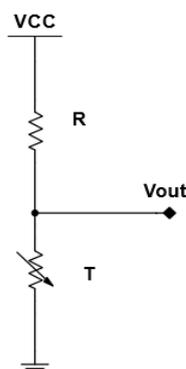
**Tabela 1:** Relação entre a temperatura e resistência do termistor na faixa de operação.

Temperatura	Resistência do Termistor
0 °C	3181 $\Omega$
15°C	1561 $\Omega$

A forma primordial de conversão de uma variação resistiva em uma variação de tensão é através de um divisor de tensão. A relação entre a resistência do termistor (T) e a saída de sinal  $V_{out}$  é dada pela Equação 2, sendo  $V_{cc}=5Volts$ :

$$V_{out} = V_{cc}[T/(R+T)] \quad (2)$$

Ao trabalhar como um NTC em um divisor de tensão observa-se que o aumento da temperatura diminuirá a tensão de saída. A Figura 2 traz a ilustração do circuito em análise:

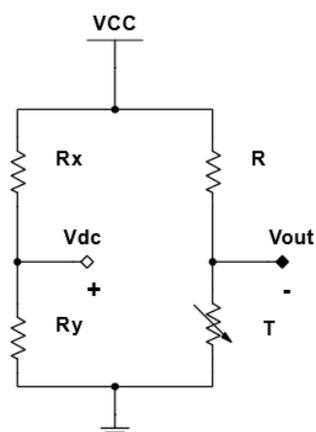


**Figura 2:** Circuito divisor de tensão.

O valor da resistência R escolhida foi  $1K\Omega \pm 1\%$  afim de obter a variação de 1V. Para a leitura dos dados do divisor de tensão foi utilizado uma porta ADC do Arduino (A0), além disso, se implementou uma rotina que fazia a média de 100 medidas por segundo, aumentando assim a precisão do dado.

### 3.3 Ponte de Wheatstone

A utilização da Ponte de Wheatstone, diferente do puro divisor de tensão, oferece a possibilidade de obtenção somente da variação de tensão, retirando assim a tensão de fundo de escala existente no circuito. A Figura 3, abaixo, traz a ilustração do circuito em ponte:



**Figura 3:** Circuito da Ponte de Wheatstone.

O valor de  $V_{dc}$  deverá ser igual a tensão  $V_{out}$  na menor temperatura de operação do termistor ( $0^{\circ}\text{C}$ ), de tal forma, que a saída seja a diferença  $\Delta V = V_{dc} - V_{out}$ , ou seja, se obterá apenas a variação de tensão do sensor. Com base na Equação 2 e utilizando  $V_{cc}=5$  Volts, obtive-se para  $R_T(0^{\circ}\text{C})$  e  $R_T(15^{\circ}\text{C})$  os seguintes valores de tensão:

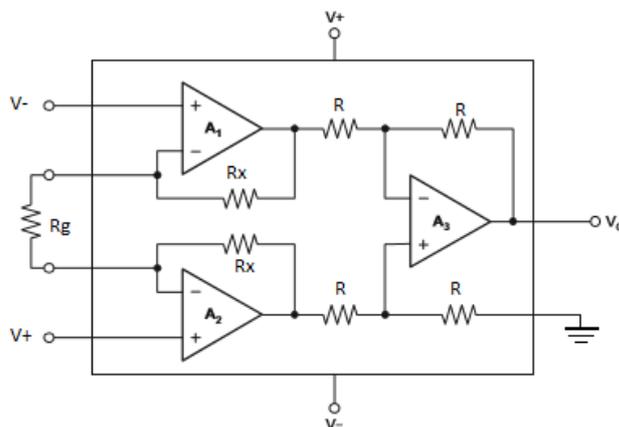
**Tabela 2:** Relação entre a temperatura e resistência do termistor.

Temperatura	Vout
0 °C	3,8 Volts
15 °C	3,0 Volts

Logo, se torna necessário encontrar os valores de  $R_x$  e  $R_y$  para que se obtenha  $V_{dc} = 3,8$  Volts, para projeto foram utilizados  $R_y = 1\text{K}\Omega$  e  $R_x=330\Omega$ , obtendo  $V_{dc} = 3,75$ Volts. Observa-se que, teoricamente, a variação de tensão da faixa de operação é de apenas  $\Delta V = 0,8$ Volts, porém o conversor do Arduino aceita sinais de até 5 Volts. Para melhorar a sensibilidade do aparelho será utilizado, com o objetivo de igualar a faixa de variação à faixa de leitura do Arduino, um estágio de ganho por meio de um amplificador de instrumentação.

### 3.4 Amplificador de Instrumentação

Um amplificador de instrumentação se diferencia de um amplificador comum, principalmente, pela sua alta impedância de entrada e baixa impedância de saída, além de uma tensão de offset muito baixa. A Figura 4, abaixo, ilustra o circuito de um amplificador de instrumentação:



**Figura 4:** Circuito de um amplificador de instrumentação.

A relação entre as entradas e a saída desse circuito é dada pela equação abaixo:

$$V_o = (V^+ - V^-)(2R_x/R_g + 1) = \Delta V \cdot G \quad (3)$$

De acordo, com os cálculos anteriores a variação de tensão ( $\Delta V$ ) é igual a 0,8 Volts, logo é necessário calcular o valor de  $G$  tal que  $V_o = 0,8G = 5$  Volts, o que leva a um ganho  $G=6,25$ . O ajuste do ganho nesse amplificador está em função de  $R_x$  e  $R_g$ , com base nos valores comerciais de resistores obteve-se  $R_x = 2K\Omega \pm 1\%$  (pela associação em série de dois resistores de  $1k\Omega \pm 1\%$ ) e  $R_g = 5K\Omega \pm 1\%$  (pela associação em paralelo de dois resistores de  $10k\Omega \pm 1\%$ ) o que proporcionou um  $G=6$ . Para os resistores de valor  $R$  foi adotado  $10K\Omega \pm 1\%$ , lembrando que os mesmos não possuem contribuição para o ganho final do circuito. Por fim, obteve-se:

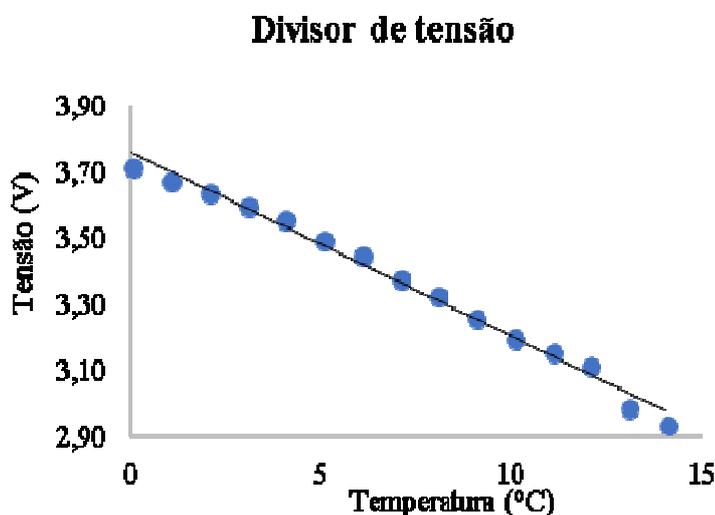
$$V_o = 6(V_{dc} - V_{out}) \quad (4)$$

Após a definição dos processos de condicionamento do sinal do termistor se deu início ao processo de calibração do mesmo, onde foi utilizado um termopar de um multímetro como referencial. Além disso, utilizou-se no processo de calibração um Peltier, dispositivo que submetido a uma diferença de potencial gera um gradiente de temperatura, possibilitado o controle e estabilidade da temperatura de uma superfície para a tomada de medições.

### 3.5 Análise Comparativa

Ao medir a temperatura do Peltier, foi possível nas mesmas condições, relacionar os dados de temperatura do termopar a valores de tensão do circuito condicionador do termistor, de tal forma a ser coletado um valor de tensão para um respectivo valor de temperatura. Os dados foram colhidos com o aumento da temperatura, ou seja, de 0°C para 15°C.

Para o circuito com um simples divisor de tensão foi possível levantar uma curva de comportamento do sensor aplicando regressão linear nos dados obtidos. Dessa forma, a equação de reta que representa a relação linear entre a temperatura e tensão do termistor. A Figura 5, abaixo, traz as amostras dos dados e a reta obtida por meio da regressão.



**Figura 5:** Curva de comportamento do Termistor em divisor de tensão e sua linearização.

A equação linear da reta da Figura 5 se encontra abaixo:

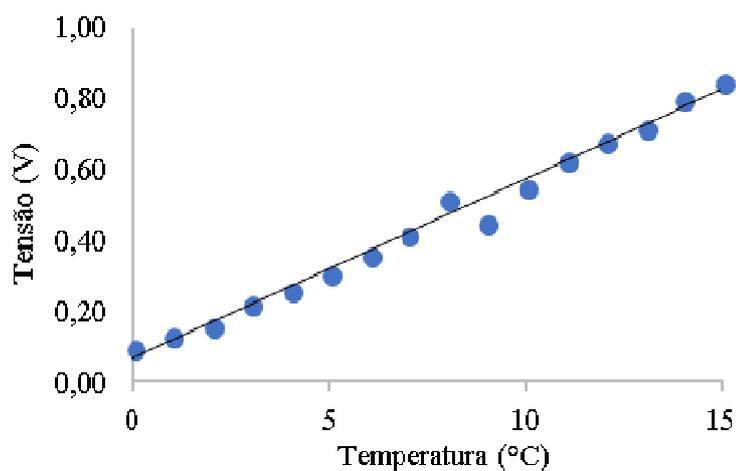
$$V(T) = -0,0559T + 3,7597 \quad (5)$$

Após as medições feitas com o divisor de tensão, utilizou-se o circuito de Ponte de Wheatstone. A mesma variação de temperatura foi medida, aquecendo o Peltier de 0°C a 15°C, após esse processo, foi traçada a curva experimental e feita sua linearização. Obteve-se a seguinte equação após a regressão:

$$V(T) = 0,0506T + 0,0679 \quad (6)$$

O gráfico da Figura 6 mostra a comportamento do circuito condicionador:

### Ponte de Wheatstone

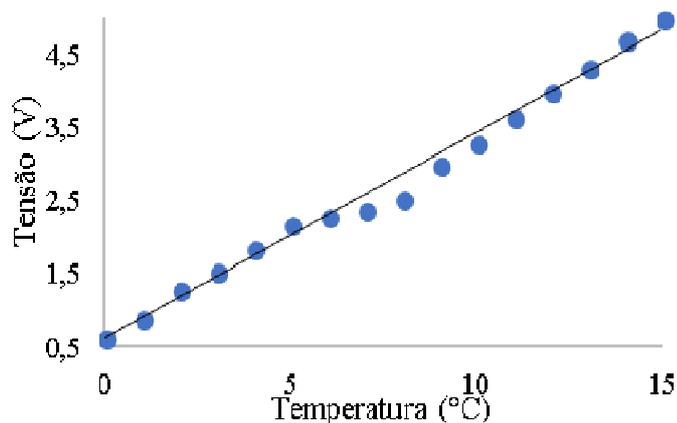


**Figura 6:** Curva de comportamento do Termistor em ponte e sua linearização.

Por último foi implementado o circuito com amplificador de instrumentação, através do uso de amplificadores operacionais TL 071. O intuito desse circuito é de aplicar um ganho de tensão de 6V nas medidas de saída do termômetro conseguindo que toda a tensão de alimentação fornecida pelo Arduino fosse utilizada.

O mesmo processo de medição foi utilizado com o aquecimento do Peltier e medição da saída com um multímetro. Então, foi traçada a curva experimental após a linearização da mesma como mostra a Figura 7.

### Amplificador de Instrumentação



**Figura 7:** Curva de comportamento do circuito com amplificador de instrumentação.

Através da curva linearizada descrita na Figura 7 foi adquirida a Equação 7:

$$V(T) = 0,2781T + 0,6289 \quad (7)$$

A sensibilidade é uma medida da menor quantidade mensurável por um instrumento. Matematicamente a sensibilidade é a inclinação da reta, a equação abaixo define a conceito de sensibilidade.

$$S = \Delta S / \Delta E \quad (8)$$

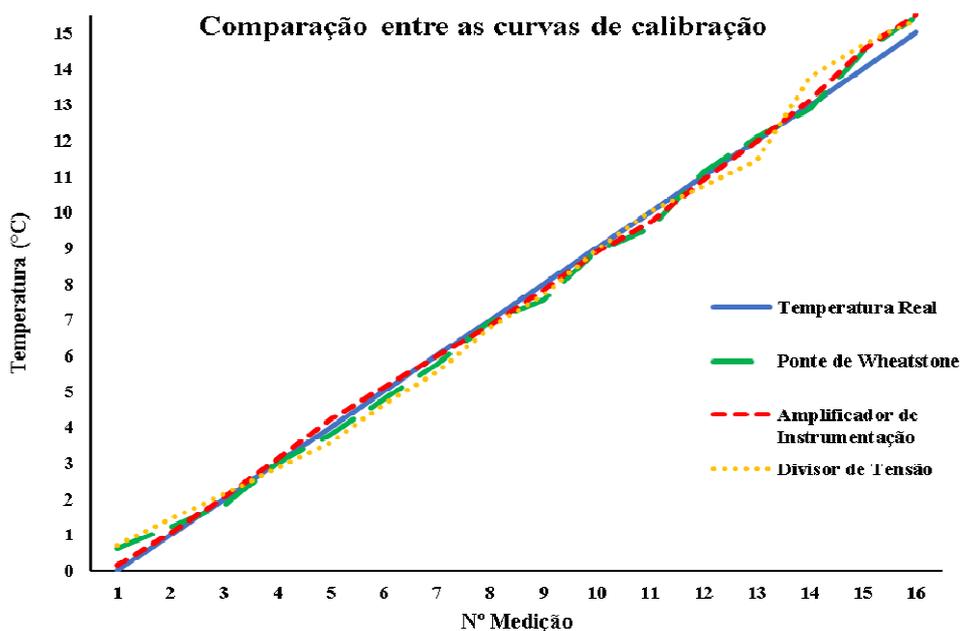
Onde  $\Delta S$  representa a variação na saída e  $\Delta E$  representa a variação na entrada.

Para a equação da reta do circuito com divisor de tensão é possível encontrar o coeficiente angular da reta, ou seja, a sensibilidade, derivando a equação. Logo, se obteve  $S = -0,0559$ . Analisando a equação acima observa-se uma pequena variação na sensibilidade do instrumento. O valor que antes seria, em módulo, de 0,0559 passa a ser de 0,0506, cerca de 9,48% menos sensível, considerado aceitável já que o condicionador desloca a curva comportamental do divisor de tensão.

Pode-se observar também o comportamento mais linear, em comparação ao circuito montado anteriormente. A sensibilidade do instrumento aumenta consideravelmente, o que antes seria de 0,0506 passa a ser 0,2781 valor cerca de 5 vezes maior que o circuito com simples divisor de tensão e 5,5 vezes maior que o circuito em ponte.

Ainda pode-se notar na Figura 7 que o menor valor de tensão obtido chega bem próximo do 0V e o maior valor de tensão chega exatamente a ser 5V. Dessa forma, conseguiu-se varrer toda a faixa de trabalho do Arduino, de forma a aumentar a sensibilidade dos dados, porém não a resolução das leituras. Já que essa é intimamente ligada ao tamanho de palavra do conversor ADC, que no caso do Arduino é de 10bits.

A Figura 8 abaixo traz um gráfico comparativo entre as repostas das curvas de calibração encontradas e o valor real da temperatura. Observa-se que os três métodos apresentaram boa precisão nas leituras, fugindo muito pouco do valor nominal.



**Figura 8:** Comparativo entre as respostas das curvas de calibração.

#### 4 CONCLUSÕES

A temperatura é uma variável de suma importância nos procedimentos de conservação de vacinas. A partir disso, foi proposto nesse trabalho um estudo de diferentes métodos de construção de um sensor para medição de temperatura das vacinas na faixa considerada ideal pelos órgãos de saúde.

Foram montadas três configurações para o condicionamento de sinais, todas apresentaram bons resultados em relação aos baixos erros da curva de calibração. A primeira foi um divisor de tensão que por não utilizar toda a faixa de tensão disponibilizada pelo conversor ADC apresentou uma variação, entre as tensões máxima e mínima, muito pequena. A ponte de Wheatstone apresentou sensibilidade aproximadamente igual à do divisor de tensão, no entanto é mais linear. Para obter uma linearidade ainda maior é sugerido colocar resistências variáveis ou outros termistores. Por fim, percebeu-se que ao se implementar um amplificador de instrumentação houve melhor aproveitamento da faixa de tensão, aumentando a sensibilidade do instrumento.

Conclui-se então que o condicionamento de sinal para a construção de um sensor de temperatura de vacina mais eficiente, sensível e exato é o circuito que utiliza um amplificador de instrumentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. **Manual de Tecnovigilância**: abordagens de vigilância sanitária de produtos para a saúde comercializados no Brasil. Brasília-DF, 2010.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, João V. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Volume 2. São Paulo: LTC, 2000.

MELO, Giselle Karine M. de; GISELLE.K, Janice Vasconcelos; ANDRADE. Maria Sandra **Aspectos relacionados à conservação de vacinas nas unidades básicas de saúde da cidade do Recife – Pernambuco**. Brasília: Epidemiol. Serv. Saúde, 2010.

OLIVEIRA, Valéria C. *et al.* **Avaliação da qualidade de conservação de vacinas na atenção Primária à saúde**. Ciência & Saúde Coletiva Vol. 19. Rio de Janeiro: [s.n], 2010.