

## Sistemas de Identificação por Radiofrequência (RFID) Ativos Integrados com Comunicações Via Satélite

Claiton P. Colvero<sup>1</sup>, Ricardo M. Zago<sup>1</sup>, Aluizio d’Affonsêca Netto<sup>2</sup>, Rodolfo Saboia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, CTISM, Av. Roraima, 1000 – Prédio 5  
– Santa Maria - Brasil - CEP: 97105-900

<sup>2</sup>I-Dutto/INMETRO - Prédio da Incubadora de Projetos do Inmetro, LAB 16, Duque de  
Caxias - Rio de Janeiro - Brasil - CEP: 25250-020

<sup>3</sup>DMTIC/INMETRO - Prédio 6 do Inmetro, Duque de Caxias - Rio de Janeiro - Brasil -  
CEP: 25250-020

claiton@redes.ufsm.br, afnetto@idutto.com, rssouza@inmetro.gov.br

**Abstract.** *This paper describes the development of an integration project of active radiofrequency identification transponders (RFID) for operation over satellite communication network. To make efficient the use of the channel, it has developed a pioneering communication protocol between active transponders and satellite standard messaging system, observing the power consumption parameters and bandwidth of this channel. With the implemented protocol for bandwidth optimization, it is possible to monitoring up to 10 active RFID transponders in real time over each satellite message, and each transponder has an estimated average battery life up to three years.*

**Resumo.** *Este trabalho descreve o desenvolvimento de um projeto de integração de transponders de identificação por radiofrequência (RFID) ativos para operação sobre uma rede de comunicação via satélite. Para viabilizar o uso do canal com eficiência foi elaborado um pioneiro protocolo de comunicação entre os transponders ativos e um sistema de mensagens via satélite padrão, observando-se os parâmetros de consumo de energia e capacidade deste canal de comunicação. Com o protocolo de otimização de banda implementado é possível monitorar em tempo real até 10 transponders RFID ativos em cada mensagem enviada pelo sistema de satélite, sendo que cada transponder possui uma estimativa de vida média da bateria de 3 anos.*

### 1. Introdução

Modernos sistemas de identificação eletrônica têm sido implementados nos últimos anos em áreas estratégicas da indústria, com o grande desafio de fornecer as funcionalidades de identificação da forma mais autônoma possível. Adicionalmente tem-se observado uma crescente tendência em expandir os limites desse controle através do monitoramento remoto e em tempo real. Para atender aos requisitos de identificação eletrônica com baixa interação humana nos processos, os dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID) ativos apresentam uma grande aplicabilidade. Estes sistemas operam através da leitura e identificação de dados codificados em *transponders* RFID, também conhecidos como *tags*, que são capazes de transferir essas informações por uma rede de comunicação sem fio formada entre os dispositivos.

A nomenclatura “ativos” define que estes *transponders* RFID utilizam uma fonte de energia ativa, geralmente alimentados por uma bateria, para realizar a comunicação

com eficiência. Essa fonte é responsável por fornecer energia para suprir o sistema de transmissão de sinais de radiofrequência e de leitura das informações de identificação. Este artifício mantém a comunicação por longos períodos de tempo e com maior potência de transmissão [Dobkin, 2008], o que proporciona uma maior dinâmica de leitura. Esta superior dinâmica representa na prática uma maior distância de identificação, e conseqüentemente um maior nível de automação, embora ainda exista neste caso um limite relativamente baixo de cobertura se considerarmos a operação de forma remota.

Para o acesso das informações remotamente e em tempo real, se torna necessária a utilização de outros sistemas de telecomunicações complementares que possuam uma maior capacidade de cobertura e transporte das informações. Embora redes de comunicação de longa distância estejam presentes em muitos ambientes, o foco deste trabalho é oferecer cobertura também em regiões de difícil acesso a estas tecnologias, como aplicações em alto mar (*offshore*), embarcações em viagens globais, desertos, regiões de baixa densidade demográfica, entre outros [Alvarenga, 2012]. Para estes ambientes descritos anteriormente, a comunicação via satélite representa uma das melhores alternativas em relação à disponibilidade do enlace e custo de implantação.

## 2. Metodologia

### 2.1. Integração de tecnologias

Este projeto tem como premissa a utilização de diferentes tecnologias de comunicação através do compartilhamento dos recursos de rede de forma eficiente e transparente, possibilitando a instrumentação e coleta de dados de identificação e rastreamento remoto e em tempo real. A coleta de informações relevantes e precisas de forma automática pelo sistema, assim como o transporte das mesmas de forma eficiente, depende da correta integração das tecnologias de comunicação utilizadas.

A tecnologia RFID ativa em geral não utiliza protocolos de comunicação regulamentados pelas principais agências de telecomunicações mundiais, e desta forma costumam apresentar protocolos proprietários ou fechados [Ahson e Ilyas, 2008] em seus produtos comerciais. A aplicação de padrões e protocolos de comunicação proprietários gera um risco de descontinuidade tecnológica e carência de flexibilidade tecnológica. Esta característica eventualmente pode até gerar a necessidade de substituição de todos os dispositivos instalados no caso de problemas desta natureza. Da mesma forma, a integração das diferentes tecnologias de comunicação disponíveis pode se tornar muito complicada, uma vez que não existem normas específicas de utilização e operação.

Para garantir a aplicabilidade destes processos de identificação por radiofrequência em ambientes remotos de forma autônoma, principalmente compartilhando recursos dos meios de comunicação disponíveis, tornou-se necessária a criação de um pioneiro protocolo para operação dos *transponders* ativos, com otimização dos dados para a completa integração com outros sistemas. Os *tags* ativos normalmente operam em redes de comunicação de curta distância PAN (*Personal Area Network*), na banda ISM (como por exemplo, 2,45 GHz), utilizadas para interligar sensores locais ou sistemas de identificação eletrônica [Radio Regulations, 2012] sem a necessidade de solicitar uma autorização especial dos órgãos reguladores locais para operação, desde que devidamente caracterizadas como emissões de radiação restrita e não ionizante.

O projeto contempla o desenvolvimento de um sistema completo de identificação por radiofrequência baseado na tecnologia RFID ativa, integrado com um

sistema de comunicações via satélite para longas distâncias, assim como as demais redes de comunicação disponíveis para o acesso remoto. Na Figura 1 pode-se observar os dispositivos IDC1 e IDG1, que respectivamente correspondem aos dispositivos desenvolvidos para realizar a comunicação entre os *transponders* RFID ativos e os transceptores de comunicação via satélite utilizados. Esta integração dos dispositivos RFID instalados em campo com um sistema de comunicação via satélite está sendo desenvolvido para expandir a área de monitoramento de uma rede PAN de identificação eletrônica, possibilitando o acesso remoto de longa distância a estas informações.

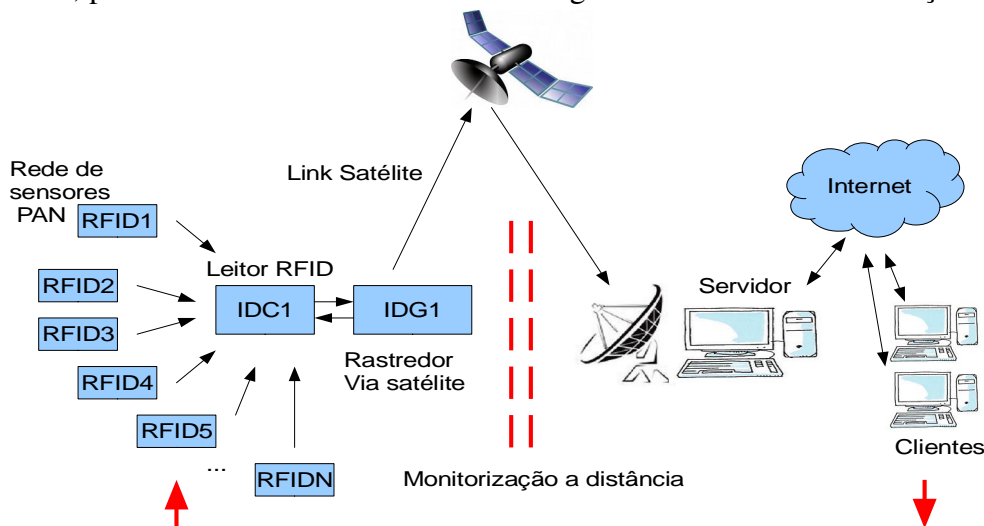


Figura 1. Rede de aquisição e comunicação de dados do IDC1

Estes dispositivos RFID ativos podem ser monitorados em um ambiente hostil ou em longas distâncias com apoio da rede via satélite, aumentando sua capacidade para monitorar remotamente diversos dispositivos em tempo real. O protocolo de integração desenvolvido garante a alta disponibilidade e eficiência de uso da banda de comunicação via satélite, viabilizando a utilização comercial em larga escala com baixo custo global.

## 2.2. Definição do protocolo e do hardware

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado um *Transceiver* NRF24LE1 (Nordic) com microcontrolador integrado e um sistema de transmissão via satélite para a rede da Globalstar, na banda L de frequências (em torno de 1,6 GHz), com módulo STX2 (Globalstar), microcontrolador MSP430FR5739 (Texas Instruments) e módulo GPS de localização H2035A (Maestro). Os dispositivos montados para os ensaios, que estão demonstrados na Figura 2, foram programados em linguagem C, com plataformas de desenvolvimento estabelecidas pelos fabricantes dos módulos. O espectro utilizado pelos *tags* ativos, especificado pelos *transceivers* da Nordic, ocupa os canais na mesma faixa de 2,4 GHz de outros sistemas de comunicação, como o Wi-Fi. A estratégia de prevenção de interferências adotada pelo protocolo é o FHSS (*Frequency-hopping spread spectrum*) [Ahson e Mohammad, 2008], que consiste em chavear aleatoriamente a portadora em 5 canais (2,404, 2,425, 2,442, 2,463 e 2,477 GHz), até que a comunicação entre os dispositivos seja estabelecida. Neste experimento os canais mais utilizados pela transmissão foram os canais 1 (2,404 GHz) e 2 (2,425 GHz), dada a robustez dos enlaces com os dispositivos, principalmente contra as interferências de sinal com o Wi-Fi.

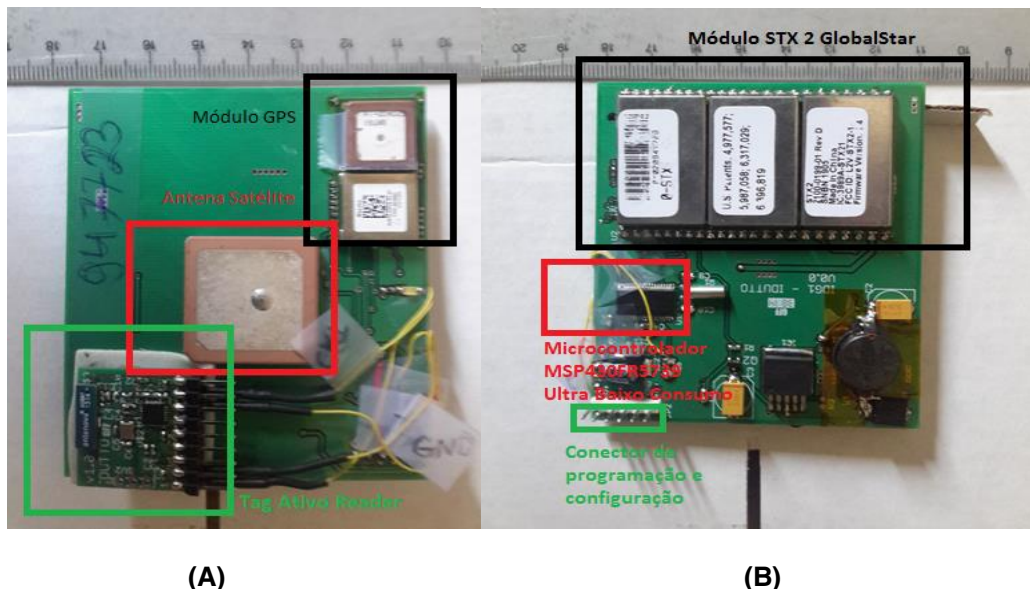


Figura 2. Hardware desenvolvido para realização dos ensaios com os protocolos. (A) Antenas e leitor do tag ativo (IDC1) acoplado. (B) Módulo de transmissão via satélite STX2 e unidade de processamento compoendo o IDG1

Os estados de operação, que estão demonstrados na Figura 3, foram adequados ao formato de transmissão do sistema via satélite da Globalstar simplex, que permite no máximo 54 bytes de tamanho de mensagem, limitando o envio de informação pela rede em 10 identificadores (IDs) para Tags ativos. A operação dos tags é definida pela resposta recebida da base, que define os tempos de ativação para os dispositivos da rede, e dessa forma, determina o consumo de energia para cada um dos dispositivos.

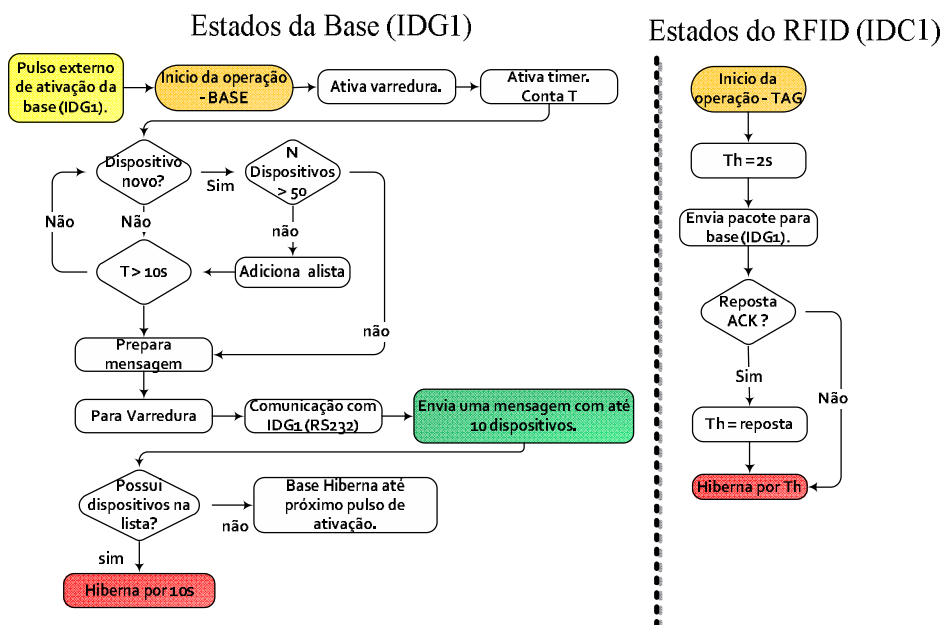


Figura 3. Estados de operação do sistema de leitura e operação dos tags RFID

O protocolo desenvolvido especificamente para a integração dos sistemas de comunicação deste projeto utiliza o formato demonstrado na Tabela 1, onde pode-se observar que estão sendo definidos bytes de identificação e controle dos dispositivos.

**Tabela 1. Formato dos dados utilizados na comunicação entre os dispositivos do projeto (*tags* e base *É host*)**

Pacote de Dados IDC1 ( <i>bytes</i> )		
Dado	Nome	Descrição
B0	TAG ID (6 <i>bytes</i> )	Identificação dos <i>tags</i> . Número único para cada dispositivo definido em <i>firmware</i> .
B1		
B2		
B3		
B4		
B5		
B6	FRAME DE CONTROLE	Contador de pacotes enviados usado para controle de perda de pacotes.
B7	COMANDO	Comandos usados para controlar dispositivo ( <i>device</i> ) e enviar parâmetros de configuração
B8	DADOS E ESTADOS	Dados de configuração e argumentos do comando.
B9		
B10		
B11		
B12		
B13		
B14	CRC 16	CRC calculado utilizando um polinômio de 16 <i>bits</i> para verificação da integridade dos pacotes.
B15		Calculado utilizando os <i>bytes</i> de dados (B0 a B13).

### 2.3. Medições de desempenho

Neste projeto foram utilizados *transponders* RFID ativos para se obter uma melhor dinâmica dentro de uma determinada área especificada de coleta de dados de identificação eletrônica. Nesta configuração, é importante observar e caracterizar de forma correta o consumo médio destes dispositivos ao longo do tempo. Estas informações devem ser utilizadas para gerar as especificações dos dispositivos em relação ao planejamento de sua manutenção preventiva, uma vez que possuem uma bateria ativa como fonte de alimentação e devem ser substituídas em intervalos de tempo conhecidos.

A medição de consumo de energia dos dispositivos foi direcionada para representar uma melhor aproximação dos valores máximos obtidos na operação real, seguindo procedimentos metrológicos definidos pelo Inmetro. O consumo foi referenciado diretamente com a capacidade de energia fornecida pela bateria, sendo monitorada a variação da corrente de alimentação do dispositivo em operação através de um osciloscópio digital, adicionando-se um resistor de 100  $\Omega$  como sensor de corrente. As medições foram efetuadas durante as transmissões de informação, enquanto o circuito estava ativo na rede, e durante o estado de hibernação. Neste procedimento os módulos NRF24LE1 foram posicionados à uma distância de 0,85 m entre a base e o *tag* ensaiado.

As medições de desempenho da transmissão do sistema foram realizadas em campo aberto para minimizar os efeitos de multipercurso de propagação, que são típicos destas frequências. Da mesma forma, o ambiente selecionado foi o campus do Inmetro em Xerém, Duque de Caxias -RJ, com o intuito de fornecer uma boa base metrológica para a reprodutibilidade dos resultados obtidos. Neste ambiente, pode-se padronizar as medições com a eliminação de qualquer eventual interferência de sinais da tecnologia Wi-Fi, tornando essas fontes de ruído negligenciáveis nestas medições.

Como procedimento, de uma forma mais ampla, uma destas placas foi mantida conectada em um computador portátil, enquanto que a outra atuava como sendo o *host* remoto, posicionado inicialmente a 10 m da interface anterior. Essas medições foram reproduzidas com incrementos de distância entre elas em uma razão de 10 metros a cada nova medição. Foram repetidos estes experimentos até alcançar os tempos médios de transmissão da ordem de 1 segundo.

Para a verificação da presença de eventuais sinais de espúrios não intencionais que pudessem afetar as medições nos ensaios em ambiente externo foi utilizado um analisador de espectros de radiofrequência (MS2721B, Anritsu), posicionado em uma linha de visada direta com o sistema em análise, a 2 m da base de leitura dos *tags*. Ao total foram realizadas três campanhas de medições (com a média do analisador de espectros definida com 20 interações), sem a presença de sinal dos módulos Nordic, com objetivo de caracterizar o piso de ruído no local da medição. Estes resultados foram utilizados para a calibração das medições de desempenho do sistema em operação.

### 3. Resultados e Discussão

Como principal premissa deste projeto foi definido que o sistema desenvolvido deveria apresentar a possibilidade de integração entre os dispositivos de identificação por radiofrequência ativos sobre um canal de comunicações via satélite. Essa integração entre os sistemas é necessária para aumentar a distância da rede de identificação RFID local e proporcionar o controle de forma remota em tempo real. Como o canal de comunicações via satélite opera sob demanda e possui tempos de ociosidade entre as transmissões dos dados, a otimização de uso de banda deste meio representa a possibilidade de interconectar sistemas RFID em ambientes remotos e *hostis*, com

centrais de controle e monitoramento distantes, mantendo um baixo custo relativo de comunicação através do compartilhamento destes recursos.

Após a calibração e análise de todos os dados obtidos nas campanhas de medições deste projeto, foram geradas tabelas de consolidação dos resultados. A Tabela 2 está demonstrando exemplos de valores de corrente de entrada típicos obtidos. Considerando-se o pior caso para o modo TX (modo de transmissão), onde o dispositivo permanece ativo por 1 ms, o consumo de energia à plena carga é de 8,1 mA. Por outro lado, no modo inativo, onde o dispositivo consome 1,2  $\mu$ A com tempo de inatividade mínimo estabelecido em 2 s, este apresenta um consumo médio de 4,05  $\mu$ A. Com estes resultados, pode-se observar que utilizando uma bateria CR2032 de 220 mAh (típica em *motherboards* de computadores), esta poderia fornecer uma vida útil para dispositivo RFID ativo de até 6 anos. Entretanto, nos ensaios em laboratório foi observado um consumo atípico com esse tipo de bateria de até 8,3  $\mu$ A (em alguns casos), o que limitaria no pior caso a operação do dispositivo em 3 anos sem manutenção.

**Tabela 2. Corrente de alimentação dos módulos Nordic**

	Modo de operação do dispositivo RFID ativo		
	Hibernando	Transmitindo TX	Esperando ACK
<b>Consumo Médio</b>	1,2 $\mu$ A	8,1 mA	7,5 mA

A eficiência da transmissão impacta diretamente na ocupação da banda disponível na comunicação via satélite, e desta forma também foi devidamente caracterizada para definir a melhor metodologia de otimização dos pacotes de dados neste meio. Na Tabela 3 pode-se observar os tempos médios para a transmissão dos dados de identificação em função da distância que se encontram. Observa-se uma tendência de incremento no tempo de transmissão com o aumento da distância entre os dispositivos de transmissão e recepção. Este valor de tempo deve ser observado para distâncias muito grandes, uma vez que pode atingir limiares de operação e comprometer a disponibilidade do sistema.

**Tabela 3. Tempo de transmissão em função da distância entre os hosts**

	Distância entre os hosts				
	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
<b>Tempo médio - TX</b>	203,0 ms	216,08 ms	200,88 ms	256,69 ms	325,69 ms

Nesta tabela pode-se ainda observar valores acima do intervalo de tempo máximo especificado, em torno de 200 ms (estimado nos ensaios), como o caso de 325 ms para a distância de 50 m. É importante observar que estes valores deverão ser omitidos neste projeto, pois frequentemente foi verificada a presença de erros de comunicação entre os nós da rede. Também é importante observar que as estimativas de distâncias de identificação deste projeto são de no máximo 30 m. Esse limite é justificado para oferecer a possibilidade de operação em ambientes onde a emissão de radiação é controlada, como áreas explosivas ou inflamáveis. Estes dispositivos foram configurados para operar com potência máxima de transmissão de 0 dBm (1 mW) e sensibilidade de -94 dBm para recepção, minimizando a possibilidade de causar ignição nestes ambientes.

#### 4. Conclusão

Neste projeto foi desenvolvido um sistema de integração de modernos dispositivos de identificação por radiofrequência ativos com enlaces de comunicação via satélite, para aplicações direcionadas à ambientes de difícil acesso ou hostis. Esta integração proporcionou o incremento na dinâmica leitura e de identificação dos dispositivos RFID desenvolvidos através do compartilhamento de banda da comunicação via satélite, possibilitando o monitoramento e identificação de bens e ativos com alta disponibilidade, de forma remota e em tempo real.

Através do protocolo elaborado para este projeto foi possível monitorar em tempo real até 10 *transponders* ativos em cada mensagem enviada pelo sistema de comunicações via satélite. Estas informações de identificação foram recebidas em um servidor remoto localizado em uma distância muito superior a dinâmica de leitura típica dos dispositivos RFID ativos utilizados, com alta disponibilidade e baixo custo de implementação.

Por se tratar de dispositivos de identificação ativos, foram realizados diversos ensaios em laboratório e em campo para determinar com maior exatidão qual o tempo médio recomendado para realização de manutenções periódicas para substituição da bateria interna. Os resultados obtidos apontam que por segurança cada *tag* RFID utilizado possui uma estimativa mínima de vida útil de sua bateria em torno de 3 anos, embora em condições ideais de utilização possam alcançar até o dobro deste tempo de operação.

Concluindo os ensaios, também foi avaliada a eficiência da comunicação dos *transponders* RFID em função de sua distância, uma vez que operam em baixas potências de transmissão. Mesmo que o tempo de transmissão sofra um incremento considerável de acordo com o aumento da distância, os resultados obtidos demonstram que nesta configuração ainda atendem os critérios de dinâmica e seletividade especificados para aplicação em diferentes ambientes de instrumentação.

O protocolo de comunicações implementado já está na fase de ensaios finais, onde vem demonstrando excelentes resultados. Isto nos permite visualizar a futura expansão da rede de monitoramento via satélite para dispositivos RFID de pequeno volume e custos reduzidos, quando comparado ao sistema de rastreamento convencional. Os sistemas ainda demonstram uma ótima capacidade de monitorar dispositivos a uma distância de até 50 m da base de leitura, permitindo formar redes adaptativas de sensores e monitoramento de pequeno raio de cobertura, ideal para aplicações de localização de dispositivos RTLS (*Real Time Location System*) em que se deseja manter a seletividade.

#### 5. Apoio Financeiro

Este projeto está sendo financiado pelo CNPq, FINEP e FAPERJ, visando apoiar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação em produtos e serviços através de aporte financeiro na forma de Subvenção Econômica, e recursos humanos através de Bolsas de Estudo, de acordo com a Lei nº 10.973/2004 (Lei da Inovação), Lei nº. 10.973/2004, regulamentada pelo Decreto nº. 5.563/2005, e Lei Estadual nº. 5.361/2008, regulamentado pelo Decreto Estadual nº. 42.302/2010.

#### 6. Referências

Dobkin, Daniel M., *The RF in RFID: Passive UHF RFID In Practice*, Newnes 2008 ISBN 978-0-7506-8209-1, chapter 8.



Ahson, Syed A. and Ilyas, Mohammad (2008). RFID handbook: applications, technology, security, and privacy Boca Raton: CRC Press. p. 478. ISBN 9781420054996.

Alvarenga, F. R. P, et al., Utilização do sistema de posicionamento integrado (SPI) durante as operações off-shore na Petrobras, IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, maio de 2012, p. 001 - 007.

"Radio Regulations, Edition of 2012". ITU-R. Retrieved 2014-11-10.

Adair, Nick, Radio Frequency Identification (RFID) Power Budgets for Packaging Applications, PGK-491, pp. 2-11, November 2005.