

Carregamento Sem-Contacto de Baterias para Veículos Militares

André Pereira
CINAMIL, Academia Militar
Lisboa, Portugal
pereira.ammg@exercito.pt

José Gerald
INESC-ID, IST-UL
Lisboa, Portugal
jabg@ist.utl.pt

António Serralheiro
CINAMIL, Academia Militar
Lisboa, Portugal
ajserralheiro@gmail.com

Resumo—Este artigo apresenta um estudo sobre o comportamento e otimização dos parâmetros de uma transferência de energia sem fios, focando em diferentes configurações e geometrias de bobinas de carregamento, bem como em componentes de um módulo de carregamento. Primeiramente, foi elaborado um estudo destinado a compreender os benefícios e limitações da utilização da carga sem fios como alternativa ao carregamento com fios atualmente utilizados em veículos militares. Posteriormente, e com toda a investigação e resultados como base, uma implementação proposta para o sistema de carregamento sem fios foi desenvolvida e testada. Utilizando a distância como parâmetro variável, verificou-se o comportamento da amplitude do sinal e comparou-se os desempenhos de cada bobina, chegando a conclusões sobre qual geometria é mais adequada para garantir a melhor forma, alcance e intensidade do campo magnético gerado de uma transferência de energia. Foi desenvolvido e testado um protótipo com estruturas 3D para a bobina emissora e recetora, e foi concebida uma proposta para um sistema de carregamento sem fios. Esta proposta inclui requisitos do sistema, arquitetura, protocolo de comunicação e implementação, tendo em conta as características do ambiente de carregamento e as suas necessidades energéticas.

Palavras-Chave: Acoplamento Indutivo, Campo Magnético, Carregamento Sem fios, Estandarização, Geometria de Bobinas

I. INTRODUÇÃO

A energia sem fios está a evoluir rapidamente da teoria para a utilização comum em diferentes áreas de investigação. Estudos recentes têm tentado apropriar-se da forma e dimensões das bobinas utilizadas nos módulos de carregamento, a fim de acomodar as necessidades do equipamento que está a ser carregado, facilitar a transferência de energia e reduzir a perda desta[1]. Aspectos como a indutância, coeficiente de acoplamento, fator de qualidade e resistência parasita entre transmissor e recetor são parâmetros importantes a considerar quando se pretende otimizar um sistema de transmissão de energia sem fios, a fim de garantir alto desempenho. Estas variáveis podem ter um impacto significativo na eficiência da transferência de energia, alterando simplesmente o tamanho ou a geometria das bobinas[2].

A base deste trabalho assenta no estudo de um sistema de carga sem fios capaz de alimentar uma bateria, o DSI-104. Esta bateria, que está atualmente em desenvolvimento pela empresa EID, é o componente central da arquitetura do projeto Sistemas de Combate do Soldado (SCS) e irá permitir o

fornecimento de energia aos equipamentos transportados pelo soldado, bem como a troca bidirecional de dados.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um estudo conciso dos atuais métodos e ambientes de carregamento militar e arquiteturas de referência. O estudo comportamental de sistemas baseados em Acoplamento Indutivo, usando equipamento de referência, e trabalhos relacionados são a base para a componente teórica e experimental deste projeto. Este estudo compreende investigação rigorosa sobre o desempenho, funcionalidades, capacidades, forma, e alteração de parâmetros de transmissão de energia sem fios com comparação de resultados, a fim de melhor compreender que abordagem se adequa melhor ao problema em questão. O sucesso deste trabalho também se baseia na proposta de um sistema de carregamento sem fios que inclui, no seu desenvolvimento, toda a investigação e resultados alcançados durante a fase experimental.

II. ESTADO DA ARTE

A. Transferência de Energia nos Sistemas de Combate do Soldado

O programa Standard Architecture for Soldier Systems (STASS) é uma arquitetura proposta pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) que reflete a necessidade e a procura de normalização nos sistemas do soldado, centrando-se principalmente no aspeto da transferência de dados e de energia[3]. Este programa visa promover a normalização, interoperabilidade e permutabilidade para os programas SCS e reduzir os esforços de cablagem, tudo isto ao mesmo tempo que permite a inovação através da atualização dos subsistemas existentes em novas possibilidades, mais dinâmicas e fáceis de usar.

B. DSI-104 - Data and Power Hub

O DSI-104, visto na figura 1, é um protótipo de uma bateria central de Dados e Energia que será implementado no programa SCS e está, atualmente, em desenvolvimento pela EID - Sistemas de Comunicação de Defesa[4]. Este componente é a base do ambiente de carregamento deste trabalho e serve o sistema como seu componente principal, permitindo que os dados e a energia cheguem e provenham dos dispositivos portáteis, pelo que é necessário criar um sistema de carregamento deste dispositivo que não restrinja

os movimentos do soldado, e que seja capaz de carregar eficientemente o equipamento transportado.



Figura 1. DSI-104 - Bateria central para dados e energia. Retirado de [4].

C. Acoplamento Indutivo

Acoplamento Indutivo é um tipo de tecnologia de transferência de energia sem fios de campo próximo, onde dois condutores são fixados de forma a que, qualquer alteração que possa acontecer na corrente de um fio, induza uma tensão na outra extremidade do dispositivo acoplado, utilizando o princípio da indução electromagnética.

Carregamento Indutivo (CI) é o processo em que uma bobina, **primária**, de um transmissor de energia é definida para gerar um campo magnético variável numa outra bobina do sistema, **secundária**, que está presente no módulo recetor. A bobina do recetor tem de estar dentro do campo gerado pela bobina transmissora[5].

A lei de Biot-Savart apresenta a relação entre um campo magnético e a magnitude, proximidade, comprimento e direção de uma corrente elétrica que o atravessa. Como esta lei afirma, o campo magnético é inversamente proporcional ao quadrado da distância r entre o elemento da corrente e um determinado ponto, assumindo o seguinte:

$$dB \propto \frac{1}{r^2} \quad (1)$$

O coeficiente de acoplamento (k) é o parâmetro que define a quantidade de fluxo que passa para a bobina recetora. Os seus valores vão de 0 a 1, sendo 1 o transformador ideal, em que ambos os indutores têm o mesmo fluxo magnético [6]. O coeficiente de acoplamento k é dado por:

$$k = \sqrt{1 - \frac{L_s}{L_1}} \quad (2)$$

onde L_1 é a indutância da bobina transmissora e L_s é a indutância na bobina transmissora com a bobina recetora em curto circuito.

D. Acoplamento Magnético Ressonante

Acoplamento Magnético Ressonante é muito semelhante ao indutivo em termos de arquitetura, com a diferença que o primeiro tem uma capacidade em ambas as bobinas, tornando-as ressoantes. Os dois ressonadores são então acoplados, como no caso do CI, mas desta vez a energia é transferida de um ressonador para o outro [7]. A indutância de ambas as bobinas é utilizada em função da sua geometria nos cálculos,

sendo o coeficiente de acoplamento magnético para bobinas de ressonância (k_r) definido como:

$$k_r = \frac{L_M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3)$$

onde L_M é a indutância mútua do sistema, L_1 e L_2 são a indutância das bobinas emissora (TX) e recetora (RX), respetivamente. Quando a distância entre as bobinas é comparável ao raio efetivo das bobinas, o acoplamento magnético pode ser realizado. Para estes casos, a expressão anterior torna-se na seguinte:

$$k_r \approx \frac{1}{\left[\frac{1}{1 + 2 \frac{2}{3} \left(\frac{d}{\sqrt{r_1 r_2}} \right)^2} \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

onde r_1 e r_2 são os raios das bobinas de transmissão e receção e d representa a distância entre os centros das bobinas.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

A. Influência no Padrão de Radiação do Campo Magnético

Mohamed *et al.*[2] mostra que o padrão de fluxo magnético de uma bobina cilíndrica se apresenta simétrico em ambos os lados da bobina. Nos resultados da bobina cónica, o padrão do campo magnético é consideravelmente maior no raio superior, o que sugere uma densidade e forma do campo magnético cada vez maiores e mais fortes[2]. Com este trabalho, foi possível concluir que o desenho da bobina cónica permite um melhor alcance e largura do campo eletromagnético, e uma melhor eficiência global do sistema, tornando-o ideal para aplicações que necessitam de um caminho mais largo e direcional para o campo magnético[2].

B. Melhoria da Distribuição do Campo Magnético

Liyuan *et al.*[8] propõe uma abordagem de uma bobina quadrada em espiral planar, a fim de se conseguir uma distribuição uniforme do campo magnético. O alcance do fluxo magnético numa bobina circular provou ser baixo, o que exige que a posição da bobina primária e secundária seja crucial para manter uma ligação. Os resultados provaram que a densidade do fluxo magnético é bastante uniforme, com apenas uma pequena depressão no centro da bobina, o que levou a concluir que a superfície da espiral quadrada plana da bobina tem uma distribuição uniforme do campo magnético axial, tornando possível aumentar a área de alcance do campo magnético.

IV. TRABALHOS TEÓRICOS

A. Influência do Coeficiente de Acoplamento na Transferência de Energia

A fim de ter um conjunto realista de valores do coeficiente de acoplamento (k) de uma transferência de energia por acoplamento indutivo, foram tirados valores de indutância e fator de qualidade através de um conjunto de bobinas. Todas as bobinas foram desenvolvidas no decorrer deste trabalho, à exceção das bobinas planas e ovais que eram as bobinas

originais dos módulos de carregamento utilizados. Nos cálculos teóricos seguintes, foram utilizados cinco conjuntos de bobinas, que são os seguintes:

- Duas bobinas ovais planas, TX_{flat} e RX_{flat} , que eram as bobinas originais dos módulos de energia sem fios utilizados;
- Duas bobinas cónicas com valores semelhantes de indutância das bobinas planas acima mencionadas, TX_{con} e RX_{con} ;
- Duas bobinas cónicas com os melhores resultados de eficiência teórica, $TX_{con_{opt}}$ e $RX_{con_{opt}}$;
- Duas bobinas retangulares com valores semelhantes de indutância das bobinas planas, TX_{rect} e RX_{rect} ;
- Duas bobinas retangulares que tiveram os melhores resultados teóricos de eficiência, $TX_{rect_{opt}}$ e $RX_{rect_{opt}}$.

As bobinas cónicas e retangulares ótimas com os melhores resultados foram utilizadas apenas para cálculos teóricos. Os seus valores de indutância não coincidiram com os das bobinas ovais planas, o que significa que, embora fossem as bobinas mais otimizadas para a geometria em questão, não estavam devidamente adaptadas para funcionar com os módulos de energia utilizados no trabalho prático. Os valores da indutância de cada bobina (L_i), da indutância medida através da bobina TX com a bobina RX em curto circuito (L_s), do fator de qualidade (Q) e das dimensões da bobina foram medidos para cada bobina. Usando a equação 2, foi possível obter o coeficiente de acoplamento (k) deste sistema.

Olhando para a tabela I, a maior eficiência é alcançada quando se utiliza uma bobina cónica.

	k	$R_{L_{opt}}(\Omega)$	η
TX_{flat} and RX_{flat}	0.62	9.25	90.3 %
TX_{con} and RX_{con}	0.56	3.76	80.4 %
$TX_{con_{opt}}$ and $RX_{con_{opt}}$	0.69	13.16	93.3 %
TX_{rect} and RX_{rect}	0.42	3.52	56.5 %
$TX_{rect_{opt}}$ and $RX_{rect_{opt}}$	0.60	21.75	77.3 %

Tabela I

MEDIÇÕES DA EFICIÊNCIA USANDO OS COEFICIENTES DE ACOPLAMENTO EXPERIMENTAIS.

Olhando para os valores de bobinas ovais planas, é possível alcançar a maior eficiência do sistema com uma resistência de carga de 9,253 Ω para o par de bobinas TX_{flat} e RX_{flat} . Os valores teóricos para os $R_{L_{opt}}(\Omega)$ são 3,758 Ω e 3,522 Ω , respetivamente para as bobinas cónicas e retangulares.

B. Influência da Variação da Distância no Coeficiente de Acoplamento de Bobinas Ressonantes

Para recolher resultados sobre os efeitos da variação da distância na eficiência da transferência de energia, foi utilizada uma expressão do coeficiente de acoplamento (k_r) de bobinas ressonantes, que utiliza a distância como variável, como é possível ver na equação 4.

Nos cálculos seguintes, foi testada a eficiência dos cinco conjuntos de bobinas utilizadas e referenciadas na secção, IV-A. A distância máxima testada foi de 6 cm, a fim de seguir a mesma variação feita na parte experimental. Como esperado, o rendimento global do sistema diminui em função da distância.

Na figura 2, todas as curvas de eficiência são representadas em conjunto, de modo a compreender melhor as diferenças entre cada um e cada conjunto de bobinas. A diferença entre os conjuntos de bobinas retangulares e os outros conjuntos é claramente visível, e prova que $TX_{rect_{opt}}$ e $RX_{rect_{opt}}$ têm os melhores resultados em termos de diminuição da eficiência de todos os cinco conjuntos.

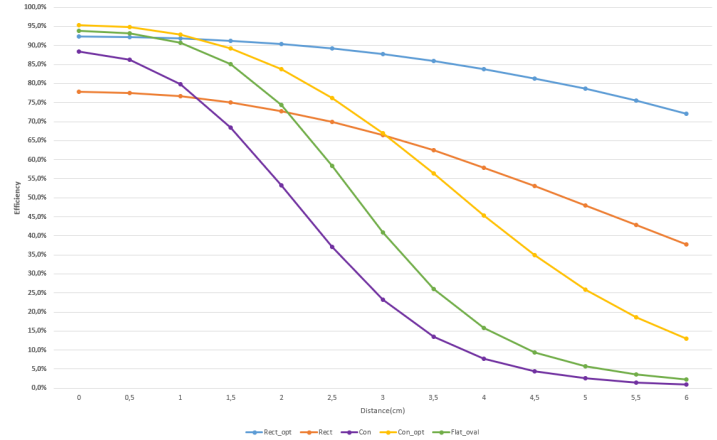


Figura 2. Comparação da eficiência entre todas as bobinas.

O conjunto de bobinas cónicas ótimas, $TX_{con_{opt}}$ e $RX_{con_{opt}}$, apresenta a maior eficiência possível, com 95.4 %, e mantém a maior percentagem, até 1 cm de variação de distância. Devido à sua curva de declive lento, o conjunto de bobinas retangulares ótimas, $TX_{rect_{opt}}$ e $RX_{rect_{opt}}$, têm a maior eficiência quando comparados com os outros conjuntos para todas as distâncias acima de 1.5 cm.

V. SISTEMA: AVALIAÇÃO E TRABALHOS EXPERIMENTAIS

A. Influência da resistência da carga na eficiência da transferência de energia

Na experiência seguinte, foi utilizado um reóstato para monitorizar cuidadosamente a variação da eficiência do sistema, de modo a recolher informações sobre o valor ótimo de resistência de carga ($R_{L_{opt}}$). Um voltímetro e um amperímetro foram utilizados para medir a tensão e a corrente na extremidade do recetor. Com estes valores tirados, a potência do recetor podia ser calculada para cada valor de resistência de carga utilizado.

Foram feitas medições para cada valor de resistência de carga testado, alcançando, para cada conjunto de bobinas, um intervalo correspondente a ($R_{L_{opt}}$). Para as bobinas ovais planas, os valores de $R_{L_{opt}}$ descansaram entre os intervalos de 6.42 Ω e 10.61 Ω . Para as bobinas cónicas, o $R_{L_{opt}}$ é encontrado entre os valores de 2.82 Ω e 4.80 Ω . Finalmente, para as bobinas retangulares, a resistência de carga ótima encontra-se entre os valores de 2.38 Ω e 4.62 Ω .

Atingir a resistência de carga mais compatível para cada bobina promove a melhor condição para uma transferência de potência mais estável, e mais elevada. Também foi possível

comparar estes resultados com os obtidos através de deduções teóricas, na secção IV-A, e chegar à conclusão de que os resultados se encaixam nos mesmos intervalos.

B. Comportamento da Amplitude do Sinal com a Variação da Distância das Bobinas

Ao utilizar diferentes conjuntos de bobinas, foi possível obter informações sobre como as dimensões, forma e número de voltas influenciam a eficiência da transferência de energia. Estas bobinas foram submetidas aos mesmos testes e ao mesmo ambiente, a fim de recolher resultados práticos e precisos. O conceito das experiências era o de afastar a bobina de teste dos módulos TX e RX, que estavam estacionários e a estabelecer uma conexão, de forma a tirar valores de amplitude de sinal em distâncias diferentes. Ao mover esta bobina de teste, a medição da amplitude do sinal (mV) com variação vertical e horizontal da distância, foi possível sem quebrar a ligação. A bobina de teste foi ligada a um osciloscópio a fim de efetuar leituras da amplitude do sinal.

As experiências de variação de distância tiveram o objetivo de mostrar a diferença entre o comportamento e a forma do campo magnético de três conjuntos de bobinas com geometrias distintas. A fim de realizar este estudo, foram realizadas medições da amplitude do sinal em cada conjunto de bobinas e comparadas, concentrando-se principalmente no padrão da curva de amplitude.

A figura 3 mostra os resultados dos três testes de variação de distância, a partir dos conjuntos de bobinas planas ovais, cónicas e retangulares. Estes resultados retratam as diferenças de comportamento da amplitude do sinal em função da distância, concentrando-se unicamente na forma da curva.

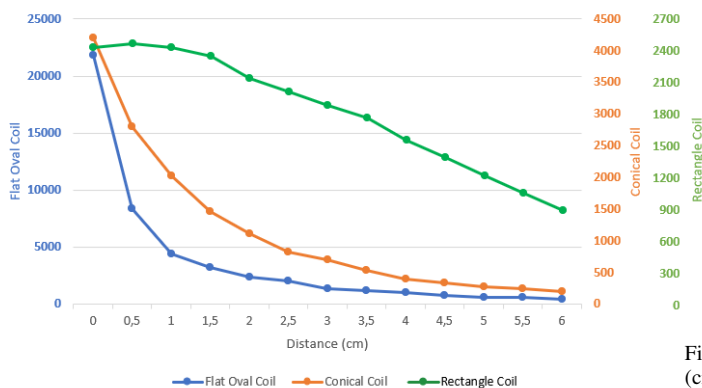


Figura 3. Comportamento de Amplitude de Sinal (mV) com Variação de Distância Vertical (cm) para os Três Conjuntos de Bobinas.

Estes resultados provam que as bobinas com geometria cónica produzem um campo magnético consideravelmente mais denso e maior em comparação com a geometria cilíndrica. Uma bobina oval plana apresenta uma forma de campo magnético simétrica em ambos os lados. Uma bobina que apresenta uma curvatura para cima, tal como as bobinas cónicas e

retangulares, terá um campo magnético redirecionado, maior e mais denso no lado maior.

Como resultado desta experiência, o diâmetro e a forma das bobinas influenciam o padrão de radiação emitida.

A figura 4, mostra resultados semelhantes para a variação horizontal da distância. Neste caso, não há grande diferença entre os resultados das bobinas cónicas, e das ovais planas, uma vez que o seu diâmetro é muito semelhante. Por outro lado, as bobinas retangulares apresentam um comportamento muito diferente das outras, tendo uma amplitude ascendente até à marca dos 3.5 cm, só diminuindo a sua amplitude em distâncias maiores.

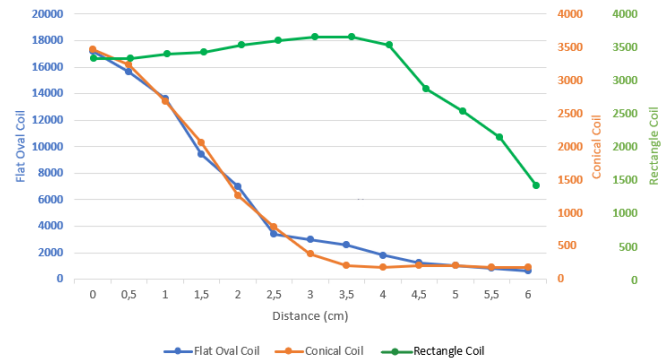


Figura 4. Comportamento de Amplitude de Sinal (mV) com Variação de Distância Horizontal (cm) para os Três Conjuntos de Bobinas.

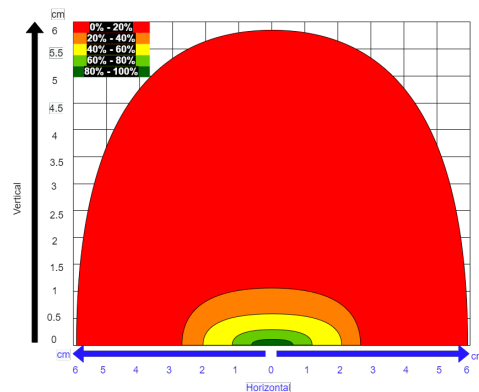


Figura 5. Variação em amplitude (mV) com distância vertical e horizontal (cm) para uma Bobina Oval Plana.

Na figura 5, é possível ver a variação da eficiência da transferência de energia. Esta figura compreende variações de distância verticais e horizontais em relação aos resultados dos testes ovais da bobina. O valor da amplitude pico a pico quando o recetor é acoplado ao transmissor a 0 cm foi considerado como eficiência de 100 %.

Os resultados das experiências com bobinas ovais mostram uma maior variação da amplitude do sinal com a distância vertical em comparação com a distância horizontal. A uma distância vertical de 0.5 cm, a amplitude do sinal já é de 60

a 40 % da eficiência máxima registada. Por outro lado, no teste horizontal, a amplitude do sinal só cai abaixo de 20 % a cerca de 1 cm. Estes resultados mostram a elevada volatilidade e instabilidade deste sistema de energia sem fios. A fim de evitar uma diminuição da eficiência, a bobina transmissora e recetora deve estar sempre acoplada fisicamente ou a uma distância muito curta uma da outra durante a transferência de energia.

Olhando para a figura 6, é apresentada a mesma variação de eficiência que na figura 5, mas para as bobinas cónicas.

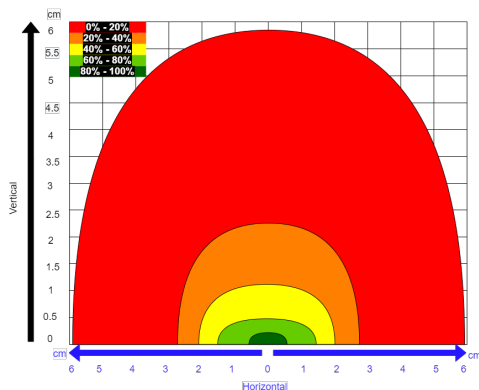


Figura 6. Variação em amplitude (mV) com distância vertical e horizontal (cm) para uma Bobina Cónica.

Neste caso, o comportamento da amplitude do sinal é muito semelhante, em termos de variação horizontal da distância, à das bobinas ovais planas, mas há uma clara diferença quando se trata de distância vertical. Estes resultados mostram uma clara melhoria em termos de alcance do campo magnético a partir da bobina cónica, quando comparada com as bobinas ovais planas.

O gráfico apresentado na figura 7 apresenta o comportamento da amplitude do sinal a partir das experiências de variação vertical e horizontal da distância com bobinas retangulares.

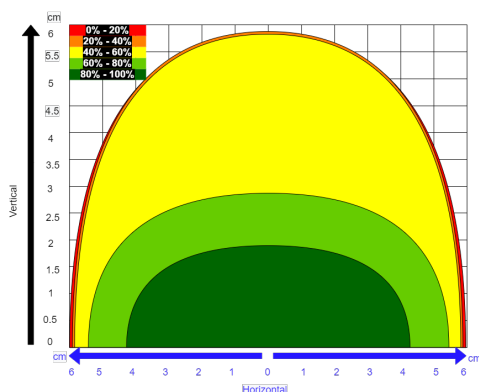


Figura 7. Variação em amplitude (mV) com distância vertical e horizontal (cm) para uma Bobina Retangular.

A eficiência é mantida acima dos 80 % a cerca de 2 cm na escala vertical e 4 cm na horizontal, não descendo abaixo dos

40 % até atingir os 6 cm. Este conjunto distinto de resultados vem como prova de como as bobinas retangulares diferem dos outros dois conjuntos de bobinas em termos de alcance do campo magnético.

C. Teste da Influência das Bobinas "Adormecidas" na Transferência de Energia Sem Fios

O objetivo deste teste era compreender a influência na transferência de energia sem fios da utilização de múltiplas bobinas TX. Para tal, foram realizados dois testes utilizando o Módulo Transmissor ASHATA e o recetor Zerone Wireless Power. Para o primeiro teste, foi estabelecida uma conexão entre o transmissor, com três bobinas, e o recetor, utilizando a bobina central como bobina transmissora. Uma bobina de teste oval foi utilizada para medir a variação da amplitude do sinal com a variação vertical da distância. Para o segundo teste, a mesma experiência foi realizada utilizando o transmissor com apenas uma bobina, tendo as outras sido removidas. Os resultados mostraram que a amplitude do sinal é 1.46 vezes maior no seu pico quando se utiliza apenas uma bobina. No entanto, a amplitude de sinal decresce mais, com a distância, no caso em que se usou apenas uma bobina. Com estes resultados, é possível dizer que um sistema composto de apenas uma bobina no extremo de transmissão é capaz de transmitir com uma maior amplitude de sinal. Por outro lado, a utilização de um transmissor de três bobinas permite uma diminuição mais lenta da potência do sinal com a distância.

D. Influência de Ímanes na Eficiência da Transferência de Energia

Um sistema de carregamento sem fios tem um sistema de deteção de objetos estranhos bastante complexo. Devido a isto, e a fim de verificar se os ímanes perturbam de alguma forma a ligação entre as bobinas, a sua influência foi testada num sistema de carregamento sem fios. Para isso, foi utilizado o mesmo princípio de teste e equipamento da secção V-B, onde a variação da amplitude do sinal foi medida utilizando uma bobina que varia com a distância da ligação sem fios. Foram realizados dois testes, um com um íman presente e outro sem, e ambas as experiências foram comparadas.

Foi possível concluir que o uso de ímanes não teve influência na integridade da transferência de energia e não diminuiu a sua eficiência. Em termos do trabalho em curso, a utilização de ímanes é uma opção viável para facilitação do acoplamento dos dois módulos de carregamento.

VI. PROPOSTA PARA O SISTEMA DE CARREGAMENTO SEM FIOS

Foi escolhido um sistema de carregamento por indução, baseado em transferência de energia sem fios de campo próximo, como método de carregamento para garantir os requisitos de potência, segurança e tempo. Estes sistemas concentram-se em WPT de curta distância com uma elevada potência de saída, o que permite reduzir ao mínimo o tempo de carga. O IC utiliza um método não-radiativo de carregamento sem fios,

pelo que não há preocupações com o bem-estar dos utilizadores, desde que o tempo de utilização e as especificações do produto cumpram os regulamentos de segurança impostos[9]. O problema de ter a necessidade de manter uma ligação de curta distância para ter uma transferência de energia de alta eficiência foi abordado durante a investigação, explorando diferentes geometrias de bobina, de modo a criar uma maior amplitude de campo magnético, e uniformidade, tudo isto sem perder intensidade. Para melhorar o alcance da transferência sem fios, uma forma cônica da bobina provou ser a melhor opção, devido ao seu campo magnético unidirecional e mais forte. Uma forma retangular provou ser a mais eficiente em termos de distribuição do campo magnético em todo o alcance da bobina. Com isto, veio o desenvolvimento das estruturas do protótipo, visto na figura 8. Esta figura também contém os módulos de transmissão e receção utilizados no decorrer deste trabalho.

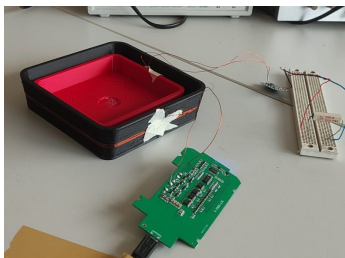


Figura 8. Sistema de Carregamento Sem Fios Montado com Ambas as Estruturas 3D.

A estrutura exterior (cor preta), envolvida pela bobina emissora, tem uma ligeira curvatura para cima de 10° , tendo uma natureza trapezoidal. A estrutura mais pequena (cor vermelha), envolvida pela bobina recetora, insere-se no interior da estrutura exterior de modo a estabelecer a conexão entre os módulos. A estrutura interior foi desenvolvida com as mesmas dimensões que a bateria central DSI-104, de forma a replicar este componente.

O conceito desta abordagem baseia-se em funcionalidade e praticidade à volta da bateria central, permitindo um acoplamento de forma simples e eficaz, e que não restrinja, em excesso, a mobilidade do usuário, como se vê na figura 9.

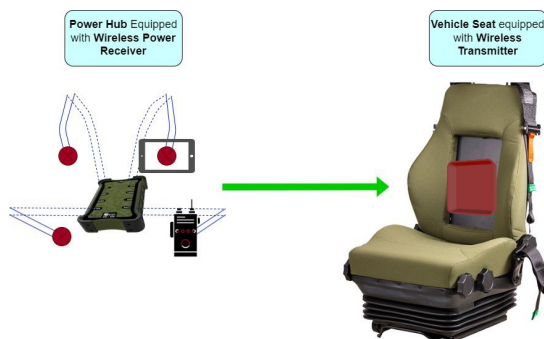


Figura 9. Conceito de Implementação do Sistema

VII. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta a investigação sobre a possibilidade de implementar um sistema de carregamento sem fios capaz de carregar eficazmente dispositivos portáteis em veículos militares. Para este efeito, foi realizada uma série de estudos, incluindo deduções teóricas, e trabalhos experimentais, com o objetivo de encontrar o conjunto de parâmetros mais viável para este sistema, tais como arquitetura, níveis do sinal e arquitetura global, tendo sempre em conta o ambiente de trabalho muito específico.

As deduções teóricas criaram um importante ponto de partida para a investigação. O objetivo de compreender o peso do coeficiente de acoplamento (k) na transferência de potência, bem como a forma como a variação da distância altera este parâmetro, contribuiu para uma base teórica que ajudou a orientar os avanços do trabalho prático, bem como a reforçar os seus resultados.

Ao comparar os resultados da variação da amplitude do sinal com a distância, como principal parâmetro variável, em três conjuntos de bobinas com formas distintas, cada uma com um raio e formato diferentes, foi possível chegar a uma conceção otimizada da bobina para o ambiente de carregamento em questão. Além disso, os resultados das experiências sobre o comportamento da transferência de potência quando expostos a diferentes configurações, tais como a variação da resistência da carga do módulo RX, e o impacto de fatores internos ou externos, tais como a presença de ímanes, tornaram possível montar uma visão concisa e prática sobre o melhor método em termos de conceção global do sistema.

A implementação proposta do sistema tem, no seu centro, o desenho do protótipo de bobina, que foi desenvolvido e testado com o único objetivo de alimentar eficazmente o DSI-104 - Bateria Central de Dados e Energia. Esta proposta foi desenvolvida tendo em conta o seu ambiente de carregamento, dimensões, e capacidades.

REFERÊNCIAS

- [1] Y. Xu, J. Zhang, S. Xia, al, Y. Li, H. Liu, Y. Xu, N. Sari, M. Khoiro, A. Rohedi, G. Yudoyono, and Y. Pramono, "Power efficiency analysis in various types of coil design."
- [2] N. F. A. Mohamed, S. H. S. A. Tabouni, and M. H. Abdulsalam, "Design of innovative conical coil transmitter for efficient delivery of wireless power in inductive communication systems."
- [3] European Defence Agency, "Standard architecture for soldier systems," 2016.
- [4] "Eid-land: Personal radios," 2021, accessed: 05-Mar-2022. [Online]. Available: <https://www.eid.pt>
- [5] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, and Z. Han, "Wireless charging technologies: Fundamentals, standards, and network applications," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 18, pp. 1413–1452, 4 2016.
- [6] R. Matias, B. Cunha, and R. Martins, "Modeling inductive coupling for wireless power transfer to integrated circuits," *2013 IEEE Wireless Power Transfer, WPT 2013*, pp. 198–201, 2013.
- [7] N. Shinohara, "The wireless power transmission: inductive coupling, radio wave, and resonance coupling," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 1, pp. 337–346, 11 2012.
- [8] Y. Liyuan, L. Shushu, N. Pingjuan, S. Hao, M. Run, and C. Zheng, "Novel square spiral coil for achieving uniform distribution of magnetic field," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 332, 11 2019.
- [9] "Wireless power consortium," 2021, accessed: 20-Nov-2021. [Online]. Available: <https://www.wirelesspowerconsortium.com/>