

UTILIZAÇÃO DE EMISSORES E RECEPTORES EM ATIVIDADES DESPORTIVAS: TRABALHO ARTICULADO ENTRE MATEMÁTICA E ENGENHARIA APLICADO A UM PROBLEMA DO FUTEBOL

Claus Haetinger¹, Marcelo Malheiros², Mauro Martens³, Robson Schaeffer⁴,
Diego Müller⁵ e Michael Marques⁶

RESUMO: Este artigo é baseado em projeto apresentado na disciplina Trabalho Multidisciplinar I dos cursos de Engenharia da Computação, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia da Produção do Centro Universitário UNIVATES. Basicamente propomos a utilização de receptores e emissores para o monitoramento de uma bola de futebol, apontando se ultrapassou ou não a linha do gol. Ademais, descrevemos comparativamente diversas formas de monitoramento cabíveis para essa situação. Finalmente, propomos modelo alternativo para tal monitoramento, a custo mais baixo, utilizando técnicas matemáticas de trilateração. Sob o aspecto educacional, o texto mostra parceria entre a Matemática e as Engenharias, ilustrando exemplo de multidisciplinaridade.

PALAVRAS-CHAVE: Trilateração. Emissores e Transmissores. Multidisciplinariedade. Futebol.

¹ Doutor em Matemática (Álgebra), Professor Titular do Centro Universitário UNIVATES, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Endereços para correspondência. Avenida Avelino Tallini, 171, Bairro Universitário, CEP 95900-000, Lajeado-RS, chaet@univates.br, URL: <http://ensino.univates.br/~chaet>

² Mestre em Engenharia Elétrica, Professor Assistente no Centro Universitário UNIVATES, Coordenador dos cursos de Engenharia da Computação e Análises de Sistemas da UNIVATES, mgm@univates.br

³ Mestre em Engenharia de Produção (Qualidade e Produtividade), Professor no Centro Universitário UNIVATES, maurom@univates.br

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica (Instrumentação e Automação), Professor Assistente do Centro Universitário UNIVATES, Coordenador do curso de Engenharia de Controle e Automação da UNIVATES, robsons@univates.br

⁵ Acadêmico do curso de Engenharia da Computação da UNIVATES, bolsista de Iniciação Científica do CNPq, dmuller@univates.br

⁶ Acadêmico do curso de Engenharia da Computação da UNIVATES, bolsista de Iniciação Científica do CNPq, michaelm@univates.br

THE USE OF TRANSMITTERS AND RECEIVERS IN SPORT ACTIVITIES: A JOINT WORK OF MATHEMATICS AND ENGINEERING APPLIED TO A FOOTBALL PROBLEM

Abstract: This article is based on a project developed in the courses of Multidisciplinary Work I of the Computer Engineering, Automation and Control Engineering and Production Engineering programs at UNIVATES - University Center. Basically it proposes the use of transmitters and receivers for the monitoring of a ball in football games, signaling if it has passed or not through the goal line. Besides, it presents comparative forms of monitoring which could be applied to this case. Finally, an alternative method is proposed for this task, at a lower cost, using mathematical trilateration techniques. On the educational side, it aims to show a partnership between Mathematics and Engineering as an example of multidisciplinary.

Key words: Trilateration; Receivers and Transmitters.; Multidisciplinary; Football.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em várias atividades desportivas é extremamente difícil ao árbitro que as conduz tomar posição em jogada que inspire dúvida. Ocorrem assim muitos erros de arbitragem, decisões equivocadas, que, muitas vezes, mudam a história de campeonatos.

O esporte ocupa posição importante em qualquer sociedade e nenhum motiva tanto o Brasil como o futebol, sendo o esporte mais popular do mundo e movimentando trilhões de dólares por ano em negócios.

O futebol, como nossa paixão popular e esporte número um, encena um ritual coletivo de intensa densidade dramática e cultural, em consonância com a realidade brasileira. É a combinação de simbologias, por meio das quais podemos estudar o Brasil (Murad, 1996).

Sendo um esporte tão importante, é absolutamente necessário que seja o mais justo possível para ambas as equipes que se confrontam, bem como para todos os setores envolvidos com o resultado das partidas. Por mais competente que seja o árbitro, é praticamente impossível permanecer atento e fisicamente próximo a todos os lances do jogo. Segundo Becker (2000), espectadores, dirigentes, treinadores e atletas acusam, abertamente, os árbitros como maiores culpados dessa escalada de agressão e violência que ocorre no futebol mundial. Carregando tanta responsabilidade, não é difícil afirmar que os árbitros sejam psicologicamente afetados, tornando-se inseguros e aumentando a probabilidade de erro na interpretação das regras. Junte-se a isto a rapidez com que o árbitro deve tomar cada decisão, muitas vezes com a visão da linha do gol parcialmente obstruída por vários jogadores. Neste caso, a utilização de sensores para

detectar se a bola cruzou a linha do gol mostra-se uma ferramenta pertinente de auxílio aos árbitros e seus auxiliares. Estamos propondo um modelo de uso de emissores e receptores em práticas desportivas, com ênfase maior no futebol, objetivando minimizar esses erros.

Este artigo é baseado em um projeto apresentado na disciplina Trabalho Multidisciplinar I dos cursos de Engenharia da Computação, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia da Produção do Centro Universitário UNIVATES, ministrada no semestre 2005/B. A disciplina tem como ementa desenvolver um projeto multidisciplinar orientado, integrando e aplicando os conceitos e práticas das disciplinas já cursadas até o momento pelos alunos em um trabalho desenvolvido em equipe. A equipe deve iniciar com a identificação de um problema, seguindo com o planejamento da solução e a identificação das bases tecnológicas e científicas necessárias para a mesma. É obrigatória também a aplicação de metodologia científica, o que leva os alunos ao desenvolvimento de competências e habilidades em leitura, interpretação e produção textual. Desta forma, a disciplina oportuniza ao futuro engenheiro a aplicação, em um projeto prático, dos conhecimentos e habilidades desenvolvidos até o 4º semestre do curso. No decorrer do semestre os alunos devem utilizar ferramentas de gerenciamento de projetos, além de terem seus anteprojetos aprovados pelo professor da disciplina e pelos coordenadores dos respectivos cursos. Adiante, os alunos devem apresentar relatórios parciais de desenvolvimento dos projetos, um trabalho final sujeito à correção dos professores, uma apresentação oral na Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa da UNIVATES e uma apresentação oral em seminário aberto na instituição. A disciplina prepara ainda para o Trabalho Multidisciplinar II, para o Projeto de Conclusão de Curso, para o Estágio Curricular e, principalmente, para a vida profissional do educando, por meio da prática de trabalho em equipe.

A prática vai de encontro a uma característica de uso de tecnologias no ensino dos cursos de Engenharia da UNIVATES, como pode ser visto em Haetinger (2004, 2005) e Schaeffer (2005). Segundo Schaeffer (2005), atualmente nos defrontamos com alunos que apresentam características diferentes dos alunos de anos atrás. As aulas precisam ser mais significativas, mais desafiadoras e mais interativas. A tecnologia desempenha papel fundamental neste cenário ao permitir a criação de novas situações de aprendizagem e principalmente ao oferecer um ambiente mais atrativo intelectual e psicologicamente, que instiga ao aluno a busca pelo conhecimento. A UNIVATES tem investido em tecnologia como fator que ajuda a despertar no aluno a vontade de se engajar no aprender a aprender, focando na colocação da melhor tecnologia à disposição do aluno como aliada importante no processo ensino-aprendizagem. Como a grande maioria dos alunos da Instituição trabalha para custear seus estudos, seu tempo é exíguo. Buscam-se mecanismos para

atrair e manter o aluno na universidade o maior tempo possível, expondo-o a diferentes ambientes que viabilizem a construção do conhecimento. A tecnologia em sala de aula fascina, atrai e motiva o aluno. Aliando isso a metodologias adequadas, consegue-se melhor rendimento no processo ensino-aprendizagem.

2 JUSTIFICATIVA

A proposta deste estudo é a utilização de receptores e emissores para o monitoramento de uma bola de futebol, apontando se ela ultrapassou ou não a linha do gol. Ademais, procuramos descrever diversas formas de monitoramento cabíveis para essa situação, fazendo comparativo entre elas.

Apesar de não considerar elementos que possam auxiliar treinadores na elaboração de estratégias, nem tampouco indicar aos árbitros ou auxiliares se a bola ultrapassou a linha lateral, o fato de apontar quando a bola cruzou a linha do gol tem grande importância. Muitas vezes, mesmo utilizando recursos de vídeo e computação gráfica, não se consegue chegar a uma conclusão definitiva em certos lances polêmicos como este. Considerando ainda a popularidade do futebol em países em desenvolvimento, optamos por apresentar uma proposta de menor complexidade, porém de baixo custo.

Sob o aspecto educacional, este artigo propõe-se a mostrar parceria entre a Matemática e as Engenharias, ilustrando exemplo de multidisciplinaridade. O trabalho possui caráter exploratório. Segundo Gil (1995), o objetivo principal deste tipo de atividade é a busca pelo aperfeiçoamento do educando, dando-lhe experiência para desenvolver de forma satisfatória o problema proposto.

3 PARÂMETROS INICIAIS

Nesta seção apresentamos alguns conceitos básicos necessários à compreensão do que segue. Inicialmente descrevemos as dimensões do campo, das goleiras e da bola, bem como as regras essenciais do futebol no que diz respeito à marcação do gol. Posteriormente são abordados conceitos acerca da utilização de receptores e emissores. Ao final, são apresentados alguns modelos já existentes para o monitoramento do futebol.

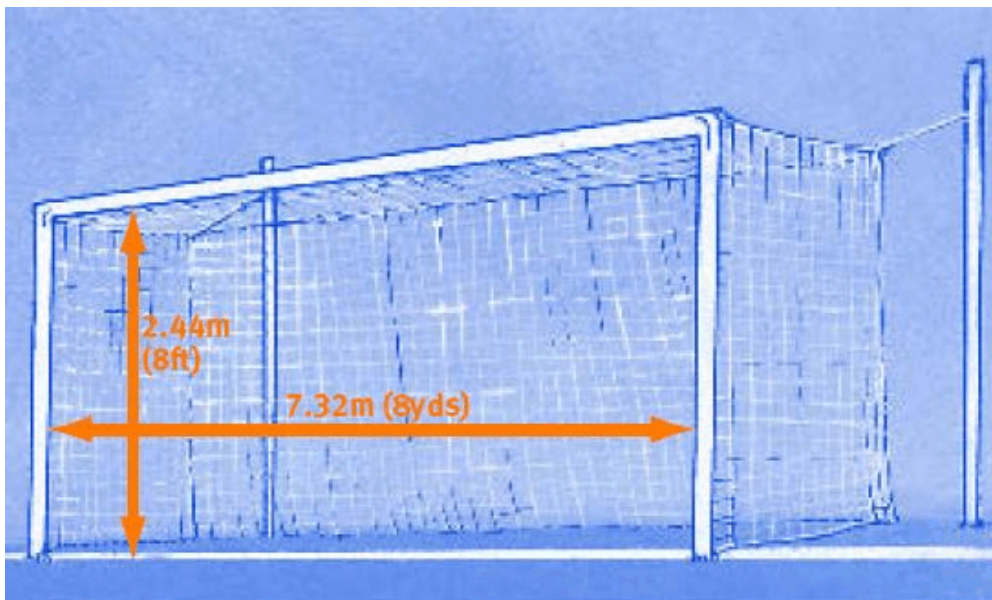
As regras do futebol são definidas pela Fédération Internationale de Football Association (FIFA), a qual seguidamente as reformula para melhor prática do esporte.

Segundo a FIFA (2005), o campo deve obedecer às seguintes dimensões: comprimento entre 90 e 120 metros, e largura entre 45 e 90 metros. Já para as partidas internacionais, as dimensões podem variar entre 100 e 110

metros de comprimento por 64 a 75 metros de largura. A demarcação dessas dimensões não deve ter mais do que 12cm de largura. As demais marcações oficiais são irrelevantes para este trabalho.

Exatamente no centro da linha do gol devem ser colocadas as traves. Estas devem obedecer aos seguintes critérios: a distância entre as duas traves deve ser de 7,32 metros, enquanto a distância do travessão ao chão deve ser de 2,44 metros.

FIGURA 1 – Medidas oficiais para a goleira



A bola de futebol deve ser esférica, feita de couro ou outro material apropriado, ter circunferência entre 68 e 70 centímetros, possuir entre 410 e 450 gramas de massa no início da partida, e ser inflada a uma pressão entre 0.6 e 1.1 atmosferas (de 600 a 1.100 gramas por centímetro quadrado) ao nível do mar.

Dentre as regras do futebol, a única que se faz mister relatar neste artigo é a que versa sobre a marcação do gol. Segundo a FIFA (2005), é considerado gol única e exclusivamente quando a bola cruzar **totalmente** a chamada linha do gol (vide FIGURA2).

FIGURA 2 – Exemplos de situações duvidosas



A seguir descrevemos sucintamente o funcionamento de receptores e transmissores de sinais, especificamente os que trabalham em radio-freqüência (existem muitos receptores, os de rádio são uma subclasse).

A função de um radioreceptor é a decodificação dos sinais eletromagnéticos recebidos do espaço, captados por uma antena, transformando-os em ondas sonoras ou em sinais elétricos digitais e/ou analógicos. Como exemplos podemos citar o receptor de televisão e o rádio de automóveis. O equipamento é composto de uma antena receptora, um sistema de sintonia e amplificadores de áudio, vídeo e/ou sinais digitais. O radiotransmissor converte sinais elétricos, analógicos/digitais em ondas eletromagnéticas, enviando-os para o espaço por meio de uma antena transmissora, para serem recebidos por um radioreceptor, como, por exemplo, as emissoras de rádio AM, FM ou de TV.

No restante desta seção, descrevemos alguns tipos de sistemas de monitoramento que estudamos como alternativas para resolver o problema em questão: descobrir se a bola cruzou ou não a linha do gol. Cada sistema descrito possui uma ou mais características particulares para não ser adotado como nosso modelo proposto. Enquanto alguns possuem um custo de implementação pouco acessível, outros são pouco precisos e suscetíveis a muitas falhas. Contudo, podem ser aplicados em outros contextos.

O primeiro tipo de sistemas que descrevemos refere-se àqueles que envolvem o processamento de imagens. Existem vários sistemas de processamento de imagens para jogos de futebol atualmente no mercado, usados em grande parte pelas emissoras de televisão. Esse tipo de sistema é aplicável em situações mais gerais, como, por exemplo, na indicação de um lance de impedimento durante a partida. Para isso é necessário que o sistema aplicado analise a cena em tempo real. Concluímos que um sistema desta ordem é extremamente complexo, pois ao considerar diversos elementos da cena passa a ter um processamento da imagem bastante demorado. Atualmente todos os sistemas que fazem esse tipo de processo são utilizados apenas momentos depois do lance ocorrer. São os ditos sistemas tira-teima.

O segundo tipo que analisamos é constituído pelos sistemas com sensores magnéticos. Poderíamos ter utilizado um sistema como esse. A funcionalidade seria a mesma, contudo sua forma de identificação seria diferente. No centro da bola seria colocada uma esfera metálica com massa suficientemente pequena para não influenciar consideravelmente no peso da bola. Atrás das traves da goleira seriam colocados alguns sensores que captariam a presença daquela esfera de metal. As maiores dificuldades apresentadas por este sistema ocorrem porque o sensor magnético tem pouco alcance. Além disso, o sistema é sujeito a muitas falhas, pois o campo magnético atua em todas as direções. A menos que esse campo magnético fosse controlado para atuar somente na linha do gol, esse sistema não funcionaria corretamente.

Outro sistema que analisamos é o chamado Sistema Cairos. Trata-se do sistema mais moderno existente hoje para o monitoramento de um jogo de futebol. Foi desenvolvido por cientistas do Instituto Fraunhofer para Circuitos Integrados de Erlangen e pela empresa Cairos Technologies, da Alemanha. Consiste em um emissor colocado no centro da bola e uma série de antenas distribuídas por todo o estádio. Este sistema de controle baseado em rádio poderia também ser usado para determinar se a bola saiu e compilar estatísticas sobre jogadores individuais. Um *chip* é suspenso no centro da bola para sobreviver à aceleração e chutes fortes. *Chips* similares, mas menores e mais achatados, foram criados para serem inseridos nas caneleiras dos jogadores. No estádio de Nuremberg, onde o sistema tem sido testado, doze antenas coletam os dados transmitidos pelos *chips*. As antenas são ligadas a um anel de fibra-ótica de alta velocidade, que roteia os dados para um *cluster* de servidores baseados em *Linux*. Os *chips* usam a mesma frequência de banda que as redes Wi-Fi (2.4 GHz).

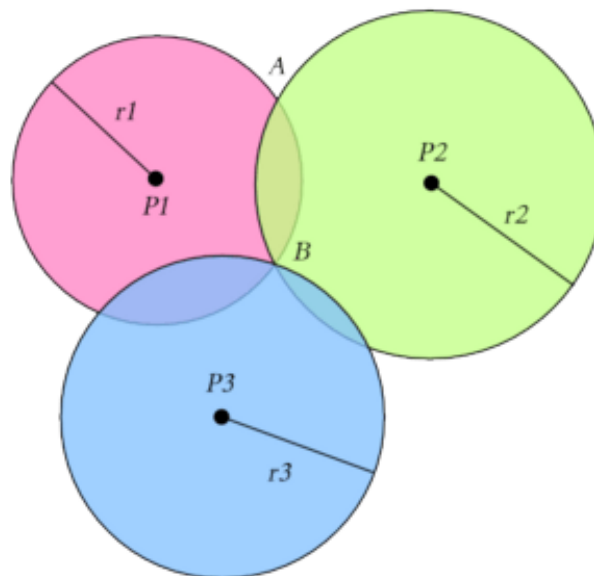
Considerando o alto custo do Sistema Cairos, procuramos elaborar um modelo próprio que, embora bastante mais limitado, seja economicamente mais viável, baseado na modelagem matemática via trilateração, e fazendo uso da tecnologia já existente.

4 A TRILATERAÇÃO

O modelo que estamos propondo é baseado numa variação para o espaço 3D de uma técnica conhecida como trilateração, muito utilizada em computação gráfica para a determinação de pontos no plano 2D.

A trilateração é um método de determinação das posições relativas de objetos usando a geometria dos triângulos de modo similar à triangularização. Ao contrário desta última, que usa medidas de ângulos (junto com pelo menos uma distância conhecida) para calcular a posição do objeto, aquela utiliza as posições conhecidas de dois ou mais pontos de referência, e a distância medida entre o objeto e cada ponto de referência. Para determinar de modo único a posição relativa de um ponto em um plano 2D usando somente a trilateração, geralmente são necessários três pontos de referência, conforme descrito a seguir.

FIGURA 3 – Representação esquemática da trilateração no plano 2D



Estando na posição **B**, pretende-se determinar sua localização a partir dos pontos referência **P1**, **P2** e **P3**. Medindo-se **r1**, obtém-se o tamanho do primeiro círculo; a seguir, mede-se **r2**, obtendo-se dois pontos **A** e **B**. A terceira medida, **r3**, dá as coordenadas de **B**. Uma quarta medida pode ser feita para eliminar uma possível ambigüidade, se for o caso.

Alguns sistemas de posicionamento hiperbólico como o DECCA⁷ usam variação da trilateração: o que está sendo medido é a diferença na distância do objeto a duas estações sincronizadas de referência (chamadas mestre e escravo), colocando o objeto (usando pulso de disparo não-sincronizado) em curva hiperbólica em carta náutica. Neste caso, são necessárias três estações de referência, uma mestra e duas escravas, para ser bem sucedida a determinação da posição do objeto. O sistema de posicionamento por satélite, o GPS (*Global Positioning System*), é baseado em posicionamento hiperbólico, porém no caso 3D: quatro satélites (estações orbitais de referência) normalmente são suficientes para obter as coordenadas de um objeto. As variáveis determinadas são, além das três coordenadas do receptor, o atraso de seu relógio (portanto, podemos usar o GPS também para a disseminação precisa do tempo).

Uma derivação matemática para a solução de um problema 3D usando trilateração pode ser encontrada igualando-se duas a duas as respectivas equações de três esferas. Para tal, necessitamos aplicar um vetor 3D ao centro de cada esfera, todos eles pertencentes ao plano $Z=0$: um deles deve estar na origem $(0,0,0)$; outro deve pertencer ao eixo das abscissas. Entretanto, é possível transformar cada conjunto de três pontos de tal modo a ficar de acordo com estes vetores, encontrar a solução, e então reverter a transformação para determinar a posição do objeto procurado no sistema de coordenadas original.

Iniciando com três esferas: $S_1 : r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2$, S_2 : $r_2^2 = (x-d)^2 + y^2 + z^2$ e S_3 : $r_3^2 = (x-i)^2 + (y-j)^2 + z^2$ podemos subtrair S_2 de S_1 para obter $x - \frac{r_1^2 - r_2^2 + d}{2d}$. Substituindo agora a expressão em S_1 , obtemos um círculo, interseção de S_2 com S_1 , a saber: $y^2 + z^2 = r_1^2 - \frac{(r_1^2 - r_2^2 + d)^2}{4d^2}$. Isolando z^2 nesta expressão e substituindo em S_3 , obtemos: $y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + (x-i)^2}{2j} + \frac{j}{2} - \frac{(r_1^2 - r_2^2 + d)^2}{8d^2 j}$. Agora que temos as coordenadas de x e

⁷ Veja a história em <<http://www.xente.mundo-r.com/decca/hist11.htm>>, acesso em 12 de dezembro de 2005.

y do ponto solução, basta rearranjar a expressão de S_1 para determinar $z - \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2}$. Finalmente, temos as soluções das três coordenadas x , y e z . Entretanto, como z é expresso na forma de raiz quadrada, é possível que tenhamos nenhuma, uma ou duas soluções para o problema.

Esta última parte pode ser vista como tomando o círculo obtido de $S_1 \cap S_2$ e interceptando-o com S_3 . Se ele estiver inteiramente fora de S_3 , z é igual à raiz quadrada de um número negativo – não existe solução real. Se, por outro lado, o círculo tocar S_3 em exatamente um ponto, z é igual a zero. Por último, se esse círculo tocar a superfície de S_3 em dois pontos, então z é igual a mais ou menos a raiz quadrada de um número positivo.

No caso de nenhuma solução, nada incomum ao usarmos dados com ruídos, a solução mais próxima é zero. Precisamos ser cuidadosos, obviamente, em fazer uma verificação apurada e somente supor zero quando o erro for suficientemente pequeno.

No caso de duas soluções, alguma técnica deve ser usada para acabar com a ambigüidade. Isto pode ser feito matematicamente, usando uma quarta esfera e determinando qual ponto está mais próximo da sua superfície. Por outro lado, podemos resolver isto logicamente, por exemplo: os sistemas GPS assumem que o ponto que está no interior da órbita dos satélites é o correto, porque geralmente é mais seguro supor que o usuário nunca está no espaço, fora das órbitas dos satélites.

Quando o erro de medida é introduzido na figura, as coisas tornam-se um pouco mais complicadas. Se soubermos que a distância de \mathbf{P} a um ponto de referência se encontra em uma distância (um intervalo fechado) $[r_1, r_2]$, então sabemos que \mathbf{P} se encontra em uma faixa circular entre os círculos daqueles dois raios. Se soubermos uma distância para um outro ponto, poderemos fazer a interseção, que será uma ou duas áreas contornadas por arcos circulares. Um terceiro ponto geralmente reduzirá tudo a uma única área. No entanto, esta área poderá ainda ser de tamanho significativo; os pontos de referência adicionais poderão ajudar a encolhê-la ainda mais. Mas, enquanto a área encolhe, mais medidas tornam-se mais rapidamente menos úteis. Em três dimensões é preferível cruzar escudos esféricos com a espessura, similares às bolas de boliche.

Este modelo enfatiza a importância de escolher três pontos que estão em direções bastante distintas; se os pontos forem relativamente próximos e todos longe do ponto que está sendo localizado, será necessária análise minuciosa das medidas para encontrar o ponto usando a trilateração.

5 O MODELO PROPOSTO

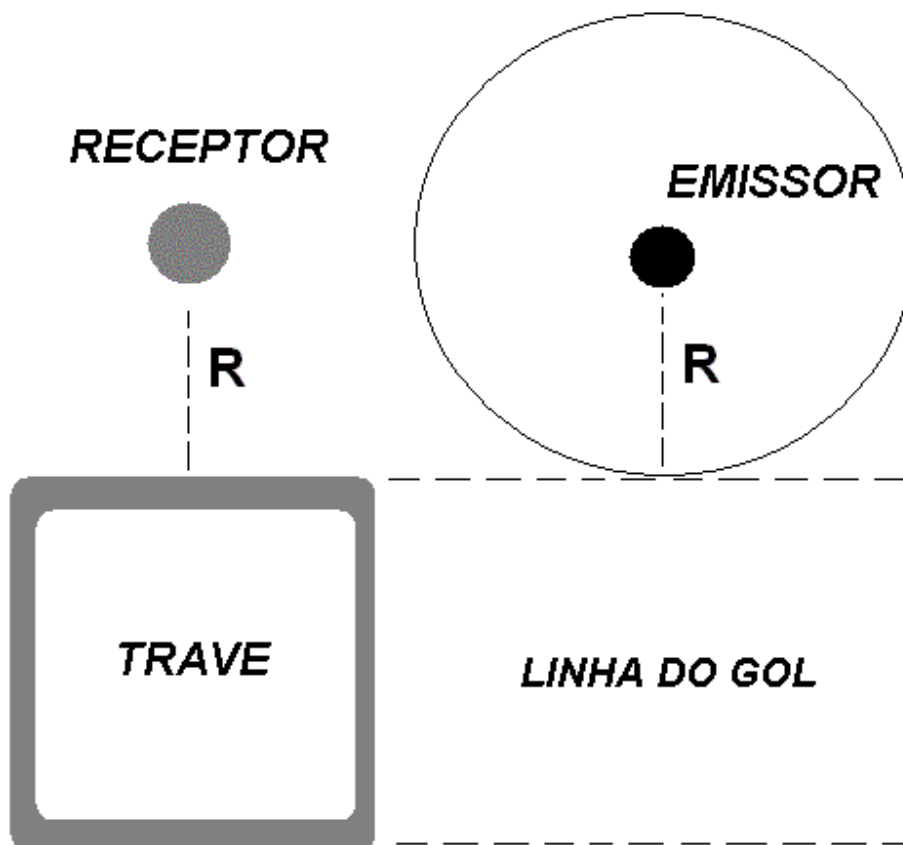
A bola, como mencionado acima, deve ser adaptada a uma partida que possua este sistema. Ao centro dela deve ser colocado um pequeno emissor, que ficaria a todo momento enviando sinais para os receptores dispostos nos arcos (traves) das goleiras.

FIGURA 4 – Detalhe do *chip* no centro da bola



Basicamente, o sistema conta com três receptores que ficam na parte de trás do arco de cada goleira, a uma distância (profundidade) igual ao raio da bola, dada a posição do transmissor no centro da bola e o fato de esta necessitar cruzar totalmente a linha do gol para o sistema considerar como gol válido. A Figura 5 representa modelo esquemático do sistema proposto.

FIGURA 5 – Posição dos receptores atrás das traves



Poder-se-ia fazer uso de receptor adicional para eliminar a ambigüidade que ocorre ao utilizar este sistema, uma vez que com três receptores a técnica de trilateração descrita acima permite determinar a posição da bola no espaço, sendo-lhe indiferente se ela está na frente ou atrás da linha do gol. Como o mais importante é descobrir se a bola está em cima da linha do gol (posição $z = 0$), este receptor pode ser desconsiderado.

A distância do receptor ao emissor é conseguida através da intensidade do sinal recebido pelo receptor, enviado pelo emissor que se encontra no centro da bola. A partir dessa intensidade é possível descobrir quanto ambos estão afastados, pois ela varia conforme a distância de um ponto ao outro, como pode ser confirmado pela fórmula: $I = \frac{\text{Potencia}}{\text{Area}} = \frac{P}{4\pi R^2}$, onde I indica a intensidade

descrita acima⁸. Uma vez conhecidas a intensidade e as distâncias, é possível elaborar uma função que possa ser aplicada a todas as ocasiões, ou seja, a qualquer distância da bola ao receptor, o que foge do escopo deste artigo. Assim sendo, dada a técnica da trilateração, podemos estabelecer as condições de contorno necessárias ao nosso intento.

Para o sistema considerar gol válido, a bola deve satisfazer simultaneamente às três posições espaciais seguintes:

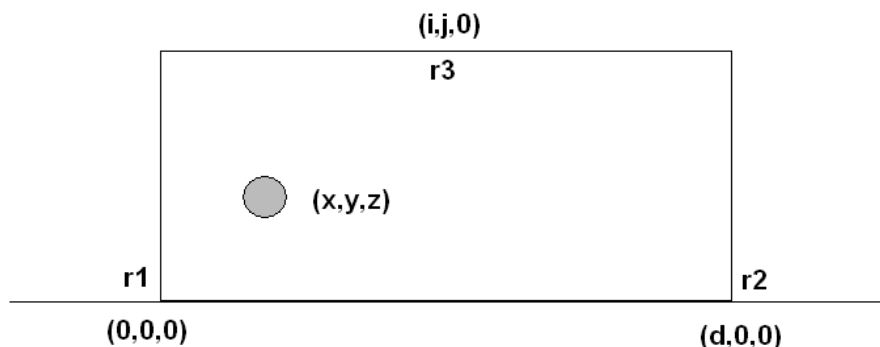
$0 < y < h$: indica que a bola deve estar entre o gramado e o travessão (altura h);

$0 < x < d$: indica que a bola deve estar entre as duas traves (distância d);

$z = 0$: indica que a bola deve estar sobre o lugar geométrico considerado gol, ou mesmo, dependendo da precisão do sistema, ter um valor muito próximo de zero.

A Figura 6 mostra como são dispostos os receptores , e nas traves.

FIGURA 6 – Disposição dos receptores nas traves



Após a bola entrar no gol e o sistema considerá-lo válido, dois sinais serão acionados: um sonoro e outro luminoso. O sinal sonoro será uma buzina de baixa intensidade, enquanto que o sinal luminoso deve ser um lâmpada de fácil reconhecimento. Depois de acionados, os sinais desligam automaticamente dentro de alguns segundos, tempo suficiente para o árbitro perceber o gol.

Inicialmente, o sistema proposto não será conectado remotamente a nenhum outro, restringindo-se ao emissor colocado na bola, os receptores nas

⁸ O leitor atento pode perceber que esta fórmula se aplica a uma esfera. De fato, ela se aplica a qualquer onda eletromagnética, até mesmo para o som.

traves e os sinais que indicam o gol, reduzindo significativamente o custo total de implementação.

6 PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE E AÇÕES FUTURAS

Neste contexto, podemos destacar a implementação do circuito digital que faz o sistema proposto calcular a posição da bola e aciona os sinais sonoro e luminoso. Este circuito não fora antes mencionado por não ser objeto deste artigo.

A seguir, destacamos algumas possíveis complicações para nosso sistema.

Problemas como a temperatura do ar e o efeito *Doppler* foram aqui desconsiderados. O efeito *Doppler* é uma característica das ondas sonoras em movimento em relação ao observador. O comprimento de onda observado é maior ou menor conforme a fonte de ondas se afasta ou se aproxima do observador. Quando a fonte sonora e/ou o observador se aproximam, a frequência da onda recebida pelo observador fica maior. Ao se afastarem, a frequência aparente diminui.

Considera-se a inserção do emissor no centro da bola a dificuldade maior apresentada nesta abordagem tecnológica de um problema clássico do futebol, dado o fato de que somente as empresas que fabricam as bolas de futebol podem adaptá-las para isso. Contudo, isso já está sendo realizado por algumas empresas, como mencionado acima.

Os custos de implementação deste sistema alternativo não foram avaliados explicitamente, por envolverem equipamentos muito específicos com os quais não temos contato no presente momento. Não obstante, consideramos inteiramente viável pelo menos aos estádios de futebol de grande porte do Brasil sua utilização.

Por fim, entendemos que este sistema alternativo poderá auxiliar o árbitro de futebol no decorrer de uma partida, sem tirar a naturalidade do futebol. No entanto, não buscamos, de maneira alguma, tirar a autonomia do árbitro, que acreditamos ser o detentor do veredito final para cada lance do jogo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o envolvimento dos acadêmicos do curso de Engenharia de Controle e Automação Arlon Benites e Fernando Stein na etapa inicial do projeto que originou este artigo, e à Prof^a. Eliana Borragini pela assessoria no tocante às questões de Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, Benno Jr. **Manual de psicologia do esporte & exercício**. Porto Alegre: Nova Prova, 2000.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1995.

HAETINGER, Claus et al. The use of an articulate mechanical arm type robot built from materials of low cost as a supporting tool for teaching at the undergraduate level: the resolution of the direct and inverse kinematic models in the bidimensional case. In: PROCEEDINGS OF THE WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION (WCETE), COUNCIL OF RESEARCHES IN EDUCATION AND SCIENCES (COPEC). **Proceedings...** Santos: 2004, 584-588.

HAETINGER, Claus et al. A quaternion application to control rotation movements in the three dimensional space of an articulate mechanical arm type robot built from low cost materials as a supporting tool for teaching at the undergraduate level. In: PROCEEDINGS OF THE GLOBAL CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION (GCETE), COUNCIL OF RESEARCHES IN EDUCATION AND SCIENCES (COPEC). **Proceedings...** Santos: 2005, 134-137.

MURAD, Mauricio. **Dos pés à cabeça**: elementos básicos de sociologia do futebol. Rio de Janeiro: Irradiação Cultural, 1996.

SCHAEFFER, Robson. Technology as a motivational tool for developing self learning abilities. In: PROCEEDINGS OF THE GLOBAL CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION (GCETE), COUNCIL OF RESEARCHES IN EDUCATION AND SCIENCES (COPEC). **Proceedings...** Santos: 2005, 205-209.