



INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D E REALIDADE AUMENTADA NA MODELAGEM PARAMÉTRICA DE FUNDAÇÕES RASAS PARA AEROGERADORES EM PARQUES EÓLICOS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6153

Autores: ÁLVARO AFONSO DA SILVA MARCOLINO, DÁRCIA SÂMIA SANTOS MOURA DE MACÊDO

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma família paramétrica no software Autodesk Revit para modelagem 4D de fundações rasas aplicadas a aerogeradores, integrando pré-orçamentação, detalhamento técnico, levantamento de quantitativos, planejamento executivo e visualização em realidade aumentada. A partir da análise de necessidades reais do setor de engenharia, o modelo foi estruturado para se adaptar dinamicamente a diferentes condições de projeto, otimizando tempo, reduzindo erros e desperdícios em campo. A proposta proporciona maior precisão nas etapas construtivas, melhora na comunicação entre equipes e uma experiência imersiva para interpretação do projeto. Como resultado, a solução se mostra altamente vantajosa para empresas que buscam eficiência, sustentabilidade e inovação no setor de energia eólica.

Palavras-chave: BIM, FUNDAÇÃO, AEROGERADOR

INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D E REALIDADE AUMENTADA NA MODELAGEM PARAMÉTRICA DE FUNDAÇÕES RASAS PARA AEROGERADORES EM PARQUES EÓLICOS

1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por fontes de energia limpa e sustentável tem impulsionado, de forma significativa, o desenvolvimento do setor de energias renováveis. Dentre as principais alternativas energéticas, os parques eólicos destacam-se pelo seu crescimento exponencial, exigindo soluções construtivas que conciliem agilidade, precisão e qualidade. Nesse contexto, os aerogeradores, estruturas responsáveis por converter a energia cinética dos ventos em energia elétrica, assumem papel central na cadeia de geração de energia eólica.

Para alcançar níveis mais elevados de eficiência, essas estruturas precisam operar em altitudes onde a intensidade dos ventos é maior, o que resulta em torres com alturas variando entre 80 e 220 metros. A magnitude dessas dimensões impõe elevadas solicitações às fundações, exigindo soluções de engenharia seguras e tecnicamente robustas. As fundações rasas, especialmente do tipo sapata, são amplamente utilizadas para esse fim, atuando na distribuição das cargas atuantes para o solo de forma a garantir estabilidade e evitar recalques ou falhas estruturais.

Cada fabricante de aerogeradores fornece especificações técnicas que orientam os parâmetros mínimos a serem respeitados no dimensionamento das fundações. A partir dessas diretrizes, as construtoras desenvolvem os projetos estruturais das fundações, que, por sua vez, demandam estimativas precisas de custos e de consumo de materiais, fundamentais para o planejamento orçamentário do empreendimento.

Neste cenário, a aplicação da metodologia *Building Information Modeling (BIM)*, aliada à modelagem paramétrica, representa uma estratégia inovadora e eficiente para otimização do processo projetual. A utilização de ferramentas como o *Autodesk Revit*® permite o desenvolvimento de famílias paramétricas para fundações rasas de aerogeradores, possibilitando a variação de parâmetros como raio, altura total, altura do pescoço e espessuras das camadas. Com isso, torna-se possível gerar quantitativos automatizados de concreto, volume de escavação e de aterro, favorecendo a análise comparativa entre diferentes cenários de projeto.

Este trabalho apresenta a integração da metodologia *BIM 4D* com recursos de realidade aumentada (RA) aplicados à modelagem paramétrica de fundações rasas para aerogeradores. O objetivo é demonstrar como essa abordagem contribui para o aprimoramento do processo de projeto, análise e visualização construtiva em empreendimentos eólicos, promovendo maior precisão, interatividade e suporte à tomada de decisões no canteiro de obras.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Dimensionamento da fundação conforme especificações técnicas

O dimensionamento das fundações para aerogeradores deve ser realizado com base nas especificações técnicas fornecidas pelos respectivos fabricantes. Tais documentos contêm informações detalhadas acerca das cargas atuantes como cargas verticais, horizontais, momentos fletores e esforços de torção provenientes da operação das torres

eólicas. Assim, as fundações projetadas devem ser capazes de resistir de forma segura e eficiente a todas essas solicitações.

Cabe ao engenheiro projetista garantir que a estrutura fundacional esteja em conformidade com os parâmetros mínimos exigidos, assegurando o equilíbrio entre segurança estrutural e viabilidade econômica. Essa relação é essencial, pois um superdimensionamento pode resultar em custos excessivos, inviabilizando economicamente o empreendimento. Por outro lado, um subdimensionamento pode comprometer a estabilidade da estrutura, colocando em risco a segurança da operação.

Dessa forma, o dimensionamento das fundações deve considerar critérios técnicos rigorosos, compatibilizados com análises de custo-benefício, de modo a atender aos requisitos normativos, às particularidades do solo local e às demandas operacionais dos aerogeradores.

2.2 Sapatas isoladas aplicadas a aerogeradores

As fundações rasas do tipo sapata isolada são amplamente empregadas na implantação de aerogeradores, especialmente em contextos nos quais as características geotécnicas do solo permitem a transferência das cargas estruturais nas proximidades da superfície. Esse tipo de fundação é particularmente adequado para suportar, de forma individual, os esforços oriundos de estruturas verticais, como é o caso das torres de aerogeradores.

O dimensionamento da sapata isolada leva em consideração as cargas fornecidas pelo fabricante do equipamento, as propriedades do solo local e os critérios estabelecidos pelas normas técnicas pertinentes. De acordo com a NBR 6122:2019, o dimensionamento de fundações deve assegurar a segurança e a funcionalidade da estrutura, considerando os estados limites últimos e de serviço. Além disso, a NBR 8681:2004 estabelece diretrizes sobre as ações que incidem nas estruturas e os princípios de segurança. Obras especializadas como Cintra, Aoki e Albiero (2011) também reforçam que o dimensionamento deve considerar os esforços máximos admissíveis, as características geotécnicas e as condições de carregamento específicas. Para atender às exigências estruturais elevadas impostas pelos aerogeradores, sujeitos a cargas estáticas, dinâmicas e momentos de tombamento, essas fundações apresentam geometrias robustas, comumente circulares e em formato de tronco de cone. Os diâmetros dessas sapatas podem alcançar aproximadamente vinte metros, conforme a magnitude dos esforços envolvidos.

Essa configuração geométrica favorece a distribuição uniforme das tensões no solo e contribui para o equilíbrio estrutural diante de cargas excêntricas. Além disso, a forma simétrica e o volume contínuo da fundação facilitam as etapas construtivas, reduzindo a complexidade da execução no canteiro de obras.

As características dos materiais utilizados na construção desse elemento estrutural também podem variar de acordo com o projeto. É comum que diferentes regiões da sapata utilizem concretos com distintas resistências à compressão, conhecidas tecnicamente como f_{ck} (sigla para "fator característico de resistência à compressão do concreto"), com valores típicos de 20, 30 ou até 50 MPa. A definição desses valores deve estar em conformidade com as recomendações da NBR 6118:2023, que estabelece os requisitos mínimos para os elementos estruturais de concreto armado. Segundo Leonhardt e Mönning (1978), a adoção de diferentes classes de concreto dentro de um mesmo elemento pode contribuir para a otimização técnico-econômica da obra, ajustando o desempenho mecânico às necessidades específicas de cada região da fundação. Essa variabilidade na especificação do concreto impacta diretamente tanto na qualidade técnica do elemento

fundacional quanto no controle financeiro da obra, sendo, portanto, um aspecto crítico na tomada de decisões durante o desenvolvimento do projeto executivo.

2.3 Detalhamento do projeto

O detalhamento do projeto estrutural representa uma etapa essencial, pois reúne todas as informações técnicas necessárias para a correta execução da fundação. Esse detalhamento deve ser elaborado em conformidade com os parâmetros estabelecidos no dimensionamento estrutural, respeitando os limites normativos e as especificações do fabricante do aerogerador.

Tradicionalmente, esse tipo de projeto é desenvolvido com o uso da metodologia *Computer Aided Design (CAD)*. No entanto, conforme apontado por Couto *et al.* (2021), o processo realizado por meio do CAD é caracterizado por uma abordagem linear e fragmentada, o que tende a gerar retrabalho, aumento de tempo e custos adicionais. Esse cenário torna o uso exclusivo do CAD inadequado para projetos com elevado grau de complexidade e necessidade de rápida execução, como é o caso das fundações para aerogeradores.

Nesse contexto, a aplicação da metodologia *Building Information Modeling (BIM)* se mostra altamente vantajosa. Segundo Succar (2009), o BIM permite a criação, o uso e a atualização de modelos digitais que integram todas as disciplinas do projeto, promovendo maior interoperabilidade entre equipes e facilitando a gestão de informações ao longo do ciclo de vida da edificação. Por meio de ferramentas como o *software Autodesk Revit®*, é possível desenvolver o detalhamento do projeto de forma coordenada e integrada. Alterações realizadas em qualquer vista do modelo tridimensional são automaticamente atualizadas em todas as demais representações do projeto, garantindo maior consistência entre plantas, cortes, elevações e tabelas de quantitativos. Isso reduz significativamente o risco de inconsistências e retrabalhos, aumentando a eficiência e a confiabilidade do processo de projeto e execução.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização de necessidades do processo

Inicialmente, foi realizado um levantamento das principais necessidades que a modelagem da fundação deveria suprir ao longo das diferentes etapas do projeto. Entre os aspectos considerados, destacam-se: a pré-orçamentação, o detalhamento do projeto executivo, o levantamento de materiais, a integração com o cronograma de obra e a visualização do modelo em realidade aumentada.

Na etapa de pré-orçamentação, identificou-se a necessidade de um modelo inteligente e responsivo, capaz de se adaptar rapidamente às alterações no dimensionamento da fundação. Essa adaptabilidade é fundamental, considerando que a geometria da fundação pode variar de acordo com as características específicas do solo e as cargas incidentes, impactando diretamente nos quantitativos de materiais.

No que se refere ao detalhamento do projeto executivo, verificou-se a importância de um modelo que possibilite a inserção dinâmica de informações técnicas, como a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), os identificadores de execução (IDs) e outros dados relevantes. A modelagem foi estruturada para que essas informações possam ser atribuídas por meio de campos parametrizáveis, permitindo que as especificações do desenho se atualizem automaticamente conforme os dados do projeto sejam inseridos ou modificados.

Como consequência direta dessa parametrização, o levantamento de quantitativos passa a ser realizado de forma automatizada, refletindo com precisão as dimensões e

características atualizadas dos elementos estruturais. Essa automação contribui para maior confiabilidade nas informações orçamentárias e agilidade no processo de planejamento.

Adicionalmente, os elementos que compõem a fundação foram configurados com parâmetros de identidade relacionados ao planejamento executivo da obra, como as datas de início e término da execução. Tais parâmetros possibilitam a vinculação do modelo ao cronograma físico, permitindo simulações visuais do avanço da obra. Dessa forma, ao selecionar datas específicas, é possível visualizar, no modelo 4D, apenas os elementos que já tenham sido construídos até o ponto correspondente, otimizando o controle e o acompanhamento da execução.

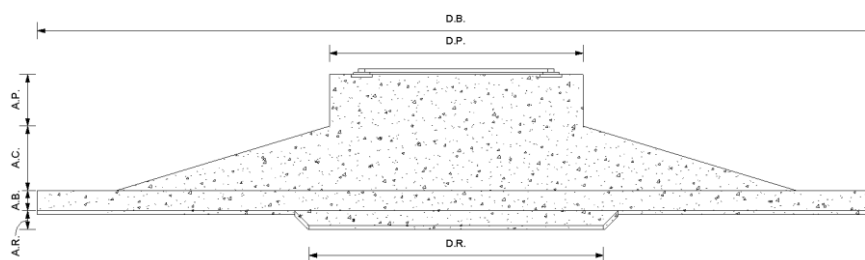
Todos esses aspectos foram minuciosamente planejados com o objetivo de garantir que o modelo desenvolvido para visualização em realidade aumentada incorporasse plenamente essas características em sua configuração paramétrica. Assim, além de representar a geometria e a evolução da obra, o modelo também permite a interação direta com seus elementos: ao selecionar uma fundação, por exemplo, são exibidas informações como tipo e resistência do concreto, raio da base, altura do bloco, volume de material e demais parâmetros definidos durante a modelagem. Isso torna o modelo não apenas visualmente representativo, mas também uma ferramenta dinâmica e informativa, que contribui para a análise técnica e o apoio à tomada de decisões no canteiro de obras.

3.2 Análise de Projetos Estruturais e Especificações Técnicas

Para o início da modelagem do elemento estrutural, foi realizada uma análise criteriosa das especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes, bem como dos projetos executivos das sapatas estruturais. Nas especificações analisadas, observou-se a presença de desenhos com a geometria base da fundação, os quais devem ser utilizados como referência pelo projetista estrutural durante o dimensionamento.

Esses desenhos apresentam as dimensões fundamentais da fundação representadas por nomenclaturas específicas, que indicam de forma abreviada os elementos aos quais cada medida se refere. Na Figura 1, é possível visualizar a seção transversal de uma sapata com alguns desses termos indicados. Em sequência, a Tabela 1 apresenta a definição correspondente a cada uma dessas nomenclaturas, possibilitando o correto entendimento dos parâmetros adotados na modelagem.

Figura 1 – Seção transversal da fundação



Fonte: Do próprio autor

Tabela 1 – Significado dos Coeficientes	
Coeficiente	Significado
D.B.	Diâmetro da base
D.P.	Diâmetro do pescoço
D.R.	Diâmetro do rebaixo
A.P.	Altura do pescoço
A.C.	Altura do corpo
A.B.	Altura da base
A.R.	Altura do rebaixo.

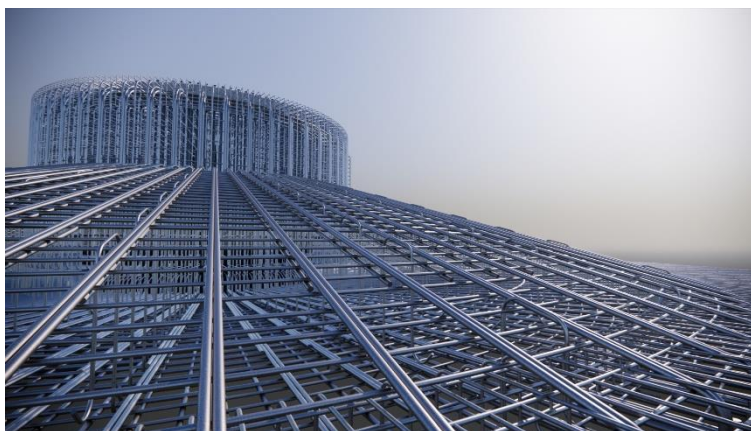
Fonte: Do próprio autor

A partir da compreensão das especificações técnicas, procedeu-se à análise do projeto estrutural desenvolvido pelo projetista responsável. Essa análise teve como objetivo identificar as premissas adotadas para a definição do projeto final, bem como verificar eventuais alterações significativas em relação à geometria base apresentada pelo fabricante.

Verificou-se que, no projeto analisado, a geometria da fundação foi mantida conforme o modelo de referência, havendo apenas uma mudança proporcional nas dimensões dos elementos. Essa constatação possibilitou o desenvolvimento de uma família paramétrica no *software Autodesk Revit*®, capaz de se adaptar às variações dimensionais por meio da inserção de parâmetros específicos.

Na Figura 2, apresenta-se uma renderização da armação da fundação modelada no *Revit*®, representando o resultado da aplicação dessas diretrizes no ambiente *BIM*.

Figura 2 – Renderização da armação da fundação



Fonte: Do próprio autor

3.3 Modelagem das famílias que compõem a fundação

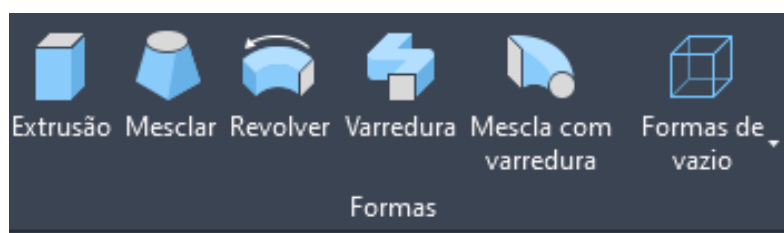
O *Revit*® é um *software* direcionado ao desenvolvimento de projetos multidisciplinares, abrangendo diferentes áreas da engenharia. Por meio dessa plataforma, é possível modelar elementos já pré-configurados pelo sistema, bem como criar novos componentes personalizados, de acordo com as necessidades do projeto. No caso das fundações rasas aplicadas a aerogeradores, trata-se de um tipo de elemento que não está disponível entre as famílias padrão do *Revit*®. Por esse motivo, torna-se necessário modelá-lo de forma independente e específica.

Considerando que o *Revit*® opera sob a lógica da metodologia *BIM* (*Building Information Modeling*), é fundamental que a modelagem seja realizada com rigor na sua caracterização, assegurando que os elementos representem corretamente suas funções e atributos técnicos. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado um arquivo de

família padrão correspondente à categoria "Fundações Estruturais", assegurando a correta classificação do elemento dentro do modelo *BIM*. Essa escolha é essencial, pois garante que o componente seja reconhecido dentro do ambiente de projeto conforme sua aplicação real, facilitando a extração de dados, a compatibilização entre disciplinas e a integração com outras etapas do ciclo de vida da obra.

A Figura 3 abaixo apresenta as principais ferramentas de modelagem disponíveis no ambiente de criação de famílias no *software Autodesk Revit*®. Esses recursos são fundamentais para a construção de geometrias paramétricas tridimensionais, permitindo a representação precisa de elementos estruturais. A seguir, descrevem-se as funcionalidades de cada uma delas:

Figura 3 – Ferramentas de modelagem



Fonte: Do próprio autor

A seguir, descrevem-se as funcionalidades de cada uma delas:

Extrusão: Permite a criação de volumes a partir do extrudamento de um perfil bidimensional em uma direção perpendicular ao plano de desenho. É amplamente utilizada para formas simples e prismáticas.

Mesclar: Utilizada para combinar duas ou mais formas sólidas, fundindo seus volumes em uma única geometria contínua. Essa ferramenta é útil para modelagens com transições suaves entre diferentes seções.

Revolver: Gera geometrias rotacionais a partir de um perfil bidimensional e um eixo de rotação. É particularmente indicada para criar elementos simétricos, como bases circulares, cones e superfícies curvas.

Varredura: Permite a criação de sólidos ao extrudar um perfil ao longo de um caminho determinado. Essa ferramenta é indicada para geometrias complexas que exigem curvaturas ou trajetórias específicas.

Mescla com varredura: Combina os conceitos de mesclagem e varredura, sendo utilizada para gerar formas contínuas e orgânicas a partir da interpolação de perfis ao longo de um caminho.

Formas de vazio: São utilizadas para subtrair volumes das geometrias sólidas criadas, permitindo a abertura de espaços, encaixes ou ajustes específicos na modelagem.

Essas ferramentas, quando utilizadas de forma combinada e parametrizada, permitem a criação de elementos complexos com alto nível de precisão e adaptabilidade dentro do ambiente *BIM*.

No processo de criação do conjunto da fundação do aerogerador, identificou-se que o modelo seria composto por seis subfamílias distintas: *Anchor Cage*, pescoço, corpo, base, rebaixo e camada de regularização. Considerando que se trata de uma modelagem paramétrica envolvendo elementos com características geométricas e funcionais específicas, optou-se pela aplicação do recurso de famílias aninhadas no *Revit*®. Esse método consiste na criação individual de cada subcomponente, os quais são posteriormente integrados ao conjunto principal, que nesse caso corresponde à família da

sapata estrutural. Essa abordagem permite maior controle sobre a modelagem, a parametrização e a personalização de cada elemento.

Para garantir a extração precisa dos quantitativos de forma individualizada, todas as subfamílias foram configuradas como famílias compartilhadas. Essa definição é essencial para que os elementos possam ser reconhecidos separadamente dentro das tabelas de quantitativos e nas demais análises do modelo *BIM*.

3.4 Parametrização das famílias

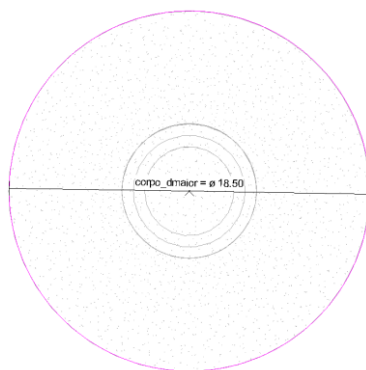
A parametrização no *Revit*® consiste em um processo fundamental para a criação de elementos inteligentes e adaptáveis dentro do ambiente *BIM*. Esse recurso permite controlar dimensões, posições e propriedades dos componentes a partir de variáveis configuráveis, conhecidas como parâmetros. Na prática, a modelagem paramétrica se estrutura sobre planos de referência, que funcionam como guias fixas para a geometria do elemento. As cotas e restrições são aplicadas entre esses planos e as superfícies modeladas, garantindo que, ao se alterar o valor de um parâmetro, o modelo se ajuste automaticamente de forma coerente.

Essa lógica permite que um único modelo atenda a diferentes configurações, comportando variações geométricas e informacionais sem a necessidade de recomençar a modelagem. Além das dimensões físicas, os parâmetros também podem controlar informações como materiais, volumes, códigos de identificação e até cronogramas de execução.

Na Figura 4, observa-se a aplicação da parametrização na construção da família do corpo da fundação, utilizando a ferramenta Mesclar do *Revit*®. Nesse caso, foi inserida uma cota na planta baixa do elemento para controlar o diâmetro da base do corpo da fundação, por meio de um parâmetro denominado `corpo_dmaior`. Esse parâmetro tem a função de ajustar dinamicamente o comprimento da base inferior do corpo, permitindo que, ao ser alterado, o modelo se adapte automaticamente ao novo valor estabelecido.

De forma semelhante, foi aplicado um segundo parâmetro na parte superior do corpo da fundação, denominado `corpo_dmenor`, com o objetivo de controlar o diâmetro da extremidade superior do elemento. A utilização de dois parâmetros distintos possibilita a criação de um sólido com geometria variável, assumindo a forma de um tronco de cone. Essa abordagem permite maior flexibilidade na modelagem, garantindo precisão e adaptabilidade às variações de projeto.

Figura 4 – Parametrização do Corpo da Fundação

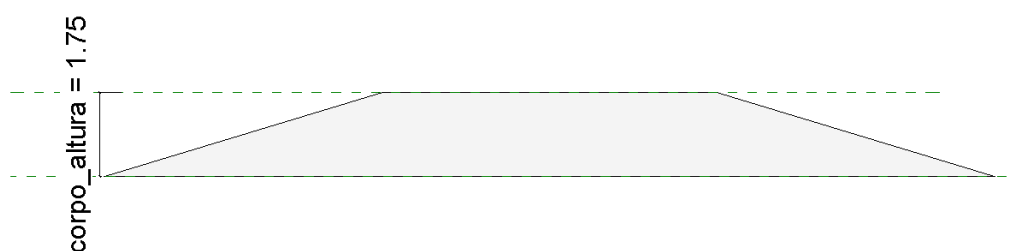


Fonte: Do próprio autor

Na Figura 5, é apresentado um corte transversal do mesmo elemento, permitindo a visualização do parâmetro `corpo_altura`, vinculado a planos de referência. Esse parâmetro tem a função de controlar a altura do tronco de cone que compõe o corpo da fundação.

Com a definição dos três parâmetros principais, sendo eles `corpo_dmaior`, `corpo_dmenor` e `corpo_altura`, torna-se possível gerar a geometria necessária para a construção tridimensional do elemento. Dessa forma, a modelagem resultante pode ser visualizada de forma completa em perspectiva 3D, proporcionando uma representação precisa e ajustável conforme as exigências do projeto.

Figura 5 – Corte transversal do corpo da fundação



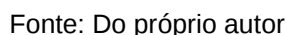
Fonte: Do próprio autor

Após a criação dos parâmetros responsáveis por controlar as geometrias dos elementos, foram definidos os Parâmetros de Identidade. Esses parâmetros têm como objetivo caracterizar cada um dos componentes do conjunto de fundação, garantindo a padronização e a integração necessária para o processo *BIM 4D*. Para este trabalho, foi estabelecido que todas as subfamílias do conjunto compartilhassem os seguintes parâmetros: Descrição, Material, ID, Início da execução e Final da execução.

Em ordem, esses parâmetros têm a função de indicar o que o elemento representa, de qual material ele é composto, qual seu código identificador, além das datas que serão utilizadas como base para a simulação cronológica no ambiente *BIM 4D*. Com base nisso, foi criada uma lista de parâmetros compartilhados, recurso que permite o uso de um arquivo único, no formato “.TXT”, para anexar os mesmos parâmetros a diferentes famílias, evitando a necessidade de criá-los repetidamente. Isso resultou em um processo mais ágil e padronizado na construção das famílias paramétricas.

Cada elemento do conjunto recebeu esses parâmetros compartilhados, garantindo uniformidade e consistência nos dados atribuídos. O parâmetro de Material, no entanto, foi aplicado de forma individual, devido à sua relevância na extração dos quantitativos. O material atribuído a esse parâmetro será exatamente o que aparecerá nos relatórios de levantamento de materiais, o que reforça a importância de sua correta definição já nesta etapa do processo. Na Figura 6, pode-se observar a aplicação do parâmetro de material no corpo da fundação, ilustrando a integração entre o modelo tridimensional e as propriedades construtivas do elemento.

Figura 6 – Inserção de parâmetro de material



Na Figura 7, apresenta-se a tabela de propriedades do modelo, onde é possível visualizar todos os parâmetros estabelecidos, já organizados e configurados, evidenciando a estrutura lógica e a inteligência incorporada à modelagem paramétrica.

Figura 7 – Tabela de Parâmetros

Fonte: Do próprio autor

Com as armaduras modeladas, o conjunto completo da fundação pode ser integrado à metodologia *BIM 4D*. Essa integração permite associar os elementos ao cronograma da

obra, possibilitando uma visualização clara da ordem executiva e das etapas construtivas ao longo do tempo.

O modelo torna-se uma ferramenta eficiente para o planejamento e acompanhamento da obra, além de facilitar a extração dos quantitativos e a comunicação entre os profissionais envolvidos, contribuindo para uma execução mais precisa e organizada.

3.5 Visualização do modelo através da realidade aumentada

Com o modelo da fundação finalizado e parametrizado, foi possível integrá-lo a um ambiente de realidade aumentada, utilizando o plugin do programa AuginAPP. O Augin é uma ferramenta que possibilita a visualização de modelos *BIM* diretamente em dispositivos móveis, permitindo a imersão do usuário no modelo tridimensional, em escala real e no local exato da construção.

Para realizar essa integração, o modelo da fundação foi exportado no formato “.IFC” diretamente do *Revit*, respeitando as configurações necessárias para a correta leitura dos elementos e seus parâmetros. Em seguida, o arquivo foi carregado na plataforma do Augin, onde o modelo ficou disponível para visualização.

Com o uso do aplicativo Augin em smartphones ou tablets, os profissionais da obra podem acessar o modelo da fundação diretamente no campo, posicionando virtualmente o elemento no terreno. Essa visualização em realidade aumentada proporciona uma melhor compreensão do projeto, facilita a identificação de interferências e ajuda na comunicação entre os envolvidos na execução da obra.

A ferramenta também permite interações com os elementos modelados, sendo possível selecionar partes da fundação e visualizar as informações parametrizadas, como material, volume, dimensões e datas de execução. Isso garante que todas as informações do modelo estejam acessíveis de forma clara e prática, diretamente no local de aplicação.

Na Figura 8 abaixo, é possível perceber a aplicação da tecnologia de realidade aumentada diretamente no canteiro de obras, onde a visualização em escala real do modelo projetado é inserida no ambiente físico da construção. A imagem demonstra como, ao apontar o dispositivo para o local de execução, o profissional consegue visualizar exatamente o que será construído, conforme as especificações do projeto executivo.

Conforme descrito por reportagem do Jornal do Comércio (2019), ferramentas de realidade aumentada vêm sendo utilizadas na construção civil para transformar plantas em modelos tridimensionais, oferecendo aos profissionais da área uma nova forma de interação com os projetos: mais visual, interativa e precisa. Essa inovação reforça a importância da integração entre modelagem BIM e RA, como aplicada neste trabalho, para promover maior controle e eficiência nas etapas de planejamento e execução das obras.

Figura 8 – Aplicação da Realidade Aumentada



Fonte: Jornal do Comércio

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo o cenário apresentado, foi possível observar um grande avanço em todas as etapas que envolvem o projeto estrutural da fundação do aerogerador de um parque eólico. Através da modelagem 4D, tornou-se viável extrair informações com agilidade e precisão em diversas fases do projeto.

Na etapa de pré-orçamentação, não se verifica mais a necessidade do uso de planilhas auxiliares de cálculo ou métodos tradicionais, uma vez que, ao inserir os parâmetros de projeto na família paramétrica, o modelo se adapta automaticamente e gera os quantitativos de forma precisa. Esse ganho de produtividade é essencial para que a empresa possa tomar decisões estratégicas que impactam diretamente nos custos da obra e na escolha das soluções técnicas mais adequadas para a construção do parque eólico.

No desenvolvimento do projeto executivo, a aplicação do modelo tridimensional se mostra ainda mais relevante. A forma convencional de representação se apresenta limitada para muitos profissionais que não possuem familiaridade com leitura técnica em 2D ou com visualização espacial de elementos estruturais complexos. Por isso, a modelagem 3D, feita de forma fiel ao projeto estrutural, contribui significativamente para o entendimento global da estrutura, reduzindo erros de interpretação e retrabalhos em campo.

Outro ponto crucial é a extração dos quantitativos de materiais, que evita compras equivocadas, desperdícios e descartes desnecessários. A geração automatizada e precisa desses dados contribui não apenas para o controle financeiro da obra, mas também para as boas práticas ambientais, uma vez que reduz o impacto do descarte de resíduos no meio ambiente.

A modelagem 4D também permite que a equipe de execução visualize com clareza a ordem construtiva de cada componente da fundação, tanto na parte cimentícia quanto nas armações. No caso das armaduras, o modelo indica de forma precisa quais vergalhões devem ser posicionados primeiro, evitando incompatibilidades, atrasos e desperdícios, promovendo assim um processo de construção mais eficiente.

Além de todos esses benefícios, a aplicação da realidade aumentada proporciona uma experiência imersiva, permitindo que os profissionais visualizem o modelo em escala real exatamente no local de implantação. Isso facilita a compreensão do projeto, a comunicação entre as equipes e a antecipação de possíveis conflitos antes da execução.

Com base em todos esses aspectos, conclui-se que este projeto é altamente vantajoso para a empresa, pois integra tecnologia, precisão e sustentabilidade em um processo inovador que eleva significativamente o nível de qualidade e eficiência na execução de obras complexas como as de parques eólicos.

AGRADECIMENTOS

À empresa Dois A Engenharia e Tecnologia LTDA, pelo suporte e pela oportunidade de desenvolver este trabalho em um ambiente profissional que favoreceu o aprofundamento técnico e prático do tema abordado.

Ao engenheiro Filipe Cassiano Bezerra, gerente do setor de Engenharia da Dois A, pela orientação dedicada durante todo o processo de desenvolvimento da família paramétrica, bem como pelas valiosas correções, sugestões e aprovações ao longo da modelagem.

A empresa George Maranhão Engenharia e Consultoria Estrutural S/S, pelo apoio técnico fornecido e pelo esclarecimento de dúvidas relacionadas aos projetos estruturais, contribuindo significativamente para a precisão e qualidade do trabalho desenvolvido.

À professora Darcia Samia Santos Moura de Macedo, pela orientação acadêmica, incentivo e suporte durante a construção desta pesquisa, fundamentais para a consolidação dos conhecimentos apresentados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:2019 – Projetos e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CINTRA, J. C.A., AOKI, N., ALBIERO, J. H. Fundações diretas: projeto geotécnico. Oficina de Textos. São Paulo, 2011

UNIVERSIDADE DO PORTO. Repositório Aberto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/146062/2/594698.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

INTEGRATION OF BIM 4D METHODOLOGY AND AUGMENTED REALITY IN PARAMETRIC MODELING OF SHALLOW FOUNDATIONS FOR WIND TURBINES IN WIND FARMS

Abstract: *This work presents the development of a parametric family in Autodesk Revit ® software for 4D modeling of shallow foundations applied to wind turbines, integrating pre-budgeting, technical detailing, quantitative survey, executive planning and visualization in augmented reality. Based on the analysis of real needs in the engineering sector, the model was structured to adapt dynamically to different design conditions, optimizing time, reducing errors and wastage in the field (construction site). The proposal provides greater precision in the construction stages, improved communication between teams and an immersive experience for project interpretation. As a result, the solution is highly advantageous for companies seeking efficiency, sustainability and innovation in the wind energy sector.*

Keywords: *Bim, Foundation, wind turbine.*

