

ANALISE DAS TECNICAS CONSTRUTIVAS DE ANTONI GAUDI E SUA APLICAÇÃO EM PROJETO CONTEMPORÂNEOS

Paola Narciso Beraldo (IC) e Célia Regina Moretti Meirelles (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

A aplicação dos principais conceitos estruturais, que foram desenvolvidos desde os primórdios da humanidade e aplicados por nomes conhecidos na construção civil e da arquitetura, como o arquiteto catalão Antoni Gaudí, tiveram grande contribuição na concepção de espaços arquitetônicos. Antoni Gaudí aplicou técnicas distintas e carregadas de caráter simbólico para desenvolver projetos de excelência estrutural. Na área de arquitetura, o estudo das técnicas construtivas vernaculares, pautadas em conhecimento geométrico e na utilização de materiais locais, é bastante recorrente em projetos contemporâneos que buscam uma maior eficiência estrutural aliada à funcionalidade do projeto. O objetivo desta pesquisa é entender como a concepção estrutural e geométrica aplicada por Antoni Gaudí contribui para na concepção e forma de espaços em obras contemporâneas. As releituras dos sistemas estruturais, como métodos de experimentação utilizados no passado, são adaptadas aos diversos contextos e materiais por arquitetos contemporâneos com o intuito de intensificar as relações entre o espaço arquitetônico e a espacialidade das formas estruturais. Neste contexto, a experimentação assume um importante papel no processo do desenvolvimento de tecnologias 3D, que permitam diversas composições geométricas que se adequem melhor a concepção de projeto. Deste modo, o entendimento de conceitos geométricos associados às técnicas de construção permite ao arquiteto vastas possibilidades formais, que quando trabalhadas em função do espaço arquitetônico, podem gerar formas bastante expressivas e eficientes que estabelecem uma relação harmoniosa com o entorno existente.

PALAVRAS-CHAVE:

Forma, estruturas, espaço arquitetônico

ABSTRACT

The implementation of major structural concepts that have been developed since the beginnings of humanity and applied by well-known names in construction and architecture, such as the Catalan architect Antoni Gaudí, had a great contribution in the design of architectural spaces. Antoni Gaudí applied different techniques that were filled with symbolic character to develop structural projects of excellence. In the field of architecture, the study of

vernacular building techniques, guided by geometric knowledge and use of local materials, is quite recurrent in contemporary projects that seek greater structural efficiency together with design functionality. The aim of this research is to understand how the structural and geometric design applied by Antoni Gaudí contributes to compositional creativity and to and to the form-finding process in contemporary projects. The reinterpretation of the structural systems and form-finding processes methods used in the past were adapted to different contexts and materials by contemporary architects in order to intensify relations between the architectural space and the spatiality of structural forms. In this context, experimentation plays an important role in the development of 3D technologies, enabling several geometric compositions which are best suited to project design. Therefore, the understanding of geometric concepts associated with construction techniques enables a new range of possibilities to the architect when working on the basis of architectural spaces, which can generate very significant and efficient forms and establish a harmonious relationship with the existing surroundings.

KEYWORDS

Form; structural efficiency; architectural space.

INTRODUÇÃO

Aliada a concepção arquitetônica, a estrutura pode ser utilizada como complementação do espaço ora por sua significação de alta tecnologia, ora por conseguir transpor valores de uma sociedade utilizando-se de técnicas construtivas, inovadoras ou vernaculares, para delimitar o espaço arquitetônico.

A palavra *estrutura* tem significado de considerável amplitude. De modo genérico significa a maneira especial por que estão dispostas, em relação umas as outras, as diferentes partes de um corpo. (...) De modo figurado, serve para designar ordem, a disposição ou a distribuição das diversas partes que compõem uma obra literária, artística ou conceito filosófico. De maneira especial, entretanto, a palavra *estrutura* é usada para designar a composição, construção, organização e disposição arquitetônica de um edifício. (SILVA; SOUTO, 2000, p. 17)

Como destacado na citação, é possível estabelecer uma relação e integração da estrutura com a arquitetura de modo a intensificar as relações de forma e espacialidade. A estrutura desde os primórdios da civilização teve sua origem em concepções lógicas relacionadas à criação de espaços, os quais possibilitavam a evolução da forma arquitetônica, quase sempre associada a valores locais, estéticos e, principalmente, ao progresso tecnológico.

Silva e Souto (2000) apontam que a integração da estrutura à concepção do espaço sempre esteve associada a três fatores básicos: Fatores funcionais, cujo objetivo é adquirir uma forma estrutural baseada na escala humana destinada à soluções de habitação, dos espaços esportivos e aeroportos; Fatores técnicos, que destacam maior importância à materialidade e a técnica construtiva empregada, possibilitando o surgimento de peças mais esbeltas e mais resistentes; e Fatores estéticos, que consideram os elementos construtivos com uma verdadeira força estética presente na composição arquitetônica, e transmitem ao observador, por meio de formas geométricas e proporções de espaço, sensações de equilíbrio e estabilidade.

A presente pesquisa tem como objetivo mostrar como o entendimento da concepção estrutural aliada a composição geométrica pode gerar diversas possibilidades formais em projetos contemporâneos, quando associadas à concepção do partido arquitetônico. A discussão deste tema permite aos arquitetos, um grande domínio da técnica, plasticidade e tectônica dos materiais, assim como no aperfeiçoamento composição geométrica do espaço, visando projetos expressivos que confirmem maior qualidade arquitetônica ao espaço sem destituí-lo de sua essência cultural. (SOUZA, 2006)

O conhecimento das técnicas construtivas proporciona ao arquiteto um campo de visão mais amplo ao possibilitar um melhor entendimento da estrutura equiparada a um objeto

arquitetônico essencial para moldar a flexibilidade do espaço, sem perder as características vitais da proposta do partido arquitetônico. O papel da estrutura deve estar sempre relacionado à criação de um espaço humanizado que pode ser potencializado com qualidade estética através da delimitação espacial geométrica. (MOUSSAVI; LOPEZ, 2009)

Os arquitetos podem inovar de vários modos distintos, por meio da experimentação de formas geométricas reconhecidas; aplicação de técnicas vernaculares em novos materiais, pela modificação de um processo construtivo. Como destaca Moussavi e Lopez (2009) grande parte dessas experimentações é focalizada em variações geométricas internas da forma do espaço arquitetônico, e raramente na incorporação de ideias de como a produção, arquitetônica e estrutural, de cada espaço pode contribuir para a distinção de cada edificação. Geralmente os ambientes que são explorados além de seu interior através de seus limites físicos de plasticidade, materialidade e rigor estrutural possuem um caráter mais expressivo como edificação.

O processo de experimentação, de materiais e suas possibilidades formais no espaço, pretende aprimorar o conceito de espaço arquitetônico por meio da inserção de métodos construtivos aplicados por arquitetos, como Antoni Gaudí, em projetos contemporâneos.

(MOUSSAVI; LOPEZ, 2009)

REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos maiores expoentes em aplicar e estudar estruturas com curvas orgânicas foi o arquiteto catalão Antoni Gaudí. Ao estabelecer um novo estilo de construção a partir de modelos inspirados em formas da natureza ele faz uso da alvenaria em grande parte de suas obras originando formas espaciais distintas, em compressão, cuja característica principal é a constante interdependência entre a estrutura empregada e a forma do lugar gerado pela mesma. Suas obras são julgadas por sua excelência estrutural e qualidade estética, em decorrência de uma concepção arquitetônica na qual todas as qualidades arquitetônicas - como a situação de projeto, a dimensão, a forma e a cor- estão intimamente ligadas.

Como destaca Huerta (2006) “o design estrutural era uma parte integral ao design arquitetônico desde seus estudos preliminares”.

Ao se inspirar em formas orgânicas ele concebeu formas estruturais que fizessem uma alusão aos modelos estruturais presentes na natureza, a partir de experimentações e estudos na área da botânica, geologia, mineralogia e anatomia. Por meio destes estudos acerca a geometria e estabilidade das forças internas dos materiais, foi possível que o arquiteto

adquirisse um grande domínio no estudo das formas, proporções dos materiais e a capacidade de assegurar a estabilidade de suas edificações. (SOUZA, 2006)

Relação entre a coluna de giro duplo da Igreja da Sagrada Família com a estrutura natural de uma árvore

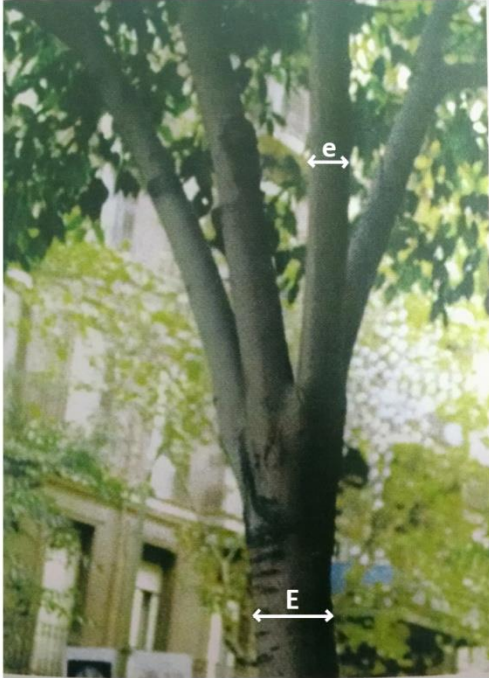


Figura 01

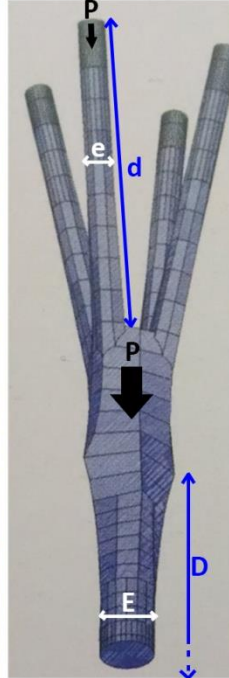


Figura 02



Figura 03

Figuras 01 e 02 – Fonte: SEACEX - adaptada pelo autor
Figura 03 - Fonte: Acervo próprio;

Como destacado nas figuras 01, 02 e 03, existe a semelhança entre as formas orgânicas de uma árvore (figura 01) e seus pilares (figuras 02 e 03), encontrados em seu projeto da Igreja da Sagrada Família, Gaudí sintetizou seus conhecimentos geométricos e matemáticos utilizando a natureza como referência. As colunas de duplo giro tem sua concepção de projeto por meio de uma base principal, espessa (E), rotacionada em seu eixo até uma determinada altura, onde começa a se segmentar em vários pilares, mais esbeltos (e), que alcançam a laje superior em diferentes pontos. Este sistema orgânico, não só garantiu uma maior superfície de apoio do pilar, por ter proporcionado vários pontos de apoio estáveis, conferindo uma distribuição dos carregamentos estruturais (P) de maneira mais homogênea e evitando a flambagem estrutural, mas conferiu a criação de peças mais esbeltas, várias possibilidades formais e consequentemente um espaço amplo. (ORCIUOLI, 2002) (REBELLO, 2001)

Durante seu extenso processo de criação o arquiteto determinava, a princípio, a forma desejada e posteriormente fazia uso de variados elementos e materiais - como a fotografia, maquetes, desenhos, moldes, espelhos, entre outros - para que ele pudesse explorar todas

as formas planas e espaciais até chegar a uma solução estrutural que fizesse com que sua forma ideal fosse concretizada como um elemento físico real no espaço. (GIRALT, 2002)

Assim como fora citado por Giralt (2002), Gaudí fazia grandes experimentações com diversos materiais, explorando sua materialidade ao limite para que conseguisse aliar as melhores soluções estruturais à espacialidade desejada no seu partido arquitetônico. A partir delas o arquiteto rompe com os valores da arquitetura tradicionalista do passado, utilizando um novo método de cálculo que vai além dos métodos gráficos comumente utilizados na época, conhecido como “o sistema funicular”. Este sistema se baseava em determinar a forma espacial das estruturas sem a aplicação de fórmulas matemáticas, apenas por meio de formas geométricas de arcos parabólicos ou em catenária, obtidos por um modelo de cordas.

Esse método consiste na construção de uma maquete invertida, em tamanho reduzido, apenas com a utilização de cordas e pesos, em que cada corda era presa em suas extremidades formando um arco, na qual eram distribuídos pesos em intervalos distintos. Os pesos tinham grande importância nesse processo por simbolizar o peso estrutural a ser empregado na edificação, decorrente do material escolhido. A corda, por sua vez, esta sempre suscetível a novos formatos geométricos que simbolizavam o caminho do carregamento estrutural da edificação em decorrência da deformação gerada pela quantidade e distanciamento dos pesos em sua extensão. No final da experimentação o modelo era invertido, usando um espelho situado na base da maquete, originando a forma final do projeto estrutural, que posteriormente serviria como um desenho base para a execução real da obra. (BUXADÉ; MARGARIT, 2002)

O sistema “funicular” empregado por Gaudí, que pode ser observado na figura 04, foi considerado de grande inovação tecnológica, na época, por determinar formas espaciais comprimidas, que viriam a ser executadas em alvenaria e pedras, a partir inversão de formas tracionadas, como de uma parábola ou uma catenária, geradas a partir do uso de cordas em sua maquete. A técnica construtiva desenvolvida, além de estabelecer a forma estrutural final da edificação (figura 05), determinando a forma geométrica dos pilares e vigas, também contribuiu no estudo de materiais, como a alvenaria, explorando a fundo sua capacidade de compressibilidade e plasticidade, visando criar estruturas com formas mais estáveis.

De maneira geral o método de construção catalão, absorvido pelo arquiteto Catalão teve como matéria prima principal- para a criação de coberturas, paredes e lajes maciças- a alvenaria local denominada de “rasilla”. A utilização desse material de forma predominante em suas obras conferiu a Gaudí o aperfeiçoamento no estudo de formas geométricas comprimidas e na criação de sua própria concepção geométrica do espaço arquitetônico. (ORCIUOLI, 2002)

Processo do modelo estrutural da Igreja da Sagrada Família a partir do uso do modelo funicular



Figura 04



Figura 05

Imagem 04 e 05 – Fonte: Acervo próprio;

A seguir serão analisados alguns elementos formais aplicados na linguagem desenvolvida por Antoni Gaudí, a partir de sua análise e experimentação que utilizavam como elemento base as formas geométricas e estruturais concebidas na Antiguidade Clássica e na Idade Média.

FORMA

Na contemporaneidade, assim como cita Souza (2006) uma linguagem arquitetônica expressiva está cada vez mais relacionada à geometria como um elemento estrutural e formal, que carrega em sua forma elementos que remetem a memória do espaço e a cultura local.

“Empregar a Geometria para criar a forma de arquitetura está além das diferenças entre povos, climas e regiões do planeta, pois seus símbolos são inteligíveis por todas as culturas”.

“O resultado conseguido com essas formas é reconhecido como linguagem comum a todos: a linguagem arquitetônica. A partir dessa de comunicação comum, é possível expressar as diferenças entre culturas, tradições e religiões, desafiando a dificuldade, o equilíbrio entre o global e o local.”

(SOUZA, 2006, p. 43)

Adaptando-se a essa nova realidade, vários dos conceitos aplicados no passado por mestres na área de arquitetura, engenharia e experimentação, passaram a ser aprimorados

e readaptados em obras contemporâneas, a fim de explorar a multiplicidade das formas ligadas a estruturas eficientes.

A aplicação dos principais conceitos estruturais, utilizados por nomes reconhecidos Como Antoni Gaudi, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi, Felix Candela e Frei Otto, na construção civil ao longo do tempo, contribuem na concepção da arquitetura. Cada arquiteto aplicou técnicas construtivas distintas permeadas com um caráter simbólico e tectônico.

Relação entre a concepção estrutural dos arcos botantes em Igrejas Góticas e sua adaptação no projeto do Parc Guell

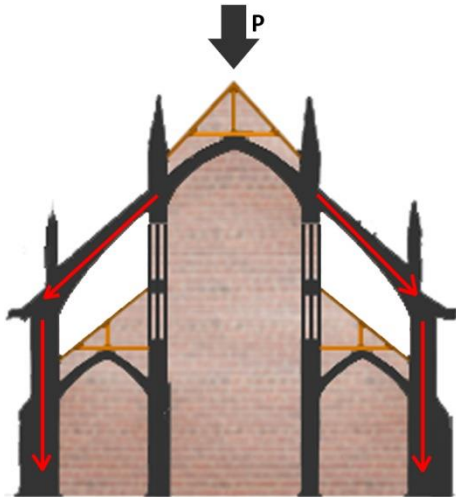


Figura 06

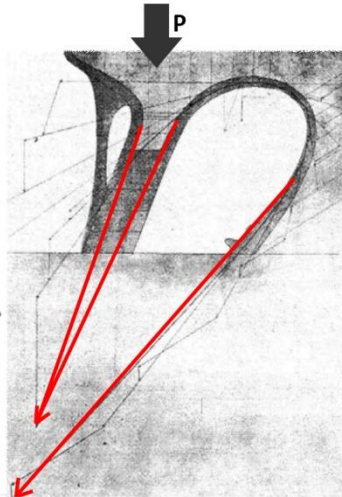


Figura 07

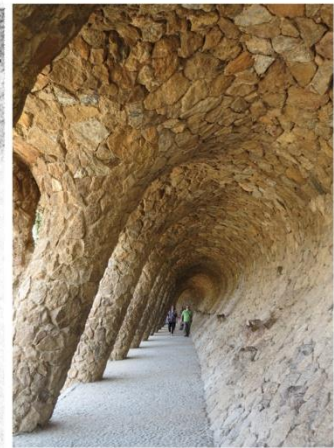


Figura 08

Figura 06 – Fonte: COUTINHO, Valdemar; NUNES, Nélia -adaptada pelo autor;

Figura 07 – Fonte: HUERTA, Santiago - adaptada pelo autor;

Figura 08 –Fonte: Acervo próprio;

A arquitetura Gótica apresentou uma evolução nas técnicas de construção, principalmente com aparecimento dos arcos botantes. Assim como pode ser observado na imagem 06 os arcos botantes funcionavam como estruturas externas a edificação com a função de suportar parte do carregamento estrutural, o peso próprio da Igreja, conferindo a diminuição de carga a ser suportada pelas paredes internas, que passaram a ser menos espessas e com aberturas maiores.

Segundo BAIXAS (2005) o princípio de arcos botantes junto ao contraforte tem como função principal o desvio dos esforços horizontais de maneira que os esforços resultantes caiam diretamente na base edificada, suas fundações. Normalmente quando se dispõem vários arcos ou abóbadas de maneira sequencial dentro de uma edificação os esforços horizontais de cada arco se anulam ao tentar atingir um grau de equilíbrio com o arco seguinte. Neste caso apenas os arcos localizados nas extremidades da sequencia não conseguem suprir totalmente as suas forças horizontais necessitando de elementos externos, contrafortes ou arcos botantes, para atingir sua estabilidade estrutural, como mostra a figura 06.

Assim como pode ser observado na figura 07, Gaudí se utilizou dos conceitos estruturais do passado e geometria analítica, para adequar o conceito de dispersão do carregamento estrutural que se subdivide em estruturas externas e internas, possibilitando uma maior liberdade formal. Essa liberdade formal pode ser observada em grande parte de suas obras, sobretudo em seu projeto do Parque Guell (figura 08) em que se optou por pilares externos de forma orgânica mais espessa que segue uma inclinação semelhante à parede interna de retenção.

Relação entre a concepção estrutural dos arcos romanos e os arcos em catenária através do projeto Colegio de las Teresianas

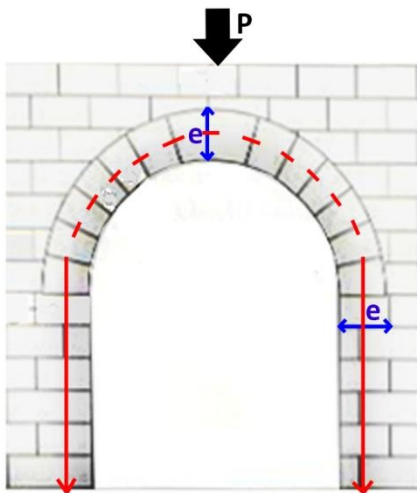


Figura 09

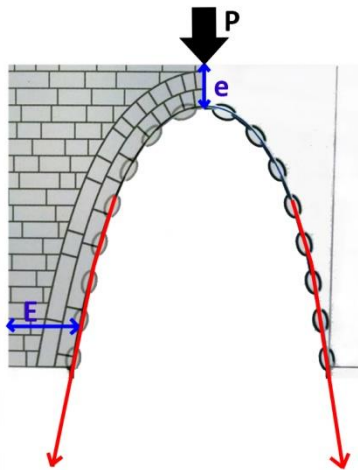


Figura 10



Figura 11

Figura 09 – Fonte: AETERNAM-ARCHITECTURA -adaptada pelo autor;

Figura 10 – Fonte: SEACEX - adaptada pelo autor;

Figura 11 –Fonte: Acervo próprio;

Na figura 09 é possível observar também uma apropriação dos conceitos técnicos aplicados na construção de arcos romanos, aplicados desde a Antiguidade Clássica, na concepção técnica de novos arcos denominados arcos em catenária (figuras 10 e 11) pelo arquiteto Catalão. O arco romano possuía seu método de cálculo baseado exclusivamente em geometria analítica, a qual determinava seu formato de semicírculo baseado na disposição regular de pedras, de mesma espessura, em seu perímetro em formato “U”.

Alguns autores apontam que o arco romano sofre esforços mistos entre flexão e compressão, enquanto outros como Huerta (2006) destacam que ele é predominantemente comprimido. Neste arco a resultante que chega aos apoios é vertical, portanto as forças horizontais são consideradas nulas. Já o modelo proposto por Gaudí se baseia em resultados obtidos em seu modelo “funicular”, cujo arco em catenária é obtido primeiramente por uma forma tracionada e depois rebatida em forma comprimida. Nesse sistema estrutural todos os elementos estão submetidos a esforços de compressão, e possui um formato em “V” invertido,

na qual a parte inferior possui uma espessura maior que a parte superior afunilada, por possuir um maior carregamento de esforços verticais e horizontais na base. (HUERTA, 2006)

Os autores Silva e Souto (2000) confirmam a tese de Gaudí, sinalizada a cima, onde a inversão da forma tracionada, a qual todas as cargas atuantes distribuídas de maneira uniforme, em arco funicular, permite a atuação de forças de compressão. Em comparação aos arcos romanos, em que sua forma de semicircunferência é considerada como a forma ideal para resistir a cargas radiais, a forma parabólica tem como qualidade principal sua economia e estética. (SILVA; SOUTO, 2000)

SISTEMAS ESTRUTURAIS

Arcos em Catenária

Segundo Serrano (2002) o arco em catenária é a forma adquirida ao se pendurar uma corrente em dois pontos de apoio, com o peso próprio constante ao longo do seu comprimento. Neste caso as distancias de comprimento da corda, entre os pesos são iguais ao longo da corda, diferente de uma parábola, em que as distâncias entre os pesos são iguais apenas no eixo horizontal e não em seu comprimento, como no caso dos cabos pendurados em uma ponte pênsil. O arco em catenária pode assumir uma forma simétrica, quando o carregamento central do arco for superior aos restantes e quando todos os demais carregamentos forem simétricos e idênticos em força; ou de forma assimétrica, quando o carregamento em uma ou nas duas extremidades do arco forem superiores aos demais carregamentos também existentes no arco.

Devido a esse modelo estrutural ser totalmente dependente do carregamento ou peso próprio exercido em sua extensão, e posteriormente ser invertido em uma forma comprimida, as forças de empuxo horizontais exercem forte influência em sua forma geométrica final. O arco em catenária estará sempre sujeito a esforços de compressão, e sua base estará sujeita a esforços horizontais, chamados de empuxo. Quanto mais elevado o arco, menores serão os esforços horizontais em relação aos verticais, e quanto mais abatido o arco, maiores serão os esforços horizontais em detrimento dos verticais. Entretanto, por esse sistema estrutural possuir peças mais esbeltas e de altura superior a um arco tradicional, seu equilíbrio estrutural deve ser garantido pelo espessamento da base que irá suportar as resultantes verticais e horizontais de sua forma funicular. (BAIXAS, 2005)

Paraboloides Hiperbólicos

“O paraboloides hiperbólico é uma das formas mais versáteis para aplicação nos projetos de coberturas devido à possibilidade de variação de suas composições é uma forma de dupla curvatura definida pela combinação de conjuntos de duas parábolas opostas e perpendiculares. Cada ponto da superfície curva da uma paraboloides hiperbólico pode ser definido por duas linhas retas. Os paraboloides de bordas curvas conhecido como sela de cavalo e os paraboloides hiperbólicos de bordas retas e suas composições entre eles o guarda-chuva.” (MEDRANO; MEIRELLES, 2013, p. 5)

Variedade de formas geométricas que o paraboloides hiperbólico permite explorar

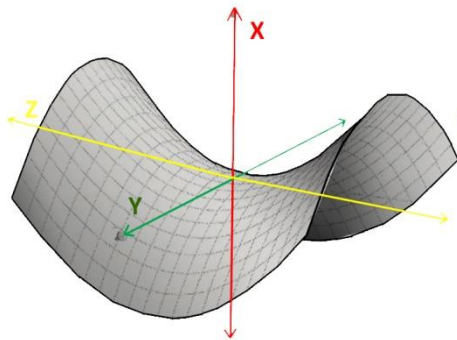


Figura 12

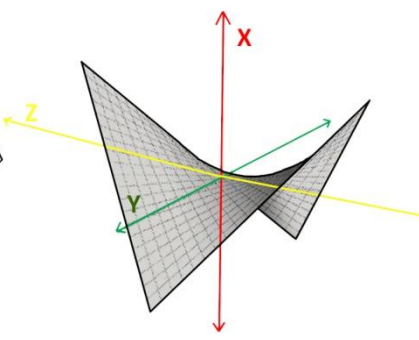


Figura 13

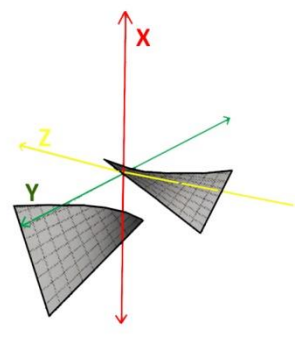


Figura 14

Figuras 12, 13 e 14 – Fonte: SEACEX, 2002 -adaptada pelo autor;

Como afirmam Medrano e Meirelles (2013) o paraboloides hiperbólico é sujeito a diversas possibilidades de composição geométrica, podendo ser ora uma forma única com um ou dois pontos de apoio, ora de forma sequencial, como pode ser observado na formulação das abóbadas convexas da Igreja da Sagrada Família, em que quatro paraboloides de unem formando os capitéis dos pilares, ora na intercepção de paraboloides, observado nas abóbadas da Iglesia de la Colonia Guell (figura 14) e nas torres na Sagrada Família, pela sobreposição de dois paraboloides de rotação em um único elemento geométrico.

Coluna de Duplo Giro

A coluna de duplo giro consiste em um polígono único, cuja secção geométrica da base vai se alterando, ora pelo aumento do número de arestas ora pelo aumento de curvaturas, em determinadas alturas. Durante a transição de uma secção para a outra a peça exerce uma rotação em helicoidal, tomando como eixo base o eixo central do pilar. (ARMENGOL, 2002)

Segundo Huerta (2006) o esqueleto de pilares comuns e pilares em “árvore” são projetados para serem capazes de coletar os carregamentos provenientes do centro gravitacional de cada segmento da edificação, e posteriormente para transferi-los a diversos pontos fixos no solo. Esse sistema de estabilidade estrutural toma como base que cada segmento tem seus carregamentos distribuídos verticalmente através de cada “galho” do pilar. (HUERTA, 2006)

Conóides

Segundo Alsina (2002) as superfícies conoidais, normalmente são constituídas em um espaço que contenha uma reta, um plano perpendicular à mesma e uma curva. Estas superfícies são bastantes presentes no meio natural, principalmente na matéria fibrosa entre os ganhos retos e as curvas de uma folha ou de flores. Normalmente sua estrutura básica se baseia na disposição de uma reta central onde são dispostas várias retas, secundárias, perpendiculares por sua extensão, as quais possuem o mesmo comprimento e são sempre posicionadas no seu ponto médio na reta principal. Quando esse sistema é finalizado são posicionados na extremidade de cada reta secundária, dois planos invertidos, paralelos da reta principal, que contém um perfil sinusoidal (em formato de onda). Uma vez que os planos sinusoidais invertidos são posicionados, eles são interligados em cada ponto de suas curvaturas, pelas extremidades de cada reta secundária.

As superfícies conoidais podem existir com dois perfis distintos: Perfil Helicoidal, quando a reta principal serve de eixo base de rotação para o plano curvo, que possui a forma de uma hélice; Perfil Sinusoidal, quando o plano curvo de apoio intercepta em vários pontos a reta principal. (ALSINA, 2002)

MÉTODO

A primeira parte da pesquisa, que tem como premissa principal a importância da análise construtiva e de técnicas estruturais como agentes que contribuem para a potencialização da forma e percepção do espaço arquitetônico, teve como seu desenvolvimento inicial um levantamento bibliográfico. Esse primeiro levantamento possui uma metodologia de pesquisa com alto caráter qualitativo e se restringiu à consulta de fontes secundárias, cuja proposta consiste em uma revisão bibliográfica, onde se pretende extrair dados sobre os principais assuntos e temas que abordam a concepção estrutural e técnica das obras de Antoni Gaudí. .

Em segundo momento houve a delimitação dos conceitos estruturais das obras contemporâneas selecionadas, como uma releitura estrutural, de modo que se pudesse fazer uma análise mais aprofundada sobre a estrutura, a técnica e a delimitação da forma. Em especial foi realizada uma análise crítica destes conceitos e da metodologia adotada na obra dos arquitetos Enric Miralles, Santiago Calatrava e Dominique Perrault.

A consolidação deste trabalho foi realizada por meio de uma análise comparativa entre as obras contemporâneas e algumas obras de Antoni Gaudí por meio da bibliografia selecionada, destacando as semelhanças e diferenças quanto à técnica construtiva e a releitura da forma como protagonista do espaço arquitetônico. Em paralelo a essa análise comparativa foram selecionados alguns destes projetos para o seu redesenho e posteriormente para a construção de modelos em escala reduzida, visando uma melhor compreensão de suas estruturas e técnicas de construção.

Quanto a sua elaboração, a Pesquisa Científica foi direcionada por meio das seguintes etapas:

PRIMEIRA ETAPA

Revisão bibliográfica das obras comparativas, feitas por Antoni Gaudí, para conseguir identificar os principais pontos do tema de pesquisa. Essa etapa consiste em uma clara distinção entre os métodos construtivos aplicados em cada um dos estudos de caso e sua delimitação espacial atribuída a seu contexto arquitetônico.

- Iglesia de la Colònia Guell (Santa Coloma de Cervelló, ESP)
- Escuelas Provisionales de la Sagrada Família (Barcelona, ESP)
- Igreja da Sagrada Família (Barcelona, ESP)

SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa foram analisadas as obras de Antoni Gaudí por meio de modelos digitais. Eles contribuirão para um melhor entendimento das técnicas construtivas estudadas e o modo como elas podem ser reutilizadas, por arquitetos contemporâneos, de maneiras distintas, utilizando o mesmo conceito estrutural.

TERCEIRA ETAPA

Seleção de obras contemporâneas que dialoguem com as soluções estruturais e espaciais, anteriormente destacadas nas obras de Antoni Gaudí. Essa etapa consiste em uma análise de pontos paralelos aplicados entre as obras dos arquitetos Enric Miralles, Santiago Calatrava e Dominique Perrault, destacando como cada um dos arquitetos aplica os conceitos estruturais já utilizados pelo arquiteto Catalão.

- Mercat de Santa Caterina (Barcelona,ESP)– Arquiteto Enric Miralles;
- BCE Gallery and Heritage Square (Toronto, CAN) – Arquiteto Santiago Calatrava;
- Piazza Garibaldi (Nápole, ITA) – Arquiteto Dominique Perrault;

QUARTA ETAPA

Foi realizado um estudo de campo de obras localizadas na cidade de Barcelona, Espanha, onde foram coletadas fotos específicas das obras de Antoni Gaudí e de um dos estudos de caso, Mercat de Santa Catherine, projeto de Enric Miralles e na Itália, sobre o estudo de caso Piazza Garibaldi, em Nápole, projeto de Dominique Perrault;

QUINTA ETAPA

Trata-se da análise crítica das informações coletadas através da criação de uma tabela comparativa entre cada um dos projetos arquitetônicos contemporâneos selecionados, destacando diferenças e semelhanças entre os métodos construtivos e técnicas aplicadas. Nessa etapa foi sintetizada a pesquisa e concluído o trabalho, demonstrando como cada arquiteto se utilizou da estrutura para aprimorar o espaço arquitetônico, por meio de uma nova linguagem espacial.

RESULTADO DAS DISCUSSÕES

Antoni Gaudí é considerado como um grande ícone em áreas que abrangem engenharia civil, arquitetura, artes plásticas e design, ao inovar técnicas de construção antigas por meio de métodos de experimentação que explorassem a tectônica, plasticidade e possibilidades construtivas dos materiais.



Figura 15: Iglesia de la Colonia Guell;



Figura 16: Escuelas provinciales de la Sagrada Família;



Figura 17: Igreja de la Sagrada Família;

Figuras 15,16 e 17 – Fonte: Acervo próprio;

A seguir serão analisados alguns conceitos estruturais abordados por Antoni Gaudí em três de suas principais obras: Iglesia de la Colonia Güell(figura 15); Escuelas provinciales de la Sagrada Família (figura 16) e a Igreja da Sagrada Família (figura 17).

A Iglesia de la Família Guell é considerada como uma obra que marca a ruptura de estilos históricos, fazendo com que Gaudí assumisse uma nova fase de experimentação, caracterizada pela síntese de seus conhecimentos estruturais, e a utilização da natureza como referência. Esta nova fase de experimentação, a qual o arquiteto assume um novo estilo de composição geométrica, irá servir como referência de inovação estrutural e na formulação do espaço arquitetônico para arquitetos contemporâneos. (ORCIUOLI, 2002)

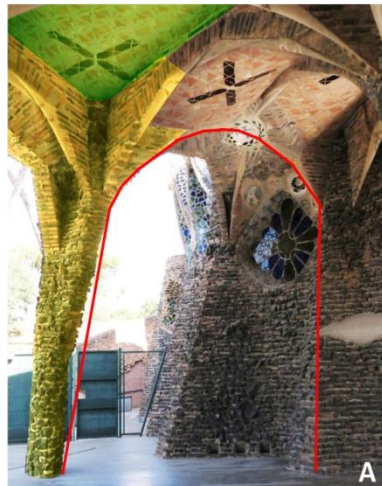
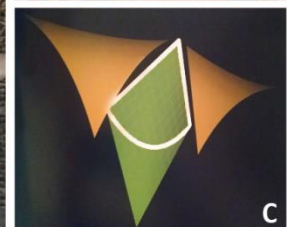
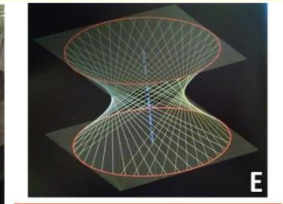
OBRA LOCALIZAÇÃO	IGLESIA DE LA COLONIA GUELL Colònia Guell, Santa Coloma de Cervelló	ANO 1898-1914
SISTEMAS ESTRUTURAIS E TECNICAS APLICADOS		
	ABÓBODAS CONVEXAS  	COLUNA DE GIRO DUPLO HIPERBOLÓIDE DE ROTAÇÃO   ARCOS EM CATENÁRIA 

Tabela 01: Análise estrutural da Iglesia de la Colonia Guell;

Figuras B, C e E – Fonte: SEACEX, 2002 -adaptada pelo autor;

Figuras A, D e F – Fonte: Acervo próprio;

Entre os elementos mais marcantes desta obra podemos destacar os principais elementos como: Arcos em catenária assimétricos (figuras A e F) que são presentes em grande parte da obra sobre tudo na sua entrada da Cripta; Colunas de giro duplo, que podem ser observadas na entrada da cripta (figura D) e podem ser classificadas como um hiperboloide de rotação, ao possuir cada uma de suas seções rotacionadas em torno no eixo principal da coluna (figura E); e Abóbodas convexas na laje superior da cripta (figura B), que exprimem uma forma geométrica complexa, por se diferirem dos modelos tradicionais, pois cada um de seus planos irregulares é um fragmento retirado de parabolóides hiperbólicos distintos, que unidos ajudam a construir uma forma geométrica comum (figura C e B). (CASALS; GONZALÉS, 2002)

Segundo Orciuoli (2002), o projeto das Escuelas Provisionales de la Sagrada Família se destaca por ser um projeto que apesar de possuir uma simplicidade de materiais, como alvenaria e madeira, apresenta grande estabilidade estrutural do seu conjunto em decorrência de sua forma geométrica em um conóide sinusoidal. (ORCIUOLI, 2002)

O Conóide sinusoidal (figura J) aplicado por Gaudí é composto pela junção de conóides da cobertura (figura L) com os das paredes (figura I). O primeiro se caracteriza pela existência de uma viga principal em madeira a qual foram dispostas vigas secundárias, paralelas ao seu eixo, que transladam ora para o ponto mais alto, ora para o mais baixo em diagonal. Esse sistema apresenta a ligação das extremidades das retas secundárias por duas curvas sinusoidais opostas, que podem ser observados na coloração azul nas figuras G e H, os quais apresentam curvaturas opostas no mesmo ponto máximo e mínimo de altura. O segundo conóide, observado nas paredes de alvenaria, é similar a um modelo tradicional, cujo plano circular é disposto no mesmo plano do solo, ligando suas ondulações diretamente a reta principal, que possui seu plano circular perpendicular ao solo coincidindo com o plano circular, delimitado pela cor azul, do conóide de cobertura. Ambos conóides se destacam por possuírem duas curvas sinusoidais, que ora trabalham de formas opostas (conóide de cobertura) ou de formas perpendiculares (conóide da parede), que se ligam nos pontos de altura mínima, observado pela reta em cor verde nas figuras G e H, e altura máxima.

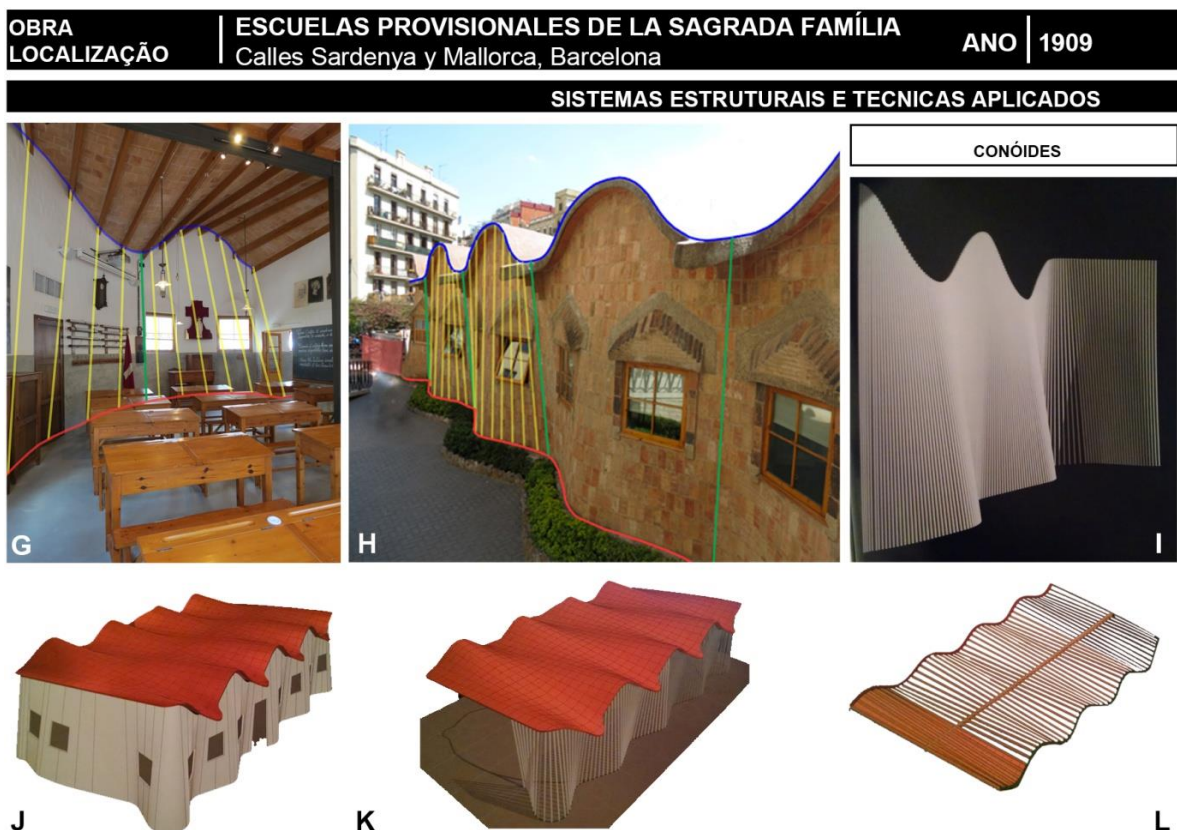


Tabela 02: Análise estrutural da Escuela Provincional de la Sagrada Familia;

Figuras G e H – Fonte: Acervo próprio

Figuras I – Fonte: SEACEX, 2002;

A Igreja da Sagrada Família é um projeto que representa o auge da carreira de Antoni Gaudí por ser uma síntese de sua experiência construtiva ao explorar ao máximo a complexidade geométrica em suas formas. (ORCIUOLI, 2002)

Podemos destacar como os principais conceitos estruturais abordados por Gaudí: Arcos em catenária, situados na nave central, naves laterais, altar-mor, e parte externa, visando à dispersão dos carregamentos internos da edificação em favor de espaços mais amplos, de vãos maiores (figuras M, N, U e V); Colunas de giro duplo, que apresentam diversas secções de diferentes formas geométricas, sujeitas a uma constante rotação em torno do eixo central do pilar, representado pela linha pontilhada vermelha nas figuras S e T; Abóbadas hiperbólicas, presentes na nave central e no altar-mor (figura P), que representam a junção de pelo menos quatro capitéis (figura Q) que são originados pela rotação de uma mesma forma de paraboloides hiperbólicos em torno do eixo central das colunas (figura R); Mescla de geometrias nas colunas (figura O); e o Paraboloide hiperbólico, nos pináculos e torres (figura Z), que apresenta a sobreposição de dois tipos de paraboloides hiperbólicos, delimitados pela cor azul e verde nas figuras W e Y, que se rotacionam ao redor no eixo central de cada torre e posteriormente são unidos em uma única forma geométrica. (BUXADÉ; MARGARIT, 2002)

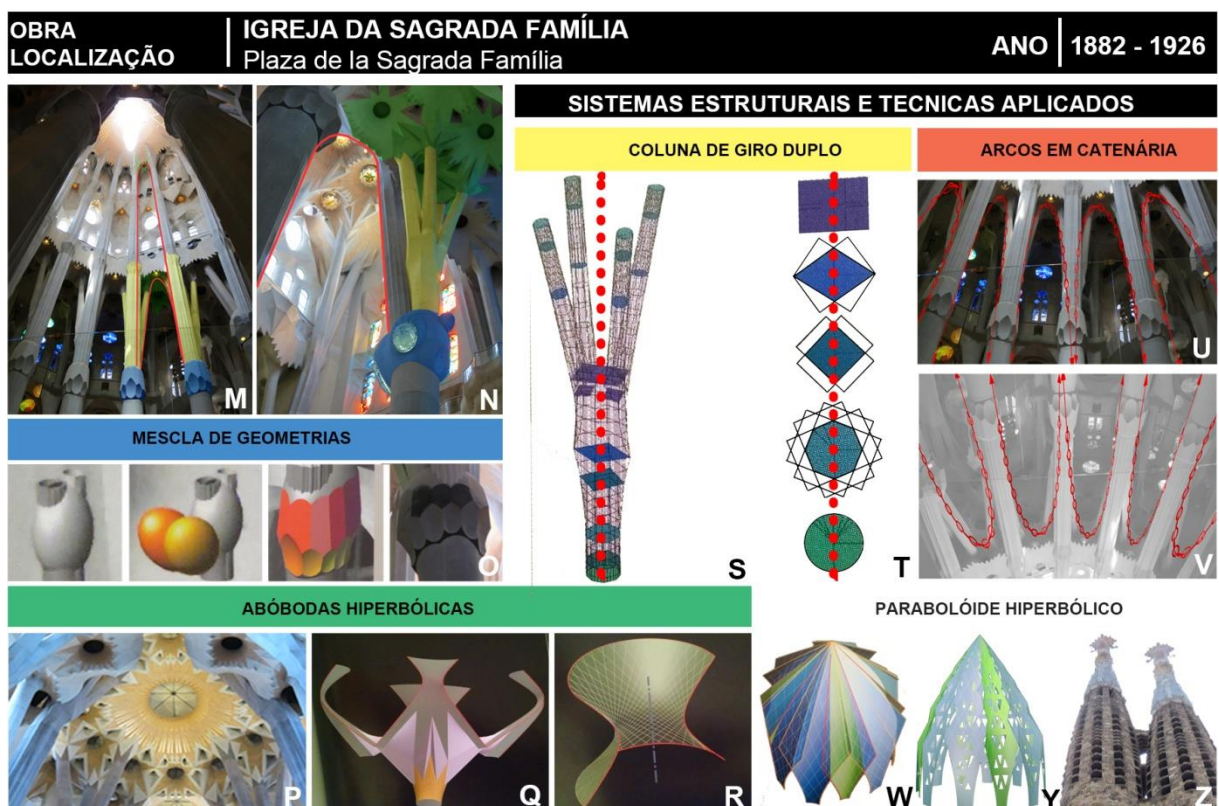


Tabela 03: Análise estrutural da Igreja da Sagrada Família;

Figuras Q, R, S, T, W e Y – Fonte: SEACEX, 2002 – Adaptadas pelo autor;

Figuras M, N, O, P, U, V e Z – Fonte: Acervo próprio

ANÁLISE COMPARATIVA EM PROJETOS CONTEMPORÂNEOS

A seguir será feita uma análise comparativa entre três projetos contemporâneos de arquitetos, como Enric Miralles, Santiago Calatrava e Dominique Perrault, que além de buscarem inspirações em formas orgânicas, buscam retomar alguns conceitos delimitados pelo arquiteto Antoni Gaudí, que abrangem suas soluções estruturais, porém com inovação de materiais mais leves como o aço e a madeira, e variadas composições geométricas.



Figura 18: BCE Galleria and Heritage Square;



Figura 19: Mercat de Santa Caterina;



Figura 20: Piazza Garibaldi;

Figura 18 – Fonte: Sullivan;

Figura 19 – Fonte: Acervo próprio;

Figura 20 – Fonte: Perrault,

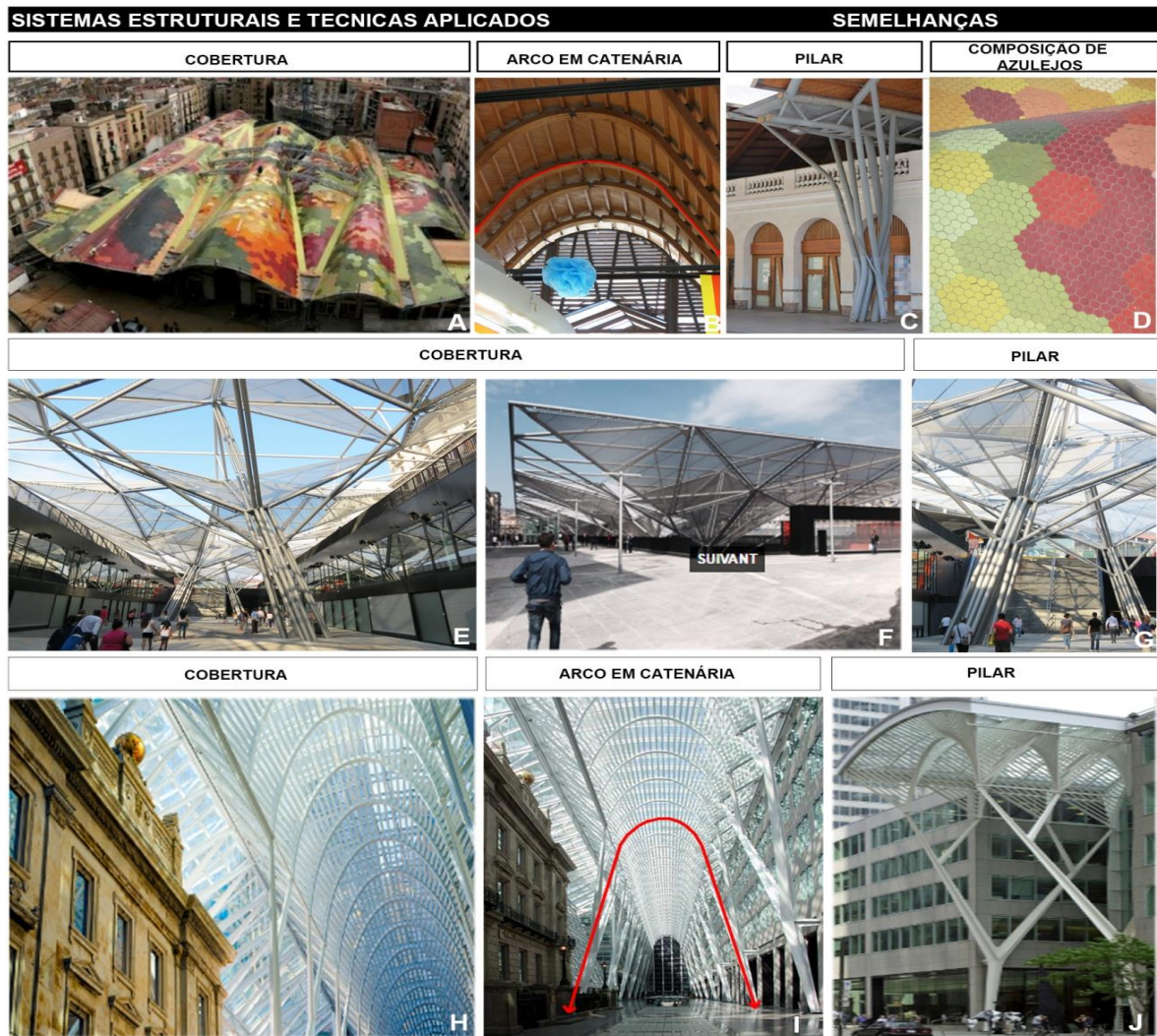


Tabela 04 : Análise estrutural de projetos contemporâneos;

Figuras A – Fonte :CUMELLA;
 Figuras B, C, D, E, G– Fonte: Acervo próprio;
 Figura F – Fonte: PERRAULT;
 Figuras H, I, J e K – Fonte: SULLIVAN;

Enric Miralles, em seu projeto Mercat de Santa Catarina (figura 19) busca suas inspirações em Gaudí ao fazer pilares que remetem a um sistema de “árvore” (figura C), porém utilizando barras metálicas, irregulares, individuais que se unem em uma forma de pilar, porém atingem a cobertura em diferentes pontos de apoio, suportando as vigas em treliça e os balanços das abóbadas. (MEIRELLES; KISHI, 2012) Em contraponto Dominique Perrault, em Piazza Garibaldi (figura 20), faz uso de um pilar constituído de várias barras metálicas individuais que seguem de madeira retilínea até a cobertura, onde se bifurcam em vários galhos, originando superfícies estáveis em formato triangular (figura G). Santiago Calatrava, em seu projeto, BCE galleria e Heritage square (figura 18), faz uso também de pilares metálicos em forma orgânica, porém como uma única estrutura metálica que se subdivide do

tronco principal, à galhos secundários e terciários até segurar a cobertura em apenas quatro pontos de apoio (figura K).

Nesta análise comparativa tanto Miralles quanto Calatrava utilizam arcos catenários em seus projetos visando um espaço mais amplo em decorrência de grandes vãos, apesar do primeiro caso, fazer uso da madeira laminada com barras metálicas (figura B) e o segundo caso, de estrutura metálica (figura I). Em relação às coberturas cada um dos arquitetos buscou trabalhar em diferentes propostas de composição geométrica, destacando a cobertura do Mercat de Santa Caterina, que além de fazer uma forma que se assimila a um paraboloide hiperbólico, ao apresentar abóbadas configuradas por meio de arcos paralelos em simples curvaturas, (figura A) também utiliza seu fechamento externo em azulejos como uma alusão às obras de Gaudí (figura D). (MEIRELLES; KISHI, 2013) Contudo, as coberturas metálicas exploradas por Calatrava e Perrault, possuem grande complexidade ao trabalharem formas similares a abóbadas de berço de maneira consecutiva (figura H) e planos triangulares ora com fechamentos em lona ora vazados (figura E e F).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na área de arquitetura, o estudo das técnicas construtivas vernaculares, pautadas em conhecimento geométrico e na utilização de materiais locais, é bastante recorrente em função do crescimento de projetos relacionados à preexistências urbanas, que visem uma maior eficiência estrutural aliada à funcionalidade do projeto arquitetônico, sem que se perca a essência cultural. O entendimento de conceitos geométricos associados a técnicas de construção permite ao arquiteto vastas possibilidades formais, que quando trabalhadas em função do espaço, podem gerar formas bastante expressivas e eficientes, como foram destacados nos projetos de Enric Miralles, Santiago Calatrava e Dominique Perrault, cuja composição espacial de suas estruturas estabelece uma relação imediata de continuidade com o entorno existente.

O estudo das obras de Antoni Gaudí, por arquitetos e engenheiros contemporâneos, no processo de reconstrução de seus projetos inacabados, como a Igreja da Sagrada Família, contribui para que ampliem o campo de modelagem 3D, como também para novos conhecimentos em relação formas e composição, criadas pelo arquiteto Catalão.

A pesquisa mostra, sobre tudo, como a retomada de conceitos estruturais e técnicos já utilizados no passado, de maneira eficiente, podem atribuir um novo significado na delimitação do espaço arquitetônico. Este fator pode ser observado por vários arquitetos contemporâneos que se pautam em técnicas construtivas e compositivas, disseminadas por

ícones da experimentação, como Antoní Gaudí, entretanto, com a utilização de diversos materiais - como aço, madeira e concreto- que reinterpretem as técnicas abordadas pelo arquiteto catalão, porém maneiras distintas, relacionadas à capacidade estrutural e plasticidade de cada um dos materiais. Desta maneira, obras contemporâneas podem propor concepções de espaço inovadoras, através de formas geométricas significativas, sem que se perca sua identidade.

REFERÊNCIAS

AETERNAM-ARCHITECTURA. **Arquitetura Orgânica** - Disponível em: <<http://aeternam-architectura.blogspot.com.br>> – Acesso em: 21/07/2016 às 16:36

ALSINA, Claudi. *In: Gaudí. La búsqueda de la forma: espacio, geometria, estructura y construcción.* Barcelona, 2002.

ARMENGOL, Jordi Bonet i. *In: Gaudí. La búsqueda de la forma: espacio, geometria, estructura y construcción.* Barcelona, 2002.

BAIXAS, Juan Ignacio. **Forma Resistente.** Santiago do Chile: ediciones ARQ, 2005.

BUXADÉ, Carles; MARGARIT, Joan. *In: Gaudí. La búsqueda de la forma: espacio, geometria, estructura y construcción.*, Barcelona, 2002.

COUTINHO, Valdemar; NUNES, Nélia. **Gótico Primitivo: Catedral de Notre Dame – Paris** – Disponível em <<http://arquitecturananoite.pdf>> – Acesso em: 19.jul.2016

CUMELLA, Toni. **365ARQ.** – Disponível em <<http://365arq.tumblr.com>> – Acesso em: 02.ago.2016

GIRALT, Daniel Miracle. **Essential Gaudí.** Kindle edition, Barcelona, 2002.

GONZÁLEZ, Josep-Lluís; CASALS, Albert. *In: Gaudí. La búsqueda de la forma: espacio, geometria, estructura y construcción.*, Barcelona, 2002.

HUERTA, Santiago. **Structural Design in the Work of Gaudí.** Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain, 2006.

MEDRANO, Ricardo Herman; MEIRELLES, Célia Regina Moretti. **Processo construtivo e expressão nas cascas de concreto armado no Brutalismo.** Curitiba, X Seminário Docomomo Brasil, 2013.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; KISHI, Sunao. **Grandes Coberturas na arquitetura contemporânea: Os estudos de caso do Sony Center e do Mercado Santa Caterina.** São Paulo, Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo, 2013.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; KISHI, Sunao. **Inovação e tectônica na cocepção de grandes coberturas na Arquitetura Contemporânea.** São Paulo, arq.urb Nº8, 2012.

MOUSSAVI, Farshid; LOPEZ, Daniel. **The Function of Form.** New York: ACTAR, Cambridge, Harvard University Press, 2009.

ORCIUOLI, Affonso. **Gaudí 150 anos – Documento**. Revista AU- ano 17 Nº 104 outubro/novembro, 2002.

PERRAULT, Dominique. **Piazza Garibaldi – Nápole**. – Disponível em <<http://perraultarchitecture.com>> – Acesso em: 02.ago.2016

REBELLO, Yopanan. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

SERRANO, Josep Gómez. *In: Gaudí. La búsqueda de la forma: espacio, geometria, estructura y construcción.*, Barcelona, 2002.

SILVA, Daíson Maciel da; SOUTO, Andre Kraemer. **Estruturas: uma abordagem arquitetônica**. Editora Sagra Luzzatto, 2000.

SOUZA, Edson Eloy de. **As formas arquitetônicas e suas geometrias: análises de obras de arquitetura moderna e contemporânea**. Dissertações (Mestrado em arquitetura) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2006.

SULLIVAN, Mary Ann. **Albert Lambert galleria, formerly BCE place, now Brookfield place**. – Disponível em <<http://bluffton.edu/calatrava/galleria.html>> – Acesso em: 02.ago.2016

TZONIS, Alexander. **Santiago Calatrava: The Complete Works- Expanded editions**. New York: Rizzoli, 2007.

CONTATO: lola.nberaldo@gmail.com (IC) e morettimeirelles@gmail (Orientadora)