

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Beatriz Wanderley Gomes¹
Matteus Medeiros Nóbrega²
Jeferson Gomes Nunes³
Mary Williany Alves dos Santos Carlos⁴
Daniel Baracuy da Cunha Campos⁵

RESUMO

O setor da construção civil brasileira é responsável por grande produção de entulhos e isso gera diversas consequências, dentre elas os impactos ambientais causados pela destinação incorreta dos mesmos e o custo associado ao desperdício. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade da substituição do agregado miúdo por resíduos da construção civil na produção de concreto. A metodologia consistiu em avaliar os materiais utilizados na produção do concreto através de análise granulométrica e teor de umidade, regidos pelas normas NBR 7217 e DNER-ME 213/94, respectivamente. Após isso, foram moldados corpos de prova de concreto com dimensões 10x20cm, e teores de substituição igual a 0%, 10%, 15% e 20%, os quais foram postos em cura submersa e rompidos nas idades de 28 dias de cura, para assim verificar a resistência à compressão, seguindo a norma NBR 5739. Analisando os resultados obtidos, o teor de substituição mais adequado é o de 20%, apresentando uma resistência à compressão igual a $18,905 \pm 3,31$ Mpa, sendo a perda de resistência de 20,9% quando comparado com os corpos de prova que não tiveram substituição. Já para os de 10% e 15% de substituição, as resistências foram iguais a $18,536 \pm 0,32$ Mpa e $18,540 \pm 0,42$ Mpa, respectivamente. Portanto, é viável a utilização dos resíduos da construção e demolição como agregado miúdo, devido ao custo/benefício a curto e longo prazo e a melhoria nos aspectos ambientais.

Palavras-chave: Concreto, Entulho, Reciclagem, Resistência à compressão.

INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades que mais utilizam os recursos naturais não renováveis e com o crescimento dela, conseqüentemente houve o aumento do consumo de agregados. Devido à elevada demanda, a extração dos recursos naturais foi acentuada e por

¹ Graduada do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, beatriz.wg@hotmail.com;

² Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, matteusengcivil@gmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, jefersongn92@gmail.com;

⁴ Graduada em Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, mwilliany@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor em Engenharia de Processos, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, danielbaracuy@yahoo.com.br.

isso, foram necessárias ações como o uso mais racionalizado ou utilização de materiais alternativos, com o objetivo de diminuir os custos e os impactos ambientais (GIRARDI, 2016). Segundo Mesquita (2012), no Brasil, o setor da construção civil utiliza cerca de 20% a 50% das matérias-primas naturais e sua produção de entulhos pode representar até 60% dos resíduos sólidos urbanos.

Ademais, na maioria dos casos a destinação final desses resíduos ocorre de forma inadequada, poluindo o solo e degradando a paisagem, além de serem potenciais ameaças à saúde coletiva, tornando-se um vetor de doenças por meio da proliferação de agentes patógenos como ratos e moscas (FILHO; GRAUDENZ, 2012). Entretanto, a reciclagem desses resíduos promove inúmeros benefícios, tais como: redução no consumo de recursos naturais não-renováveis; volume de resíduos descartados é menor; diminui os custos associados aos agregados utilizados; e proporciona melhorias à empresa e para toda a sociedade (RIBEIRO; MOURA, 2016).

Para tentar amenizar os problemas causados pela grande geração de entulhos, em 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do CONAMA que aborda a gestão dos resíduos da construção civil, com objetivo de diminuir os problemas e definir responsabilidades e deveres para o manejo adequado dos resíduos e até a reciclagem do mesmo. Apesar disso, a deposição do RCD ainda ocorre de forma irregular em todo o país, principalmente em obras de pequeno e médio porte, especialmente aquelas relacionadas com reformas e demolições (PINTOS; SANTOS; CATUNDA, 2015).

A NBR 10004 classifica os resíduos de construção e demolição (RCD) como inertes, entretanto, quando melhor analisados, o RCD pode conter impurezas que contaminam o concreto e afetam sua resistência. Quando as impurezas são retiradas, o RCD é separado em: material cinza (concreto limpo) e em material vermelho, que são os blocos e telhas cerâmicas e restos de alvenaria. Alguns materiais não são aproveitados, como os metais, sendo separados através do uso de imãs e o gesso, pois não existem tecnologias ou aplicações viáveis que permitam seu uso (ROCHA; SILVA; RODRIGUES, 2016).

Devido ao enorme desperdício de material e geração de resíduos no setor da construção civil, foram realizados estudos para verificar a possibilidade de substituição dos agregados por materiais reciclados da construção civil. Entretanto, ainda existe um certo receio por não considerarem o material eficiente e, por isso, os estudos vêm buscando resultados que comprovem a eficácia desse material para substituição no concreto (BAPTISTA; LOPES; ROSA, 2018).

Considerando os problemas apresentados, o presente trabalho teve como objetivo analisar a substituição parcial do agregado miúdo por resíduos da construção e demolição na confecção de concreto, propondo uma solução alternativa para a destinação desses resíduos.

METODOLOGIA

Inicialmente foi coletado o RCD em obras do município de Araruna-PB, seguindo a norma NBR 10007/2004. Esses resíduos passaram por um processo de separação para retirar todo o material não cerâmico e o gesso, e, em seguida, foram quebrados com uma marreta de modo que 85% das partículas ficassem com o diâmetro inferior a 4,8 mm.

Para a caracterização do resíduo, foi realizada a análise granulométrica no mesmo, no qual foi adicionada uma amostra de agregado miúdo em estufa a temperatura de 105°C por 24 horas. O ensaio foi realizado utilizando uma amostra de aproximadamente 1000g do agregado seco e quarteadado, sendo o peneiramento manual, utilizando as peneiras de abertura igual a: 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; e 0,15 mm, conforme a norma NBR 7217. Além disso, foi determinado o teor de umidade no qual o ensaio foi realizado em triplicata, sendo a amostra colocada nos cadinhos e levados para estufa a 105°C por 24 horas, conforme apresenta a Figura 1. Com os dados obtidos, foi possível determinar a quantidade de água presente na amostra, seguindo a norma DNER-ME 213/94.

Figura 1 – Material na estufa



Fonte: Autores (2019)

Após isso, foram confeccionados corpos de prova com dimensões 10x20 cm, no qual foram compactados com 12 golpes em 3 camadas. Ainda foram moldados corpos de prova e sem substituição e com substituição do agregado miúdo por RCC nos teores de 10%, 15% e 20% dos resíduos produzidos. Para verificar a trabalhabilidade do concreto, foi realizado o Slump Test seguindo a NBR NM 67/1998, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2 – Realização do Slump Test



Fonte: Autores (2019)

Após a moldagem, os corpos de prova foram desmoldados após um período de 24 horas e foram postos em cura submersa por 28 dias, conforme apresenta a Figura 3. Por fim, foram rompidos para determinar a resistência à compressão, seguindo a norma NBR 5739.

Figura 3 – Corpos de prova em cura submersa



Fonte: Autores (2019)

O traço utilizado foi obtido em uma obra do município de Araruna – PB e, a partir dele, foi calculado a quantidade de cada material utilizado com o auxílio da massa específica de cada um. A quantidade de cada material utilizado e seu respectivo teor de substituição está disposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Dosagem dos materiais utilizados para cada teor de substituição

Teor de substituição (%)	Cimento (kg)	Areia (kg)	RCD (kg)	Brita (kg)	Fator a/c
0	1	2,88	0	2,16	0,5
10	1	2,59	0,29	2,16	0,5
15	1	2,45	0,43	2,16	0,5
20	1	2,30	0,58	2,16	0,5

DESENVOLVIMENTO

A indústria da construção civil deve sempre buscar, insistentemente, materiais alternativos que proporcione uma redução de custos, melhor agilidade, execução e durabilidade, resultando em um produto com qualidade igual ou superior. Esses avanços podem contribuir para o setor, além de reduzir os impactos ambientais (KRUGER; SOUZA; KONOVAL, 2013). Nessa perspectiva, surge a possibilidade de utilização dos resíduos da construção e demolição como um material alternativo.

Segundo a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, os resíduos podem ser classificados de acordo com sua utilização, sendo a Classe A os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado para uso dentro da própria construção civil, podendo ser provenientes da construção, demolição e reforma de obras de pavimentação ou de edificações ou do próprio processo de fabricação, dentro ou fora do canteiro de obra. Entretanto, para que seja efetivado o uso nas construções, deve ser analisada a influência que o agregado reciclado tem quando utilizado no concreto.

Para que o RCD seja utilizado como agregado, é necessário que antes ele atenda às recomendações mínimas, visando evitar o surgimento de problemas. Materiais com baixa resistência mecânica podem ocasionar maiores deformações e materiais com maior abrasão podem sofrer variação de granulometria quando compactados, sendo então fundamental que sejam realizados ensaios laboratoriais para verificar a qualidade do agregado utilizado (MATUELLA; DELONGUI; NÚNEZ, 2015).

A viabilidade de utilização do agregado reciclado já é conhecida, entretanto, no Brasil, se todo o RCD produzido fosse destinado para utilização em produtos à base de cimento, só ocuparia cerca de 20% de todo o mercado de agregados naturais. Apesar de existir regras para regulamentar o uso do RCD, existem certas dificuldades, dentre elas a heterogeneidade da composição, variabilidade das propriedades e dificuldade de controle das operações na fase de processamento. Por esse motivo, a norma permite somente o uso de agregado reciclado apenas em concretos que apresentem baixa resistência (ARAÚJO et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de umidade

Determinar o teor de umidade é necessário para que a quantidade de água presente no agregado seja descontada do total de água utilizado para confecção do concreto, e é um importante parâmetro, visto que interfere na relação água/cimento.

Outro problema é que os agregados reciclados absorvem mais água que os agregados convencionais, especialmente aqueles compostos de cerâmica ou que contêm esse material, pois os mesmos são mais porosos por serem bastante higroscópicos. O Quadro 2 apresenta os teores de umidade para a areia e o RCD

Quadro 2 – Teor de umidade dos agregados miúdos

Material	Umidade (%)
Areia	$0,963 \pm 0,2$
RCD	$2,321 \pm 0,18$

De acordo com os dados do Quadro 2, observa-se que o resíduo da construção e demolição apresenta umidade igual a $2,321 \pm 0,18$ %, sendo maior que o da areia ($0,963 \pm 0,2$ %). Essa diferença ocorre por causa das características físicas e químicas dos materiais. Lovato (2007), afirma que por serem mais porosos, os agregados reciclados absorvem mais água quando comparado com o a areia.

Análise granulométrica

O ensaio de granulometria é importante, pois a distribuição dos grãos afeta a resistência mecânica, a trabalhabilidade e a compacidade da mistura, sendo, portanto,

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

necessário realizar a caracterização para avaliar a utilização do agregado no concreto. Os Quadros 3 e 4 apresentam a distribuição granulométrica do RCD e da areia, respectivamente.

Quadro 3 – Análise granulométrica do RCD

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (g)	Massa Retida Acumulada (%)
4,75	0	0	0	0
2,36	307,75	30,75	307,75	30,75
1,18	206,65	20,65	514,40	51,39
0,6	96,36	9,63	610,76	61,02
0,3	71,64	7,16	682,40	68,18
0,15	83,05	8,30	765,45	76,47
Fundo	235,47	23,53	1.000,92	100,00
Total	1.000,92	100,00	-	-

Inicialmente foi determinada a dimensão máxima característica, que é a malha da peneira na qual o percentual de massa retida acumulada é igual ou inferior a 5%. Deste modo, de acordo com o Quadro 3, o RCD apresenta um diâmetro máximo igual a 4,75 mm.

Quadro 4 – Análise granulométrica da areia

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (g)	Massa Retida Acumulada (%)
4,75	27,27	2,69	27,27	2,69
2,36	33,06	3,26	60,33	5,95
1,18	89,88	8,86	150,21	14,81
0,6	173,41	17,10	323,62	31,91
0,3	389,84	38,44	713,46	70,34
0,15	222,37	21,92	935,83	92,27
Fundo	78,42	7,73	1.014,25	100,00
Total	1.014,25	100,00	-	-

Analogamente, para a areia, foi determinada a dimensão máxima característica, sendo igual a igual a 4,75 mm, de acordo com o Quadro 4.

Após isso, foi determinado o módulo de finura, sendo definido como o somatório das percentagens da massa retida acumulada dividido por 100. O Quadro 5 apresenta a classificação do agregado miúdo de acordo com o módulo de finura.

Quadro 5 – Classificação do agregado miúdo de acordo com o módulo de finura

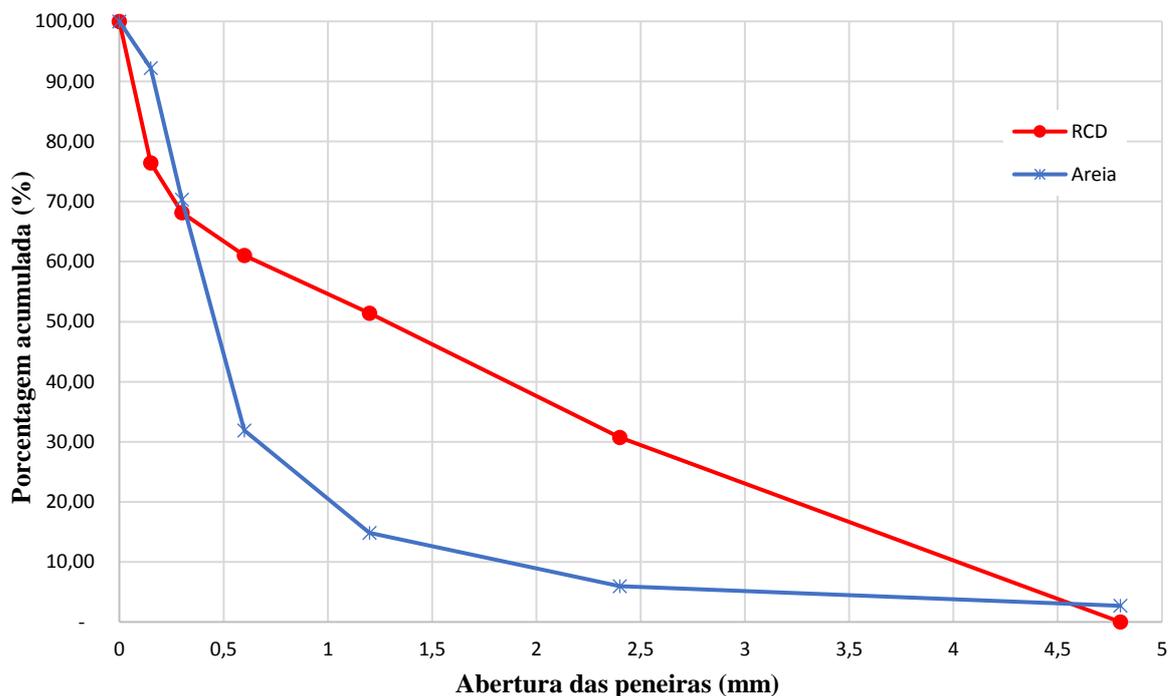
Tipo	Módulo de finura (MF)
Grossa	$MF > 3,90$
Média	$3,90 > MF > 2,40$
Fina	$MF < 2,40$

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012)

Desse modo, o módulo de finura para a areia é igual a 2,18 e, conforme o Quadro 5, o material é caracterizado como areia fina. Já para o RCD, o módulo de finura foi igual a 2,88, sendo classificando como agregado médio. Lima (1999) afirma que o agregado reciclado apresenta uma composição granulométrica mais grossa quando comparado com o agregado natural, e, conseqüentemente, apresenta módulo de finura maior.

Além disso, foram traçadas as curvas granulométricas, conforme apresenta o Gráfico 1, que demonstra a distribuição granulométrica do RCD e da Areia.

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia e do RCD



De acordo com o gráfico apresentado, a areia apresenta a melhor distribuição granulométrica, enquanto a curva dos resíduos demonstra ser menos favorável e isso ocasiona o aumento dos vazios e da relação água/cimento e diminui a resistência mecânica. Por causa disso, a areia apresenta melhores resultados quando comparado com o RCD.

Ensaio de resistência à compressão

Após a confecção dos corpos de prova, foram realizados os ensaios de abatimento do tronco de cone e resistência à compressão axial, conforme apresenta o Quadro 6.

Quadro 6 – Dados dos ensaios de resistência à compressão e do abatimento

SUBSTITUIÇÃO (%)	R (Mpa)	Abatimento (cm)
0	23,918 ± 1,05	2,5
10	18,536 ± 0,32	0
15	18,540 ± 0,42	3
20	18,905 ± 3,31	2,5

Ao analisar os dados do Quadro 5, nota-se que o corpo de prova com substituição do agregado miúdo que teve maior resistência à compressão foi o de 20%, apresentando uma redução de resistência à compressão igual a 20,9% quando comparado com o teor de substituição de 0%. Os teores de 10% e 15% de substituição apresentaram uma queda de resistência igual a 22,5% para ambos os casos. Observa-se ainda, que, com o aumento do teor de substituição, ocorre o aumento da resistência a compressão.

Paz et al. (2019) conclui que é possível a substituição da areia por resíduos da construção civil de até 20% da massa unitária sem que ocorra alterações consideráveis de resistência à compressão e que essa perda está relacionada, entre outros, com a composição variável o RCD.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de RCD ainda não é amplamente utilizada pelo receio que a substituição comprometa o desempenho do concreto, entretanto seu uso deveria ser preconizado procurando conciliar o desenvolvimento e a sustentabilidade, visto que promove benefícios como reduções no consumo dos recursos naturais não-renováveis.

A caracterização dos agregados é importante para entender o comportamento do material antes de ser empregado no concreto. Antes de utilizar o RCD, o material deve ser devidamente separado de modo a eliminar o máximo possível de gesso e material cerâmico e, além disso, deve ser triturado de forma correta para que atenda à granulometria especificada por norma para ser semelhante à da areia.

Analisando os resultados obtidos, o teor de substituição mais adequado é o de 20%, apresentando uma resistência à compressão igual a 18,905 Mpa, sendo a perda de resistência de 20,9% quando comparado com os corpos de prova que não tiveram substituição. Já para os de 10% e 15% de substituição, os valores de resistência à compressão foram igual a $18,536 \pm 0,32$ Mpa e $18,540 \pm 0,42$ Mpa, respectivamente, logo as perdas são iguais a 22,5% em ambos os casos.

Apesar da perda de desempenho do concreto ser inevitável, é viável a utilização dos resíduos da construção e demolição como agregado, devendo ser considerando o custo/benefício a curto e longo prazo e os aspectos ambientais que possibilitam o uso do RCD. Entretanto, todos os cuidados devem ser tomados de modo que a perda de resistência seja a mínima possível.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217 – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. 1. ed. 2012.

ARAÚJO, D. L. et al. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto**. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [s.l.], v. 11, n. 1, p.16-34, 8 fev. 2016.

BAPTISTA, J.O.; LOPES, R. K.; ROSA, A.C.S. **Uso de RCD na confecção de concreto dando ênfase a separação dos resíduos sólidos**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307/2002**.

FILHO, J. A. P.; GRAUDENZ, G. S. **Destinação irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva.** Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 6, n. 1, p.127-142, 13 ago. 2012.

GIRARDI, A. C. C. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa.** 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

KRUGER, P.; SOUZA, A.B.; KONOFAL, W. U. **Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD.** In: 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2013.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concreto.** 246p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MATUELLA, M. F.; DELONGUI, L.; NÚÑEZ, W. P. **Caracterização de resíduos de construção e demolição melhorados com cimento Portland para aplicação em camadas inferiores de pavimentos.** In: 44ª Reunião Anual de Pavimentação, Foz do Iguaçu, 2015.

MESQUITA, A. S. G. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí.** Holos, Brasil, ano 28, vol. 2, 2012.

MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 213/1994 - **Solos – Determinação do teor de umidade – Método de ensaio.**

PAZ, M. K. A. et al. **Evaluation of the partial replacement of river sand by structural ceramic block residues in conventional concrete.** Itegam- Journal of Engineering and Technology For Industrial Applications (itegam-jetia), [s.l.], v. 5, n. 18, p.132-137, 2019. GN1 Genesis Network.

PINTO, C.; SANTOS, A. L.; CATUNDA, A. C. M. M. **Percepção da legislação ambiental, gestão e destinação final dos RCD – resíduos da construção e demolição: um estudo de caso em PARNAMIRIM/RN/BRASIL.** Holos, [s.l.], v. 2, p.33-49, 18 abr. 2015. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

RIBEIRO, D.; MOURA, L. S. **Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil.** Revista de Ciências Gerenciais, [s.l.], v. 20, n. 31, p.41-45, 31 maio 2016. Editora e Distribuidora Educacional.

ROCHA, J. C. C.; SILVA, L. F. S.; RODRIGUES, P. S. H. **Resíduos de construção civil: características e aplicações.** 2016